

Die Theorie vom Saftkreislauf der Pflanzen

Ein wenig bekanntes Kapitel in der Geschichte
der Pflanzenphysiologie

Stefan Kirschner

Habilitationsschrift

Eingereicht an der Fakultät für Mathematik,
Informatik und Statistik

München, im Oktober 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Entstehung und frühe Diskussion der Theorie vom Kreislauf des Pflanzensaftes	3
2.1	Johann Daniel Majors Theorie von der Zirkulation des Pflanzensaftes	3
2.2	Die Académie des Sciences und die Theorie vom Saftkreislauf . . .	7
2.3	Diskussionen und Experimente der Royal Society zum Safttransport in Pflanzen	17
2.4	Marcello Malpighi (1628–1694)	22
2.5	Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723)	27
2.6	Der Kreislauf des Pflanzensaftes – eine „verlockende“ Vorstellung	31
3	Das weitere Schicksal der Saftkreislauflehre in England in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts	38
3.1	John Woodward (1665–1728)	38
3.2	Richard Bradley: „a Plant is like an Alembick“	46
3.3	Patrick Blair	52
3.4	Stephen Hales (1677–1761)	55
3.4.1	Stephen Hales’ Pflanzenphysiologie	58
3.4.2	Hales’ Diskussion der Saftkreislauflehre	62
3.4.3	Hales’ Wirkung	65
4	Diskussionen um die Saftkreislauflehre im französischsprachigen Raum bis ca. 1760	67
4.1	De la Baisse (Nicolas de Sarrabat, 1698–1737)	70
4.2	Charles Bonnet (1720–1793)	77
4.3	Duhamel du Monceau und seine „Physique des Arbres“	84
5	Die Saftkreislauflehre im deutschsprachigen Raum in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts	93
5.1	Johann Melchior Verdries (1679–1736)	93
5.1.1	Mechanismus des Saftkreislaufs nach Verdries	98
5.2	Christian Wolff (1679–1754)	100

5.2.1	Die Ernährung der Pflanzen nach Wolff	100
5.2.2	Wolff und die Saftkreislauflehre	104
5.3	Ludwig Philipp Thümmig (1697–1728)	106
6	Die Entdeckung protoplasmatischer Rotationsströmungen (1774)	112
6.1	Bonaventura Corti (1729–1813) und seine Entdeckung der Plas- marotation in den Internodien der Charen	114
6.2	Cortis Theorie vom Saftkreislauf der Pflanzen	121
6.3	Aufnahme, Ausbreitung und Kritik der Cortischen Entdeckung . .	125
7	Neue Experimente zur Frage des Saftkreislaufs in den 1770er und 1780er Jahren	136
7.1	Nicolas A. Mustel (1736–1806)	136
7.2	John Walker (1731–1803)	141
8	Die Pflanzenphysiologie im Zeitalter der „Chemischen Revolution“	145
8.1	Die neue Pflanzenphysiologie und die Saftkreislauflehre	149
8.2	Die Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße	151
8.3	Erasmus Darwin (1731–1802)	158
9	Das Wiederaufleben der Saftkreislauftheorie im 19. Jahrhundert	161
9.1	Neue Strömungen in der Pflanzenanatomie und ihr Verhältnis zur Pflanzenphysiologie	161
9.2	Auswirkungen der „neuen Pflanzenanatomie“ auf die Saftkreislauf- lehre	165
9.3	Carl Heinrich Schultz (1798–1871) und der Kreislauf des „Lebens- saftes“	173
9.3.1	Das „Assimilations“- , „Kreislauf“- und „Bildungssystem“ der höheren Pflanzen nach Schultz	179
9.3.1.1	Der Saftkreislauf als Grundlage des „Bildungs- systems“	179
9.3.1.2	Das „Assimilationssystem“	185
9.3.1.3	Das „Bildungssystem“	187
9.3.2	Schultz' Behandlung der Ausführungen Cortis	190
9.3.3	Rezeption und Kritik der Schultzschen Vorstellungen . . .	193
9.4	Das Ende der Saftkreislauftheorie	208
9.5	Auswirkungen der Schultzschen Lehre vom Kreislauf des „Lebens- saftes“	214
10	Ergebnisse und Deutungen	219
	Literaturverzeichnis	226

1. Einleitung

Zwischen 1665 und 1668 stellten offenbar unabhängig voneinander die Naturforscher Johann Daniel Major (1634–1693), Christopher Merret (1615–1695), Claude Perrault (1613–1688) und Edme Mariotte (um 1620–1684) in Analogie zum Blutkreislauf des Menschen und der höheren Tiere die Theorie eines Saftkreislaufs in den Pflanzen auf. Unter der als „Saft“ bzw. „Nährsaft“ bezeichneten Flüssigkeit verstanden sie in der Regel das von den Wurzeln aufgenommene, mit Nährstoffen versehene Wasser sowie – je nach Vorstellung des einzelnen Autors – die weiteren Verarbeitungsstufen dieses sog. Saftes.

Die Saftkreislauftheorie nahm zwar in der Folgezeit keine dominante Position ein, doch fand sie immer wieder Anhänger und hielt sich unter Einbeziehung der jeweiligen zeitgenössischen pflanzenphysiologischen und pflanzenanatomischen Kenntnisse bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts.

Die Geschichte der Saftkreislauftheorie wurde in der biologiehistorischen Literatur bisher nur am Rande berücksichtigt und noch nie systematisch erforscht. Ziel der Arbeit ist es, die Entwicklungsgeschichte dieser Theorie in Abhängigkeit von wissenschaftsinternen und -externen Faktoren aufzuzeigen, die Motive, Argumentationsmuster und Forschungsansätze der Gegner und Befürworter vor dem jeweiligen zeitgenössischen Hintergrund zu analysieren und die Rolle von Theorie und Experiment in dieser Kontroverse herauszuarbeiten.

Das zweite Kapitel behandelt die Entstehung der Theorie vom Kreislauf des Pflanzensaftes und die frühen Diskussionen über diese Vorstellung an der Académie Royale des Sciences in Paris sowie an der Royal Society in London. Ferner werden die Ansichten der Begründer der Pflanzenanatomie, Marcello Malpighi (1628–1694), Nehemiah Grew (1641–1712) und Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723), hierzu vorgestellt. Im Anschluß daran wird das weitere Schicksal dieser Theorie in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts verfolgt, aufgegliedert nach den Ereignissen in England (Kap. 3), in Frankreich bzw. im französischsprachigen (Kap. 4) sowie im deutschsprachigen Raum (Kap. 5). Das 6. Kapitel behandelt die mit dem weiteren Schicksal der Saftkreislauflehre in engem Zusammenhang stehende, 1774 erfolgte Entdeckung protoplasmatischer Rotationsströmungen in den Internodien einiger Armleuchteralgen. Es schließt sich ein Kapitel über neue, von Nicolas A. Mustel (1736–1806) und John Walker (1731–1803) durchgeführte Experimente zur Frage des Saftkreislaufs in den 1770er und 1780er Jahren an. Die

Auswirkungen der neuen, durch die „Chemische Revolution“ beeinflussten Pflanzenphysiologie, die sich im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts herausbildete, auf die Saftkreislauftheorie bilden den Gegenstand des achten Kapitels. Das zeitweilige fast vollständige Desinteresse an der Saftkreislauftheorie während der Neubegründung der Pflanzenanatomie an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert wird in Kapitel 9 thematisiert. Dasselbe Kapitel behandelt das Wiederaufleben der Saftkreislauftheorie in den 1820er Jahren in Gestalt der Lehre vom Kreislauf des „Lebenssaftes“, die durch den Berliner Botaniker Carl Heinrich Schultz (1798–1871) begründet wurde. Den Abschluß bildet das endgültige Verschwinden der Saftkreislauflehre gegen Mitte des 19. Jahrhunderts. Das letzte Kapitel enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Deutungen.

2. Entstehung und frühe Diskussion der Theorie vom Kreislauf des Pflanzensaftes

Die Anfänge der Lehre vom Kreislauf des Pflanzensaftes fanden zwar in der biologiehistorischen Forschung Berücksichtigung,¹ jedoch fehlt eine vergleichende Darstellung dieser Entwicklung, die etwa gleichzeitig an verschiedenen Orten ihren Ausgang nahm. Im folgenden sollen am Beispiel der Diskussionen in der Académie des Sciences in Paris und der Royal Society in London, ferner an Hand der Ausführungen Marcello Malpighis und Antoni van Leeuwenhoeks die verschiedenen Argumentationsmuster und Forschungsansätze aufgezeigt werden, die in der Frühzeit der Diskussion um das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein eines Saftkreislaufs eine Rolle spielten.

2.1 Johann Daniel Majors Theorie von der Zirkulation des Pflanzensaftes

Wie bereits Julius Sachs in seiner Geschichte der Botanik feststellte,² ist die Theorie vom Saftkreislauf in den Pflanzen zum ersten Mal bei dem Kieler Arzt und Medizinprofessor Johann Daniel Major³ (1634–1693) nachweisbar.

1665 veröffentlichte Major eine Abhandlung über eine – wie er sie nannte – „monströse“ Sonnenblume im Gottorper Schloßgarten, deren Stengel aus zwei einzelnen verwachsen war. Diese „Monstrosität“ nimmt Major nicht nur zum Anlaß, über die verschiedenen Formen natürlicher und künstlich herbeigeführter Verwachsungen von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen zu berichten, sondern auch, um seine „neuartige Lehre vom Kreislauf des Nährsaftes“ („Nova Doctrina de Circulatione Succi Nutritii“) in den Pflanzen aufzustellen, die er folgendermaßen

¹Ritterbush, 1964, S. 78–81; Hoppe, 1976, S. 262–269; Salomon-Bayet, 1978, S. 75–88, 135–136; Baas, 1982; Heller, 1986, S. 185–203.

²Sachs, 1875, S. 493–494.

³Zu Leben und Werk Majors s. Reinbacher, 1998, sowie die dort angegebene weiterführende Literatur.

begründet:⁴ Wenn die Bewegung des Saftes nur in einer Richtung (d. h. nur von der Wurzel bis zum Sproßscheidung) geschähe, so könnten Pflanzen, die – wie die genannte Sonnenblume – bisweilen miteinander verwachsen, nicht mehr richtig gedeihen, da an der Verwachsungsstelle ein Übermaß an Saft sich ansammeln würde, das diese Pflanzen nicht mehr ertragen könnten. Dagegen bewirke der Nährsaftkreislauf, daß über bestimmte Wege („per certas vias“) der Ernährung Dienliches herantransportiert werde, während Überflüssiges über andere Wege wieder zur Wurzel zurückgeleitet werde. Welche Wege dies sind, führt Major allerdings nicht näher aus. Er erwähnt nur kurz „tubuli nervei“ sowie „tubuli fibrosi“, über die der Rücklauf des Saftes erfolge und die den Venen der Tiere analog seien, ohne diese jedoch detaillierter zu beschreiben.

Offenbar war sich Major der Schwäche seiner bisherigen Argumente bewußt, so daß er noch einige – wie er selbst sagt – Mutmaßungen („conjecturae“) und Wahrscheinlichkeitsgründe („rationes probabiles“) sowie das eine oder andere Experiment anführt, um seine Lehre vom Nährsaftkreislauf in den Pflanzen zu untermauern.

Als erstes hebt er hervor, daß die „Fermentation“ in den Pflanzen⁵ (d. h. die Verarbeitung und Umwandlung der von den Pflanzen aufgenommenen Stoffe in pflanzeneigene Substanz) einen Kreislauf des Nährsaftes erfordere, da ansonsten nicht genügend Zeit zur Verfügung stünde, um die Fermentationsvorgänge vollständig ablaufen zu lassen. Durch den Saftkreislauf sollen die am meisten volatilen und spirituosen Teilchen wie reflektiertes Sonnenlicht in sich selbst zurückkehren und auf diese Weise, nach verschiedenen Reflexionen ihrer selbst, auf die Materie der Pflanze umso intensiver einwirken.⁶

Neben solchen physiologischen Gesichtspunkten sieht Major in der anatomischen Struktur der Pflanzen einen Beweis für einen Saftkreislauf. Von den in den

⁴Major, 1665, §33 (Hervorhebung im Original): „*Ex coalitu illo plantarum valde verisimilis etiam redditur Nova, nec ante a quoquam ex professo tradita ante Me, Doctrina de Circulatione Succi Nutritii in iisdem, quam dari, facile patescit. Si enim uniformis tantum Succus jam dicti Motus haberetur in Corpore illarum, prout in corpore Animalium Veterum aliqui Sanguinem tam per Venas, quam per Arterias, a Corde, ad partes exteriores devolvi, simpliciter nimis crediderunt, utique nec vivere Vegetabilia ea, quae coalescunt interdum, nec nutriri facile aut crescere valerent, quia plus succi semper ipsis, circa locum Symphyseos suae, afflueret, quam cui ferendo tandem forent; donec diuturno talismodi Nutritivae Materiae accessu obruerentur. Quod tamen & vegeta perstant aliquandiu, & commode maturescunt, facit indubie Circularis aliquis Succus Nutritii transitus, cujus ope fit, ut illud, quod Nutriendae parti conveniens est, per certas vias adferatur, superfluum vero per alias rursus deducatur. Si enim motus Succus Nutritii foret tantum ab imo ad summum, a radice videlicet ad culmen caulis, nec quicquam rediret per tubulos nerveos aut fibrosos, Venis Animalium analogos; viae in corporibus plantarum fuerint in posterum monstrandae, quibus tantundem regrediat deorsum, quantumcunque superflui a radicibus attractum est.*“

⁵Was das Vorkommen von „Fermentationsvorgängen“ in den Pflanzen betrifft, beruft sich Major auf Willis (vgl. Willis, 1662, S. 20–23). Die „Fermentationstheorie“ war im 17. Jahrhundert das gängige Erklärungsmodell für physiologische Prozesse in Organismen.

⁶Major, 1665, §35.

Wurzeln, im Holz, in der Rinde, den Blättern, Blüten und Früchten feststellbaren „Fasern“ entsprächen einige den Venen, andere den Arterien. Diese „Fasern“ seien mal mehr, mal weniger mit Nährflüssigkeit („humor alibilis“) angefüllt, die bald in Gestalt eines „latex“ einfachen Wassers, bald irgendeines Milchsafts verschiedener Farbe auftrete.⁷ Ferner seien die „Fasern“ überall durch deutliche Anastomosen miteinander verbunden, die die Natur nicht umsonst eingerichtet habe. Man müsse demnach, wie es bei den Tieren einen Blutkreislauf gebe, einen Kreislauf des Nährsaftes („transitus Succus Alibilis in Orbem“) annehmen.⁸

Auch an Wachstumsvorgängen angestellte Beobachtungen dienen Major als Argumente für seine Theorie. So lasse sich das Gedeihen der Pflanzfreier nur durch einen Kreislauf des Nährsaftes in ihnen erklären. Ein Teil des „succus alibilis“ steige nämlich nach oben und führe das Wachstum des Reises herbei, ferner fließe auch etwas herab, das, vereint mit der Flüssigkeit des Stockes, die Narbenbildung beschleunige.⁹ Überhaupt deute das gewöhnliche Wachstum der Pflanzen, indem die Sproßachse nach oben und die Wurzel nach unten wächst, auf ein Auf- und Absteigen des Nährsaftes, denn ein solches Streckungswachstum könne nicht geschehen ohne eine Verlängerung und Ausdehnung der „Fasern“. Dies wiederum geschehe durch den Nährsaft, der als „principium pellens“ wirke und dabei vom „spiritus fermentator“ wie von einem Reiter nach oben und unten getrieben werde.¹⁰

Zum Schluß erwähnt Major noch einige Experimente, die seine Theorie stützen sollen. So trete, wo auch immer man milchsaftführende Pflanzen wie *Esula* und *Tithymalum* (zwei nicht näher identifizierbare Wolfsmilchgewächse) sowie *Chelidonium* (Schöllkraut) verletze, Saft aus. Dies zeige, daß der Saft in der Pflanze hin- und herbewegt werde.¹¹ Ferner trete beim Einritzen von Birken im Frühjahr und von harzführenden Bäumen sowohl am oberen als auch unteren Wundrand „Saft“¹² bzw. Harz aus. Als treibende Kraft dieses Vorgangs fungiere wieder der

⁷Major, 1665, §37.

⁸Major, 1665, §38.

⁹Major, 1665, §39.

¹⁰Major, 1665, §42. Diese mechanistische, auf der Bewegung des Nährsaftes beruhende Erklärung von Wachstumsvorgängen war zu Majors Zeit allgemein üblich; vgl. etwa die Ausführungen Mariottes aus dem Jahre 1668: „[...] Il y a beaucoup de plantes dont les Racines Croissent a proportion des branches et Il est difficile de concevoir comme cela se peut faire, sinon qu'il y ait un suc qui soit pressé et poussé vers les extremities des racines pour les faire estendre et s'allonger comme celuy qui monte de la racine fait pousser et avancer les branches et les feüilles“ (Archives de l'Académie des Sciences, *Registres des Procès-verbaux des séances de l'Académie royale des sciences*, Tome IV, f. 79v–80r).

¹¹Major, 1665, §43.

¹²Bei dem aus Birken im Vorfrühling austretenden Saft nach Verletzung des Xylems, d. h. des Holzteils, handelt es sich um den sog. „Blutungssaft“. Das „Bluten“, das nicht nur an Birken, sondern z. B. auch am Weinstock und am Ahorn beobachtet werden kann, wird auf den Wurzel- bzw. Stammdruck zurückgeführt. Der Blutungssaft besteht nicht aus reinem Wasser, sondern stellt eine sehr verdünnte Lösung mit verschiedenen anorganischen und organischen Bestandteilen dar. Von wirtschaftlicher Bedeutung ist der an Saccharose reiche Blutungssaft des

„spiritus fermentator“, denn das Harz bzw. der „Saft“ könne von allein weder aus dem oberen Wundrand auslaufen, da die Holzfasern hierfür viel zu dicht gedrängt seien, noch aus dem unteren Wundrand, da Flüssigkeiten nicht von selbst emporstiegen. Der „spiritus fermentator“ durchlaufe die gesamte Pflanze und bewege dabei den Saft in einem Kreislauf.¹³

Wie aus den bisherigen Ausführungen deutlich geworden sein müßte, stellen Majors Argumente, die er ja selbst als Mutmaßungen bezeichnet, zu einem großen Teil bloße Behauptungen dar. Mit dem Mikroskop durchgeführte pflanzenanatomische Untersuchungen fehlen völlig. Was Major daher genau mit den von ihm erwähnten „Fasern“ und ihren „Anastomosen“ meinte, bleibt unklar.¹⁴ Auch die von ihm angeführten Experimente sind nicht besonders aussagekräftig. Weder wird genau beschrieben, wie tief die Einschnitte an den Bäumen reichten, noch macht sich Major Gedanken darüber, ob die deutlich unterschiedliche Beschaffenheit von Blutungssaft und Harz nicht etwa ein Hinweis auf Unterschiede in Funktion, Herkunft und Verarbeitungsgrad dieser „Säfte“ sein könnte, was in seiner Theorie zu berücksichtigen gewesen wäre. Man kommt nicht umhin, Major diesen „Vorwurf“ zu machen, selbst wenn man seine Vorgehensweise vor dem Hintergrund der zu seiner Zeit üblichen Forschungspraxis betrachtet.

Die näheren Umstände des von Major postulierten Saftkreislaufs bleiben undeutlich. So ist nicht ersichtlich, ob es sich bei dem für die Pflanze Überflüssigen, das wieder zurück nach unten transportiert wird, um noch nicht vollständig zubereiteten Nährsaft oder ein Übermaß an Nährsaft oder um echte Ausscheidungsprodukte handelt. Entsprechend diesen Möglichkeiten stellt sich weiter die Frage, ob diese Partikel wieder dem aufsteigenden Nährsaftstrom zur weiteren Verwendung im Verarbeitungs- bzw. Ernährungsprozeß zugeführt oder schließlich ausgeschieden werden. Unklar ist ferner das Verhältnis zwischen dem von der Wurzel aufgesogenen Wasser und dem im Kreislauf bewegten eigentlichen Nährsaft, der ja erst durch bestimmte Verarbeitungsprozesse entsteht. So ist fraglich, ob der absteigende Nährsaft sich mit dem aufsteigenden Wasserstrom vermischt, wie wir dies später bei Perrault sehen werden,¹⁵ und somit beide Flüssigkeiten an einem gemeinsamen Kreislauf teilnehmen oder ob nur der Nährsaft selbst einen Kreislauf aufweist. Nach einer knappen Bemerkung Majors einige Jahre später zu urteilen, scheint er letzteres angenommen zu haben. So unterscheidet er in einem Bericht über ein *privates „Collegium medico-curiosum“* aus dem Jahre

Zucker-Ahorns (*Acer saccharum*), aus dem Sirup (maple syrup) zubereitet wird. (Strasburger, 1983, S. 328–329.)

¹³Major, 1665, §45.

¹⁴Ob Major im Jahre 1665 bereits ein Mikroskop oder Zugang zu einem solchen Instrument besaß, ist ungewiß. Zwei Jahre später jedenfalls berichtet er von einer zusammen mit dem Kieker Physikprofessor Samuel Reyher durchgeführten mikroskopischen Untersuchung der Augen eines Maulwurfs (Major, [1667], [S. 2]). Ferner enthält sein 1669 veröffentlichtes „*Memoriale anatomico-miscellaneum*“ Berichte über mikroskopische Untersuchungen, u. a. des Auges eines Dachsfoetus (Obs. II, §10) und von Kristallen (Obs. III, §5).

¹⁵Siehe Kap. 2.2.

1670, in dem er kurz auf den Saftkreislauf zu sprechen kommt, zwei Arten von Flüssigkeitsbewegungen in den Pflanzen: ein Aufsteigen des Wassers in den Interstitien zwischen den die Pflanzen aufbauenden Fasern und ein Auf- und Absteigen des Nährsaftes nach Art des Blutkreislaufs im Menschen.¹⁶

Majors Dissertation über den Saftkreislauf ist eine sehr spekulative, fast ausschließlich theoretische Arbeit, die – offenbar in Eile – während einer Reise („in itinere“)¹⁷ verfaßt wurde und wohl hauptsächlich dazu diente, ihm die Priorität zu sichern. Davon, daß das Werk „einen gründlichen Forscher erkennen“ läßt, wie dies Buess behauptete,¹⁸ kann keine Rede sein.

Major kündigte zwar an,¹⁹ er werde bei anderer Gelegenheit das Thema ausführlicher behandeln, doch ein entsprechendes Werk ist nicht überliefert. Es gibt auch keinen Hinweis darauf, daß Major jemals von Perraults Abhandlung „De la circulation de la seve des plantes“ von 1680 erfuhr, in deren Vorwort er als erster Vertreter der Saftkreislaufhypothese genannt wird (s. u.). Dasselbe gilt für Mariottes „Végétation des plantes“.

2.2 Die Académie des Sciences und die Theorie vom Saftkreislauf

Majors Vorreiterrolle in der Aufstellung der Theorie vom Saftkreislauf in den Pflanzen wurde im deutschsprachigen Raum nicht vergessen,²⁰ doch läßt sich eine darüber hinausgehende Kenntnis seiner Überlegungen kaum ausmachen. Majors Dissertation wird nur von dem französischen Arzt und vergleichenden Anatomen Claude Perrault (1613–1688) erwähnt, der zusammen mit Edme Mariotte (um 1620–1684) an der „Académie Royale des Sciences“ die Lehre vom Saftkreislauf vertrat. Allerdings will auch Claude Perrault erst im nachhinein von Majors Arbeit erfahren haben.²¹

Perrault trug zum ersten Mal in der Versammlung vom 15. Januar 1667 seine Ansicht von einem Kreislauf des Nährsaftes vor,²² als er in seiner Darlegung eines botanischen Forschungsprogramms auf die Ernährungsweise und das Wachstum der Pflanzen zu sprechen kam. Als eine der Hauptforschungsaufgaben auf diesem Gebiet betrachtete er die Frage, ob zwischen der Ernährung der Pflanzen und der Tiere Gemeinsamkeiten bestehen, ob etwa auch in den Pflanzen die Ernährung unter der Leitung eines bestimmten Organs stehe. Hierbei dachte er an die Wur-

¹⁶Major, [1670], [S. 5].

¹⁷Major, 1665, §46.

¹⁸Buess, 1946, S. 38.

¹⁹Major, 1665, §46.

²⁰Siehe z. B. Verdries, 1707, S. 8; Wolff, 1723, S. 632; Thümmig, 1723, S. 158; Reichel, 1758, S. 4.

²¹Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 70.

²²Vgl. Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 69–70.

zel, deren Aufgabe darin bestehe, den von ihr aus der Erde aufgenommenen Saft aufzubereiten und an den Rest der Pflanze abzugeben. Wegen der ständigen Saftbewegung, wie sie für Lebewesen typisch sei, habe die Wurzel jedoch zu wenig Zeit für eine vollständige Verarbeitung des Saftes. Der für die Ernährung noch ungeeignete Saft werde daher von den übrigen Teilen der Pflanze in einer Art von Kreislauf wieder zur Wurzel zurückgeschickt, um dort erneut verarbeitet zu werden.²³

Perrault schlägt vor, an milchsaftführenden Pflanzen die Hypothese vom Saftkreislauf zu überprüfen, da deren – im Vergleich zu anderen Pflanzen dickerer und reichlicher vorhandener – Saft leichter wahrnehmbar sei. So solle man nachprüfen, ob, wie manche beobachtet hätten, bei Abtrennung eines Seitenastes einer solchen Pflanze auf seiten der Sproßachse ein anderer Saft ausfließe als aus dem abgetrennten Zweig, ähnlich wie bei einer Amputation aus dem Rumpf nur arterielles und aus dem amputierten Glied nur venöses Blut austrete.²⁴

Etwa eineinhalb Jahre später kam die Theorie von der Zirkulation des Pflanzensaftes erneut in der Akademie zur Sprache. Perrault wiederholte auf der Sitzung vom 30. Juni 1668 zunächst seine früheren Ausführungen und unterbreitete weitere Vorschläge, wie man sich durch Experimente sowie chemische und mikroskopische Untersuchungen über die verschiedene Zusammensetzung des auf- und absteigenden Milchsaftes und die Art und Lage seiner Leitungsbahnen Klarheit verschaffen könne.²⁵ Allerdings sind die Ausführungen Perraults sehr spekulativ

²³Archives de l'Académie des Sciences, *Registres des Procès-verbaux des séances de l'Académie royale des sciences* [im folgenden abgekürzt als „Arch. Acad. Roy. Sci., Reg. Proc.-verb.“], Tome I, S. 35 (fast wörtlich zitiert in Tome IV, f. 71v–72r): „A L'Égard de la nourriture et de l'accroissement il y a aussy beaucoup de choses Curieuses a examiner par des Experiences, et principalement la maniere dont se fait la nourriture a sçavoir si elle n'a point quelque rapport et proportion avec celle qui se fait dans les animaux en ce qui est de la direction et intendance d'une partie principale sur les autres, comme la Racine pourroit estre: laquelle partie ayant en elle la premiere vertu de preparer et de cuire le suc qu'elle prend dans la terre pour le distribuer a toute la plante, et ne le pouvant pas faire a raison du peu de temps qu'elle [Ms.: quelle] le contient parce qu'il est continuellement attiré et qu'il coule necessairement selon le cours de toutes choses vivantes qui se nourrissent incessamment il semble qu'il seroit necessaire quelle travaille sur ce suc a plusieurs reprises a sçavoir sur celuy qui apres avoir passé aux parties pour les nourrir, et n'en ayant pas esté trouvé capable en est rejehtë et renvoyé a la racine pour y recevoir la perfection qui luy manque par une Espece de circulation [...]“

²⁴Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Tome I, S. 35–36 (s. a. Tome IV, f. 72r–v): „Les Experiences qui pourroient fonder Cette pensée seroient d'examiner les plantes dans lesquelles on peut discerner plus visiblement le suc quelles [gemeint ist: qu'elles] contiennent pour estre plus grossier, et plus abondant que dans les autres comme sont toutes celles qui ont du laict, et voir s'il est vray, ce que quelques uns ont observé que ce laict lorsqu'on arrache un rameau paroist different dans les deux parties divisées, soit en quantité, soit en qualité Estant plus aqueux et moins cuit en l'une et plus Espais en l'autre ce qui pourroit faire croire que cela arriveroit de mesme qu'en l'amputation d'une partie d'un animal par laquelle il ne sort du costé du tronc que le sang arteriel de mesme qu'il ny a que le veneux qui decoule de la partie separée.“

²⁵Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Tome IV, f. 71v–77v.

und theoretisch, und zu diesem Zeitpunkt scheint er noch keine eigenen Experimente durchgeführt zu haben.

Eine Woche später, am 7. Juli 1668,²⁶ trug Edme Mariotte ein Mémoire zum Kreislauf des Pflanzensaftes vor.²⁷ Mariotte, der selbständig auf die Idee eines Saftkreislaufs gekommen sei,²⁸ schließt sich in seinen Ausführungen eng an die Überlegungen Perraults an. Im Unterschied zu Perrault stützt er sich jedoch auf eine Reihe von Experimenten, von denen im folgenden die wichtigsten wiedergegeben werden.

Mariotte durchschnitt den Stengel eines Schöllkrauts unterhalb der Verzweigungen der Sproßachse („au dessous des Branches“) und stellte fest,²⁹ daß aus der oberen Schnittstelle genauso viel oder sogar mehr gelber Milchsaft austrat als aus der unteren. Daraus schließt er, daß der Milchsaft nicht nur von der Wurzel zu den Blättern aufsteige, sondern offenbar auch wieder zur Wurzel zurückkehre. Als weitere Bestätigung dieser Annahme führt er die Beobachtung an, daß bei erneutem Durchschneiden des Stengels ein Zoll unterhalb der ersten Schnittstelle aus dem unteren Stengelteil Milchsaft austrete, der nach oben steige, wohingegen aus der Unterseite des abgetrennten Stengelstücks kein oder nur sehr wenig Milchsaft austrete. Umgekehrt lägen die Verhältnisse, wenn vom oberen Teil ein dünnes Stück abgetrennt werde, denn dann trete auf der Oberseite der dünnen Scheibe kein oder nur wenig Saft aus, während auf der Unterseite des restlichen Stückes reichlich Saft zum Vorschein komme. Diese Beobachtungen ließen sich an „tithimales“ (nicht näher identifizierbare Wolfsmilchgewächse), am Löwenzahn und anderen milchsaftführenden Pflanzen bestätigen.

Mariotte unterscheidet zwei Arten von Saft, einen gelben oder weißen (Milch)-Saft, enthalten in „petits canaux“, und einen „wäßrigen Saft“ („suc aqueux“),

²⁶Heller, 1986, S. 188.

²⁷Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Tome IV, f. 79r–86r.

²⁸Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 70. Als man am Ende der Sitzung vom 23. Juni 1668 überlegte, welche Themen man auf der nächsten Sitzung behandeln solle, meldete sich Mariotte mit der Bemerkung, einige Beobachtungen ließen ihn vermuten, der Saft zirkuliere in den Pflanzen wie das Blut in den Tieren. Perrault erwähnte daraufhin, daß auch er schon vor langem auf diesen Gedanken gekommen sei, und erinnerte an seine vorjährigen Ausführungen. Siehe hierzu folgendes Zitat (Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Tome IV, f. 67v–68r): „Comme on deliberoit de ce qu'on devoit faire dans la prochaine assemblée Mr. Mariotte a dict, qu'ayant examiné des Plantes depuis quelque temps il y avoit remarqué plusieurs choses qui luy font croire que le suc circule dans les Plantes comme le Sang dans les animaux; Et que si la Compagnie le jugeoit a propos il proposeroit au premier jour ces Remarques pour les examiner. Sur cela M. Perrault a dict qu'il avoit desia en il y a long temps la mesme pensée et qu'il la proposée dans un proiect pour la Botanique qu'il leut l'an passé a l'academie, et qui est inseré dans le Registre. Cette proposition ayant esté jugée digne d'estre examinée, La Compagnie a resolu qu'on en traitteroit dans la prochaine assemblée; Et a prié Mrs. Perrault et Mariotte de proposer ce qu'ils ont pensé [touchant *add. et del.*] sur ce subiect.“ Der Verdacht liegt natürlich nahe, daß die Geschichte von der unabhängigen „Entdeckung“ des Saftkreislaufs von Perrault und Mariotte inszeniert worden ist, um ihrer Theorie mehr Aufmerksamkeit zu sichern und sie glaubwürdiger erscheinen zu lassen. Beweisen läßt sich dies jedoch nicht.

²⁹Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., T. IV, f. 80r–80v.

der den Rest des Stengel- bzw. Blattgewebes anfülle. Seiner Beschreibung nach zu urteilen handelt es sich bei den „petits canaux“ nicht nur um die eigentlichen Milchröhren, sondern auch um Leitbündel.³⁰ Mariotte hält es für sehr wahrscheinlich, daß der wäßrige Saft in die Gefäße, die den Milchsaft enthalten, eintritt und sich mit ihm vermischt, so wie der Chylus in die Venen übergehe und sich mit dem Blut vermische. Entsprechendes gelte für das von der Wurzel aufgenommene Wasser.³¹ Eigenständige Wasserleitungsbahnen scheint Mariotte nicht angenommen zu haben.

Aufgrund mehrerer Experimente kam Mariotte zu dem Schluß, daß der Milchsaft sowohl auf- als auch absteige. Dies zeigte er durch die bereits genannten Versuche, ferner dadurch,³² daß aus angeschnittenen Enden von Wurzelhärchen milchsaftführender Pflanzen genauso viel Milchsaft austrete wie aus in der Mitte durchgeschnittenen Blättern.³³ Angesichts dieser Befunde stellte sich die Frage, ob das Auf- und Absteigen in ein- und denselben Gefäßen stattfindet oder in getrennten Gefäßen. Diese Frage wollte Mariotte nicht entscheiden,³⁴ auch wenn Beobachtungen an Mohnpflanzen, in denen er einen aufsteigenden weißen und einen absteigenden gelben Milchsaft feststellte, auf eine Verschiedenheit der Leitungsbahnen deuteten, denn sonst wären die Farben nicht so deutlich getrennt.³⁵

Desgleichen bewies Mariotte experimentell, daß Pflanzen nicht nur über die Wurzel, sondern auch über die Blätter Wasser aufnehmen und in ihrem gesamten Körper verteilen können.³⁶ Hierzu verwendete er u. a. verzweigte Stengel von Petersilien- und Kerbelpflanzen, die er mit den Blattspitzen des Hauptastes in ein Gefäß mit Wasser tauchte, während der Seitenast und der übrige Teil des Sten-

³⁰Siehe Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 81r–81v; vgl. Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 130–131.

³¹Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 81v–82r; s. a. f. 85v–86r.

³²Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 84v; vgl. Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 132.

³³Daß der Milchsaft aus den Wurzelhärchen austritt, soll ein Zeichen dafür sein, daß er nach unten getrieben wird, während das Hervorquellen des Milchsafts aus den Blättern anzeigen soll, daß er auch nach oben getrieben wird. In diesem Sinne lassen sich wohl die Äußerungen Mariottes interpretieren, wenn man seinen Vergleich mit den Safttransportvorgängen in einem zur Hälfte in die Erde eingesetzten Steckling mit heranzieht: „J’ay aussi remarqué que les bouts des petits filaments des racines de quelques plantes, comme l’esclaire, le tragopogon, etc. estant coupées jettent autant de suc que les feuilles coupées par le milieu, d’où l’on peut juger que le suc est également pressé et poussé d’un costé et d’autre, soit dans les mesmes canaux, soit en des canaux differents, ce qu’on void encor dans les arbrisseaux qui viennent de bouture comme la vigne, les groiseliers, le sureau etc. car la branche que l’on coupe en pointe aux deux bouts estant mise en terre jusques a la moitié, la moüelle qui est fort grosse a proportion des autres arbrisseaux, attire comme une esponge et s’imbibe de l’eau de la pluye, ou de celle qui est dans la Terre et la transmet dans les petites fibres qui sont entre l’escorce et le bois d’où elle est poussée en partie vers le bout d’en bas pour produire des racines a l’extremité de sa pointe et en partie vers les petits boutons d’en haut pour les faire enfler et s’estendre en petites feuilles“ (Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 84v–85r).

³⁴Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 81v.

³⁵Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 85r–v.

³⁶Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 82r–84v.

gels mit dem Wasser nicht in Berührung kamen. Dabei stellte er fest, daß auch der Seitenast drei bis vier Tage lang grün blieb, selbst im Sommer, während Vergleichspflanzen, die auf den Gefäßrand gelegt wurden, ohne an irgendeiner Stelle mit dem Wasser in Berührung zu kommen, rasch welkten und austrockneten.³⁷ Dieselben Versuche stellte er auch an Schnittlauchpflanzen an. Die äußeren Triebe wurden an ihren Enden in Wasser getaucht, während die mittleren, kürzeren Triebe das Wasser nicht berührten. Trotzdem wuchsen die mittleren Triebe in 3 bis 4 Tagen um 4 Zoll, während bei Vergleichspflanzen die mittleren Triebe viel weniger wuchsen, ja sogar die einen oder anderen nach wenigen Tagen welkten. Daraus schloß Mariotte, daß die Enden der eingetauchten Triebe das Wasser bis zur Wurzel transportieren, von wo es in die mittleren Triebe weitergeleitet werde.³⁸ Diesen Vorgang bezeichnet Mariotte als „eine Art von Zirkulation“ („une espece de circulation“).

Mit dem Begriff der „circulation“ belegt Mariotte verschiedene Phänomene. Zum einen bezeichnet er damit die Verteilung des Wassers bzw. des wäßrigen Saftes in teilweise entgegengesetzten Richtungen über die gesamte Pflanze, zum anderen versteht er darunter das Auf- und Absteigen des Milchsaftes, der die eigentliche Ernährungsgrundlage³⁹ der Pflanze darstelle. Beides hängt natürlich eng zusammen, da, wie oben bereits erwähnt, nach Mariotte das Wasser bzw. der wäßrige Saft, der von der Wurzel oder den Blättern aufgenommen wird, in die Gefäße des Milchsaftes eintritt und dann in ihnen weitertransportiert wird. Als stärksten Beweis für die „circulation“ wertet Mariotte das oben erwähnte Auftreten eines weißen aufsteigenden und eines gelben absteigenden Milchsaftes im Mohn.⁴⁰ Offenbar dachte sich Mariotte ein Ineinander-Übergehen dieser beiden Transportsysteme an den Enden der Pflanze, da er ja sonst nicht von einer „circulation“ hätte sprechen können.

Etwas deutlicher drückt sich Mariotte in „De la végétation des plantes“⁴¹ (1679) aus, auch wenn er jetzt nur noch von einer „conjecture sur la circulation du suc“ spricht. Mariotte erwägt ein mehrmaliges Zurückfließen von Nährsaftüberschuß aus dem Parenchym in die Leitungsbahnen des Nährsaftes „par une circulation continue“. Doch mit Gewißheit wagt er dies nicht zu behaupten, „und noch weniger, daß es verschiedene Arten von Poren gibt, von denen die einen den Saft zur Wurzel und die anderen zu den Zweigen leiten“.⁴² Auch noch 1679

³⁷Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 82r–82v; vgl. Mariotte, 1740 [ursprg. 1679], S. 133.

³⁸Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 82r–83r; vgl. Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 133. Desgleichen stellte Mariotte die Aufnahme von Tau durch die Blätter experimentell nach (Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 83r–83v).

³⁹Mariotte bezeichnet den Milchsaft gegenüber dem „suc aqueux“ als „suc plus parfait pour nourrir ensemble toute la plante“ (Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 82r).

⁴⁰Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 85r–85v.

⁴¹Mariotte, 1740 [urspr. 1679] bzw. 1923.

⁴²Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 132–133: „On pourroit conjecturer, qu’après que le suc contenu dans les petits canaux fibreux, a nourri suffisamment les parties de la plante, le surplus est

ist er sich demnach unsicher, ob es für die verschiedenen Transportrichtungen auch verschiedene Leitungsbahnen gibt oder ob der Nähr- bzw. Milchsaft in ein- und denselben „conduits“ sowohl auf- als auch absteigt. Interessanterweise fehlt inzwischen das Beispiel des Mohns mit seinen verschieden gefärbten Milchsäften, das Mariotte ursprünglich als Indiz für getrennte Gefäße ansah (s. o.).

Nachdem Mariotte seinen Vortrag beendet hatte, beauftragte die Akademie den Arzt Samuel Du Clos (Duclos) Cotreau (Cottereau) (1598–1685) sowie Nicolas Marchant (Marchand) († 1678), die Darstellungen Perraults und Mariottes zu prüfen. Man versammelte sich am darauffolgenden Freitag (13. 7. 1668) im *Jardin du Roi*, um Experimente zur Frage der Saftzirkulation durchzuführen.⁴³ Am 14. Juli 1668 erstatteten Du Clos und Marchant Bericht.

Die experimentellen Befunde Mariottes wurden zwar als solche anerkannt, aber Du Clos wandte ein, daß sich aus ihnen nicht notwendigerweise auf einen Kreislauf schließen lasse. So ließen sich Unterschiede in der Quantität und Qualität des nach Durchtrennung von Stengeln milchsaftführender Pflanzen an den beiden Schnittflächen austretenden Safts auch ohne Annahme einer Zirkulation damit erklären, daß der Saft in der einen Hälfte reichlicher vorhanden sei als in der anderen und einen unterschiedlichen Verarbeitungsgrad aufweise.⁴⁴ Auch der Umstand, daß Pflanzen nicht nur über die Wurzel, sondern auch über die Blätter Wasser aufnehmen und dadurch, auch wenn sie über die Wurzel nicht mehr ernährt werden, weiter am Leben erhalten werden können, sei kein Zeichen für eine Zirkulation, genauso wenig wie man von einer Zirkulation spreche, wenn ein Schwamm von allen Seiten her Wasser aufsauge.⁴⁵ Im übrigen erweise sich der Milchsaft nach Trocknung als harzig und zum Teil wasserunlöslich, jedoch als löslich in Alkohol und entflammbar, wie man es z. B. vom Opium her kenne. Ein so harziger und fetter Saft könne aber nicht zur Ernährung der Pflanze dienen. Vielmehr sei der Milchsaft ein Verarbeitungsprodukt, wie das Fett in den Tieren, das auch nicht zirkuliere.⁴⁶ Und so schließt Du Clos' Bericht mit den Worten:

„Les raisons de convenance ne peuvent gueres servir a l'establissement d'une juste reigle de proportion entre les animaux et les Plantes pour

repris par la matière spongieuse de la plante, pour être réuni avec l'autre suc, & rentrer ensuite plusieurs fois dans les petits canaux par une circulation continuelle: mais je n'ose l'assurer, & encore moins qu'il y ait des pores différens dont les uns portent le suc à la racine & les autres aux branches. Mais je tiens pour certain, que le suc aqueux passe dans les petits canaux, d'où il est poussé vers la racine & vers les feuilles après s'être mêlé avec l'autre, & avoir pris ses mêmes dispositions; comme le chyle, qui est blanc, en entrant dans la veine axillaire, devient peu à peu semblable au sang & le répare. Je crois aussi que la même chose arrive dans les arbres; c'est-à-dire, qu'ils ont des canaux différens entre leur écorce & le bois, &c. & qu'ils se nourrissent de même.“

⁴³Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 86r–v.

⁴⁴Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 88r–88v.

⁴⁵Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 88v.

⁴⁶Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 89v–90r.

conclure analogiquement la circulation de la seve des Plantes, par celle du sang des animaux.“⁴⁷

Du Clos' berechtigte Einwände blieben nicht ohne Wirkung. Die Akademie sah sich letztlich außerstande, eine Entscheidung zwischen den konträren Ansichten zu treffen.⁴⁸ Im Jahre 1733 kommentierte Fontenelle⁴⁹, der offenbar eine gewisse Sympathie für die Saftkreislauflehre besaß,⁵⁰ diese Situation folgendermaßen:

„Mr. du Clos opposa au sentiment de MM. Perrault & Mariotte des difficultés qui n'étoient pas invincibles; l'Académie étoit naturellement juge entre les deux parties; mais comme une grande partie de la sagesse consiste à ne point juger, elle prononça que la matière n'étoit pas encore assez éclaircie. Il faut attendre qu'on ait un assez grand nombre d'expériences & de faits, pour en tirer quelque chose de général; on est pressé communément d'établir des Principes, & l'esprit court au système; mais on n'en doit pas croire entièrement cette ardeur.“⁵¹

Diese Stellungnahme ist besonders interessant, da sie das Verhältnis zwischen Erfahrung und Theorienbildung behandelt und die Problematik anspricht, daß oft zu einem Zeitpunkt, zu dem noch nicht genug Faktenwissen vorhanden ist, zur Theorien- und Systembildung geschritten wird. Man war sich demnach in der Akademie des Problems der mangelhaften empirischen Basis von Theorien deutlich bewußt.

⁴⁷Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 90r.

⁴⁸Siehe J. B. Duhamel, 1700a, S. 69–70: „His [die verschiedenen Argumente für und gegen einen Saftkreislauf] in utramque partem agitatis quaestio ipsa [die Frage eines Saftkreislaufs] nondum ad exitum perducta & profligata majori parti assidentium visa est: adeo ut nondum liqueret, ultra sententia esset veri propior.“ Vgl. den Brief Justels an Oldenburg von Ende Juli 1668 (*Oldenburg-Korr.*, Bd. IV, S. 562): „Nos messieurs ont crû aussi bien qu'en Angleterre qu'il y avoit des Valvules dans les plantes; mais cela n'a pas esté démontré a loeuil non plus que la circulation, quoy qu'on ait fait plusieurs experiences la dessus. Monsieur de la Quintinie soutient qu'il ny en a point et les autres commencent a en douter.“ Siehe auch den Brief Justels an Oldenburg vom 12. 8. 1668 (*Oldenburg-Korr.*, Bd. V, S. 11): „Je demeure d'accord que tout ce qui s'est fait et dit iusques ici touchant la circulation dans les plantes n'est pas convaincant, cest une conjecture seulement qu'on a eue.“

⁴⁹Bernard le Bouyer (Bovier) de Fontenelle (1657–1757).

⁵⁰Siehe auch Fontenelles Ausführungen in der *Histoire* der Académie Royale des Sciences für das Jahr 1709 (*Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCIX. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie*, Ausg. Amsterdam, 1711, Histoire, S. 60–62).

⁵¹*Histoire de l'Academie royale des sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1686*. Tome I, Paris 1733, S. 41. Als Bearbeiter der beiden im Jahre 1733 erschienenen Bände über die Geschichte der Académie Royale des Sciences von ihrer Gründung im Jahre 1666 bis zu ihrer Erneuerung im Jahre 1699 fungierte für die Jahre bis 1679 Fontenelle, während Godin die restlichen Jahre bearbeitete sowie die Liste der Mitglieder der Akademie erstellte (s. Brian u. Demeulenaere-Douyère, 1996, S. 115).

Perrault und Mariotte veröffentlichten ihre Ansichten einige Jahre später in gedruckter Form, ersterer in Gestalt einer Monographie⁵² (1680), letzterer im Rahmen seiner „Végétation des plantes“ (1679).

Mariottes Ausführungen von 1679 wurden oben bereits herangezogen. Sie entsprechen oftmals wörtlich seinen Darlegungen aus dem Jahre 1668, auch wenn die Anordnung der Berichte über die durchgeführten Experimente zum Teil eine andere Reihenfolge aufweist. Wesentlich neue Gedanken sind nicht hinzugekommen. Man gewinnt den Eindruck, daß die Theorie vom Saftkreislauf für ihn nur noch eine untergeordnete Rolle spielt, ja sie ist für Mariotte, wie oben bereits erwähnt, nur noch eine „conjecture“. Im Gegensatz hierzu legte Perrault 1680 eine recht umfangreiche Monographie („De la circulation de la seve des plantes“) vor, in der er auf das ausführlichste einen Saftkreislauf in den Pflanzen zu belegen versucht. Ferner schildert er darin in separaten Kapiteln den Schlagabtausch, den er sich in den vergangenen Jahren mit Du Clos geliefert hatte.

Perrault sieht eine prinzipielle Übereinstimmung in der Ernährungsweise von Tieren und Pflanzen, so daß die Gründe, die für die Notwendigkeit eines Blutkreislaufes sprechen, mutatis mutandis auch auf die Pflanzen anwendbar seien.⁵³ So müsse auch in den Pflanzen der ständige Substanzverbrauch ausgeglichen werden durch einen in ihnen verarbeiteten Saft, der als Nahrungsgrundlage diene. Da die Verarbeitung nicht augenblicklich geschehen könne, sei eine mehrmalige Wiederholung der Verarbeitungsprozesse notwendig und damit ein Zurückkehren des Saftes. Um seine Ansicht noch plausibler erscheinen zu lassen, verweist er auf das Vorhandensein eines Kreislaufs auch in der unbelebten Natur. So steige der im Erdboden enthaltene „Saft“ in Form von Wasserdampf auf, werde durch die Sonnenwärme und das Einwirken der Winde verarbeitet und kehre als Regen zur Erdoberfläche zurück, wo er den verarbeiteten und vervollkommenen Teil seiner Substanz zurücklasse, bevor er erneut aufsteige.⁵⁴ Da der in der Erde enthaltene „Saft“ zweifellos ein „être moins parfait“ als die Pflanzen sei, aber dennoch einem beständigen Verarbeitungsprozeß in Form eines Kreislaufs unterliege, könne man auch nicht einwenden, die Pflanzen besäßen keinen Kreislauf, weil sie weniger vollkommen als die Tiere seien.⁵⁵

Perrault untermauert seine Ansicht vom Saftkreislauf durch eine Vielzahl von Experimenten, Beobachtungen und Analogien, die er im zweiten Teil seiner Abhandlung einzeln darlegt und deutet. Für die generelle Existenz eines Saftkreis-

⁵²Perrault, 1721 [urspr. 1680].

⁵³Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 71–72.

⁵⁴Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 72. Bereits Aristoteles ging in seiner Meteorologie (Buch I, Kap. 9) von einem Kreislauf des Wassers aus, das, durch die Sonnenstrahlen erwärmt, als Dampf aufsteige, in größeren Höhen sich jedoch wieder abkühle, kondensiere und schließlich als Regen wieder auf die Erde herabfalle. Von einer Verarbeitung des Wassers bzw. des Wasserdampfes ist bei Aristoteles jedoch nicht die Rede. Die ursprüngliche aristotelische Auffassung wurde von Harvey in Form einer Mikrokosmos-Makrokosmos-Analogie zur Stützung seiner Lehre vom Blutkreislauf herangezogen (s. Harvey, 1968 [urspr. 1628], S. 54–55; vgl. Pagel, 1967, S. 82–83).

⁵⁵Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 72.

laufs sollen die folgenden Beobachtungen sprechen: Wenn junge Triebe erfrieren oder von Tieren, deren Biß für die Pflanze schädlich sei, angefressen würden, gehe der ganze Baum ein, wenn die geschädigten Triebe nicht rechtzeitig entfernt würden. Dies erinnere an die tödlichen Folgen, die der Biß eines giftigen Tieres oder der Wundbrand an einem Glied für das gesamte Tier haben könne. Und genauso, wie sich die Vergiftung des gesamten Körpers durch den Blutkreislauf erklären lasse, der dafür Sorge, daß sich das Gift im ganzen Körper ausbreiten könne, so müsse man auch in den Pflanzen einen Kreislauf annehmen, der den vergifteten Saft in der gesamten Pflanze verteile. Damit lasse sich auch die Wirkung von Misteln, die den Baum schwächen und seine Früchte verderben, sowie die heilsame Wirkung der Entfernung von Moos erklären.⁵⁶

Der Saftkreislauf in den Pflanzen geschehe auf die folgende Weise: Die Wurzel nimmt Saft bzw. Feuchtigkeit aus der Erde auf und verarbeitet sie. Der Saft steigt danach im Stamm bzw. Stengel auf, und die Äste und Blätter entnehmen ihm, was sie für ihre Ernährung benötigen. Der unbrauchbare Anteil steigt wieder herab, vermischt sich mit dem Saft, den die Wurzel aus der Erde aufnimmt, und wird von neuem verarbeitet.⁵⁷ Aufgrund der bereits aus den Ausführungen Mariottes bekannten Experimente und weiterer Beobachtungen kommt Perrault zu dem Schluß, daß auch die Blätter imstande seien, Wasserdampf, Regenwasser und Tau aufzunehmen.⁵⁸ Indem sich die von den Blättern aufgenommene Feuchtigkeit mit dem absteigenden Saft vermische, werde auch sie dem Kreislauf zugeführt.

Die Wurzel übernimmt die Funktion des Herzens, das sich Perrault als Organ der Blutverarbeitung vorstellt⁵⁹. Genau genommen sei es nicht die gesamte Wurzel, die die Verarbeitung des Saftes vornehme, sondern die Verbindungsstelle von Wurzel und Stamm.⁶⁰ In dieser Behauptung Perraults spiegelt sich eine alte Tradition wider, denn bereits Andrea Cesalpino (1519–1603) bezeichnete die Übergangsstelle zwischen Wurzel und Stamm als Herz der Pflanze.⁶¹ Neben der

⁵⁶Siehe zu diesem Absatz Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 80–81.

⁵⁷Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 73, 84.

⁵⁸Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 85–86, 92–93.

⁵⁹Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 82–83, 111.

⁶⁰Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 112. Eine Ausnahme sollen die Wurzeln darstellen, die mehrere Nodien aufweisen, wie im Falle der Quecke. Hier wirke jedes der Nodien als Herz, so daß sich die Wurzel auch in ebensoviele Einzelpflanzen, wie sie Nodien besitze, aufteilen lasse.

⁶¹Gleichwohl ist die zugrundeliegende Problemstellung bei Cesalpino eine andere. Ihm geht es darum, unter den Prämissen der aristotelischen Naturphilosophie die Frage nach dem (Haupt-)Sitz der „Pflanzenseele“ zu klären (s. zu folgendem Cesalpino, 1583, S. 1–2). Cesalpino unterscheidet zwei Hauptorgane in den Pflanzen: die Wurzel, die der Nahrungsaufnahme diene, und den Stamm („caudex“) bzw. Stengel („caulis“), der die Frucht trage, die der Vermehrung diene. Ob sich nun die Pflanzenseele in der Wurzel oder im Stamm bzw. Stengel befinde, lasse sich nicht leicht entscheiden. Auf der einen Seite sei nämlich bei vielen Pflanzenarten die Wurzel auch allein überlebensfähig – was darauf deute, daß sich die Seele in der Wurzel befinde –, auf der anderen Seite ließen sich aber einige Pflanzen durch Zweigstecklinge, die sich im nachhinein bewurzeln, vermehren, was wiederum einen Sitz der Pflanzenseele im Sproß („germen“) nahelege. Obwohl diese Schwierigkeit zunächst ungelöst bleibt, kommt Cesalpino doch zu einer

Wurzel bzw. der genannten Übergangsstelle zwischen Wurzel und Stamm betrachtet Perrault auch die Blätter als Organe der Saftverarbeitung. Dies zeigt er experimentell an Hand der Schäden, die Pflanzen erleiden, deren Blätter entfernt wurden.⁶²

Perrault geht von einem echten Kreislauf aus, da er ausdrücklich davon spricht, daß derselbe Saft die Pflanze mehrmals von oben nach unten durchlaufe, wobei der zurückkehrende Saft sich mit neu von der Wurzel aufgenommenem vermische.⁶³ Was die Frage betrifft, in welchen Teilen des Stammes oder des Stengels der Saft aufsteigt und in welchen Teilen er absteigt, kommt Perrault aufgrund experimenteller Befunde für verschiedene Pflanzen zu unterschiedlichen Ergebnissen.⁶⁴

Entscheidung. So stellt er die Überlegung an (ibid., S. 3), daß, da die Natur für gewöhnlich die Lebensprinzipien im Inneren der Lebewesen lokalisiere, dies auch bei den Pflanzen so sein sollte, das Lebensprinzip also im Mark sitzen müsse, das im übrigen von alters her als Herz, Gehirn oder Gebärmutter bezeichnet worden sei (diesen Hinweis entnahm Cesalpino offensichtlich der pseudo-aristotelischen Schrift „De plantis“ von Nicolaus Damascenus; vgl. „Aristoteles“, *De plantis*, I.4.819a32–34). Mark besitze aber nur der Sproß, nicht die Wurzel. Ferner gelte es zu bedenken, daß sich das, was die äußeren Teile belebe, selbst in der Mitte befinden sollte. Daher liege der Sitz der Pflanzenseele, also das „Herz“ der Pflanzen, im Inneren der Übergangsstelle zwischen Wurzel und Sproß, wo sich auch eine Substanz befinde, die weicher und fleischiger als der Rest der Pflanze sei: „Quoniam autem in medio esse maxime oportuit id quod exteris partibus vitam distribuit, duæ autem sunt partes plantarum maxime conspicuæ radix scilicet, & id totum, quod sursum attollitur, merito in intermedio, qua scilicet radix germi coniungitur, locus videatur cordi plantarum opportunissimus. Apparet autem in hoc loco substantia quædam, tum a germine, tum a radice distincta, mollior enim & carnosior est vtrisque, unde cerebrum appellari solet, [...]“. Damit ist aber für einen Aristoteliker noch nicht das letzte Wort gesprochen. Letztendlich befindet sich nämlich laut Cesalpino das „Herz“ *potentia* – also im Sinne der aristotelischen Akt- und Potenz-Lehre der Anlage nach – doch *überall* in der Pflanze, was sich ja daran zeige, daß sich eben viele Pflanzen durch Wurzelstücke oder Sproßteile vermehren ließen (Cesalpino, 1583, S. 8–9, 10; vgl. Aristoteles, *De anima*, II.2.413b16–19). Im aristotelischen Sinne bedeutet dies, daß sich in den Pflanzenteilen, die zur (vegetativen) Vermehrung verwendet werden, die Möglichkeit der Existenz eines Pflanzenherzens aktualisiert und sich somit aus ihnen eine neue, vollständige Pflanze entwickelt. – Was die Ansicht, das Herz der Pflanzen befinde sich zwischen Wurzel und Sproß, betrifft, dürfte auch eine Anregung von Aristoteles' kleiner Schrift „Über Jugend und Alter, Leben und Tod“ ausgegangen sein, wonach die weitere Entwicklung einer Keimpflanze am Ursprungsort der Keimblätter ihren Anfang nehme, indem von diesem Ort aus Wurzel und Stengel wüchsen (s. Aristoteles, *De iuvent. et senect.*, 3.468b16–28). Dieser Ursprungsort des weiteren Pflanzenwachstums befindet sich demnach in der Mitte zwischen Wurzel und Stengel. Die metaphorische Bezeichnung „Herz“ für diese Stelle findet sich jedoch bei Aristoteles nicht. Cesalpino hingegen schreibt (1583, S. 13, Hervorhebung nicht im Original): „Qua enim hæc duo folia [die Keimblätter] exortum ducunt, *cor* est, quippe radicis caput, & germinis principium“.

⁶²Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 81–84.

⁶³Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 73, 75, 78; vgl. S. 80, 81, 83, 84, 112; s. a. Perrault, 1684, S. 50, Fußn. 7.

⁶⁴Experimente, bei denen Birkenstämme unterschiedlich tief und an verschiedenen Stellen eingeschnitten wurden, veranlassen ihn angesichts der Unterschiede in Menge und Qualität des austretenden Safts, anzunehmen, daß der Nährsaft in der Rinde und den „Poren“ („pores“) des Holzes aufsteige, während zwischen Rinde und Holz eine „eau insipide“ absteige, bei der es

In Analogie zu den Verhältnissen im Blutkreislauf nimmt Perrault zwei Arten von Leitungsbahnen („conduits“) an. Die einen sollen den Arterien entsprechen und den Nährsaft leiten, während die anderen als eine Art von Venen die „wäßrige und für die Ernährung unnütze Flüssigkeit“⁶⁵ zur Wurzel zurückleiteten, damit sie dort weiter verarbeitet werden könne.⁶⁶ Perraults Beschreibungen des anatomischen Aufbaus der Leitungsbahnen am Beispiel von Stengeln nicht näher bezeichneter „Plantes ferulacées“⁶⁷, eines Aloenblattes und der Rinde alter Eichen sind allerdings von keiner Zeichnung begleitet und erlauben keine eindeutige Identifizierung der beschriebenen Strukturen.⁶⁸

Durch die Ausführungen Mariottes und Perraults, die ein beträchtliches Repertoire an Beobachtungen, Experimenten und Analogien zur Stützung der Theorie vom Saftkreislauf enthalten, blieb diese Theorie nicht nur in der Diskussion, sondern es konnte sich in Frankreich auch eine Tradition von Befürwortern des Saftkreislaufs ausbilden.⁶⁹ Gleichwohl soll an dieser Stelle noch nicht das weitere Schicksal der Saftkreislauflehre in Frankreich behandelt, sondern als nächstes die Diskussionen an der Royal Society in London aufgezeigt werden.

2.3 Diskussionen und Experimente der Royal Society zum Safttransport in Pflanzen

Etwa gleichzeitig zu den Diskussionen an der Académie Royale des Sciences in Paris wurde auch an der Royal Society in London die Frage nach einer Zirkulation des Pflanzensaftes erörtert. Die erste belegbare Formulierung der These von einem Kreislauf des Nährsaftes findet sich in einem Aufsatz von Christopher Merret (1615–1695), einem der ersten Mitglieder der Royal Society, in den „Philosophical

sich um den zurückkehrenden Saft handle. Da die Bäume den Verlust großer Mengen dieser „eau insipide“ aushielten, könne es sich dabei nicht um den Nährsaft handeln (Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 93). Bei anderen, nicht näher benannten Arten von Bäumen nimmt Perrault an, daß der Nährsaft in der Rinde aufsteige, während die „partie aqueuse & inutile“ im Holz absteige (ibid., S. 94). Zu wieder einem anderen Ergebnis gelangt Perrault bei milchsaftführenden Pflanzen („Epurge“ [wohl *Ricinus communis*], „les grandes Tithymales“ [nicht näher identifizierbare Wolfsmilcharten]), deren Stamm bzw. Stengel er in der Mitte einschnürte. Die oberhalb der Ligatur auftretende Anschwellung erklärt er damit, daß der Saft in diesen Pflanzen im äußeren Abschnitt der Rinde absteige, während er weiter innen in harten und faserigen Kanälen („canaux durs & fibreux“), die von der Einschnürung nicht betroffen seien, aufsteige (ibid., S. 98). Zu Perraults Vorstellungen über den Ort des Saftauf- bzw. -abstiegs s. a. Perrault, 1684, S. 50, Fußn. 7.

⁶⁵Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 96.

⁶⁶Ibid., S. 96–101.

⁶⁷Den fast identischen Ausführungen Mariottes (Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 130–131) nach zu urteilen handelte es sich offenbar um milchsaftführende Pflanzen.

⁶⁸Siehe Perrault, 1721 [urspr. 1680], S. 99–101.

⁶⁹Siehe Kap. 4.

Transactions“ vom Mai 1667.⁷⁰ Merret bewahrte von 1656 bis 1660 eine in ein trockenes Tuch eingewickelte Aloe in seiner Küche auf, wog sie von Zeit zu Zeit und stellte dabei einen Gewichtsverlust von zwei bis drei Unzen pro Jahr fest. Er beobachtete ferner, daß jedes Jahr zwei der größeren Blätter verwelkten, während sich im Frühjahr zwei neue Blätter herausbildeten, die zwar kleiner, dafür aber frischer und grüner waren. Aus dieser Beobachtung schließt Merret auf einen Kreislauf des Nährsaftes („Circulation [...] of the Succus nutritius“) in der Aloe. Er hielt es nämlich nicht für möglich, daß die Wurzel, die genauso fest sei wie vorher, soviel Nahrung liefern solle, daß es zur Hervorbringung von neuen Blättern reiche. Statt dessen kehre der Saft von den alten und verwelkten Blättern zur Wurzel zurück, die ihn dann zur Produktion neuer Blätter wieder hervorstoße („protrude“).

Ob Merret von seiten der Fellows der Royal Society für seine Theorie Zuspriech erhielt, ist unbekannt. Mittlerweile berichtete der französische Gelehrte Henri Justel (1620–1693) Henry Oldenburg, Sekretär der Royal Society, in mehreren Briefen über Mariottes Versuche und Thesen zum Saftkreislauf.⁷¹ Eine lebhafte Diskussion löste ein Brief Justels vom 25. 7. 1668 aus, den Oldenburg in der Sitzung vom 30. Juli 1668 vortrug. Darin berichtete Justel, „man“ – damit sind offenbar Perrault und Mariotte gemeint – „glaube, das Zentrum der Zirkulation in den Pflanzen liege in der Hauptwurzel, denn man könne den Stamm oder die Seitenwurzeln abschneiden, ohne daß ein Baum eingehe, werde aber die Hauptwurzel entfernt, sterbe der Baum unweigerlich ab“. ⁷² Dem wurde von seiten einiger Mitglieder der Royal Society entgegengehalten, daß ein solches Experiment zwar das Zentrum der Keimung aufzeigen könnte, aber keinen Schluß auf einen Kreislauf des Saftes zulasse.⁷³ Außerdem wüchsen einige Pflanzen, indem man nur ihre Blätter oder Zweige in die Erde stecke, also ohne Wurzeln.⁷⁴

In der Folge der durch Justels Brief ausgelösten Diskussion wurden eine Reihe von Queries aufgestellt, die den Safttransport in Pflanzen betrafen, ohne jedoch explizit die Frage eines Saftkreislaufs aufzuwerfen.⁷⁵ Dennoch bestand unter den Fellows der Royal Society ein lebhaftes Interesse an der Klärung der Frage eines

⁷⁰Merret, 1667; s. a. Hoppe, 1976, S. 264.

⁷¹Siehe Justel an Oldenburg, 6. 6. 1668, *Oldenburg-Korr.*, Bd. IV, S. 427–429, hier S. 428; Justel an Oldenburg, 4. 7. 1668, *Oldenburg-Korr.*, Bd. IV, S. 499–502, hier S. 500; Justel an Oldenburg, 15. 7. 1668, *Oldenburg-Korr.*, Bd. IV, S. 542–544, hier S. 544; s. a. oben, Fußn. 48.

⁷²Justel an Oldenburg, 15. 7. 1668, *Oldenburg-Korr.*, Bd. IV, S. 542–544, hier S. 544.

⁷³Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 309–310. Da die übrigen von Perrault und Mariotte angestellten Experimente und Beobachtungen in Justels Brief nicht erwähnt wurden, ist eine solche Reaktion nicht verwunderlich.

⁷⁴Ibid., S. 310.

⁷⁵Die Queries wurden in Nummer 40 der „Philosophical Transactions“ (Oktober 1668) auf S. 797–799 abgedruckt. Zum Teil waren sie bereits in den von Daniel Coxe in der Sitzung vom 19. April 1665 aufgestellten Queries (s. Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 32–40) enthalten.

Saftkreislaufs, wie u. a. die mehrfachen Aufforderungen an Willughby und Ray, dieses Problem experimentell zu lösen, belegen.⁷⁶

Die Experimente und Beobachtungen, die von John Beale, Ezerel Tonge, John Wray (Ray), Francis Willughby, Martin Lister und anderen Naturforschern zur Klärung des Safttransports angestellt wurden, waren verschiedenster Art. Es wurde die Intensität des im Frühjahr beobachtbaren „Blutens“ bestimmter Bäume (z. B. Birke, Walnuß, Sykomore) in Abhängigkeit von Baumart, Temperatur, Witterung, Jahres- und Tageszeit, Einschnittort und -tiefe untersucht⁷⁷ sowie die Permeabilität von Ästen für verschiedene Flüssigkeiten (Wasser, Quecksilber) nach beiden Richtungen hin geprüft⁷⁸. Ferner beobachtete man die Auswirkungen einer Einschnürung von Stämmen bzw. Stengeln mit Metallringen und Fäden⁷⁹ und die Folgen einer Entfernung der Rinde⁸⁰. Um herauszufinden, ob sich die Safttransportrichtung umkehren läßt, pflanzte man Zweigstecklinge verkehrt herum ein oder beobachtete, ob Ableger nach ihrer Bewurzelung und Abtrennung vom Mutterstock an beiden Enden weiterwachsen können.⁸¹ Auch mögliche Einflüsse des Pfropfreises auf den Stock wurden berücksichtigt.⁸²

Diese Experimente, die hauptsächlich dazu dienten, festzustellen, in welchem Teil der Pflanze der Saft aufsteigt, und zu belegen, daß auch ein Abwärtstransport von Saft vorkommt bzw. zumindest experimentell herbeigeführt werden kann,

⁷⁶Siehe Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 382, 392 (Sitzungen der Royal Society vom 10. Juni und 8. Juli 1669); Briefe Oldenburgs an Willughby vom 15. 6. und 9. 7. 1669 (*Oldenburg-Korr.*, Bd. VI, S. 35–36, 103).

⁷⁷J. Beale u. E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 43 (1668/69), S. 853–862, hier S. 856–859, 861–862; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 44 (1668/69), S. 880–881, hier S. 880; F. Willughby u. J. Wray (Ray) in *Phil. Trans.*, Nr. 48 (1669), S. 963–965; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 57 (1670), S. 1165–1166; F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 57 (1670), S. 1166–1167; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 58 (1670), S. 1198–1199; F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 58 (1670), S. 1199–2000; M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 68 (1670/71), S. 2067–2069; J. Wray (Ray) in *Phil. Trans.*, Nr. 68 (1670/71), S. 2069–2070; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 68 (1670/71), S. 2070–2072; M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2119–2125; F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2125–2126; M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2126–2128.

⁷⁸Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 478–479; Oldenburg an Lister, 27. 5. 1671, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VIII, S. 63–64, hier S. 64; Willughby an Oldenburg, 16. 3. 1670/71, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VII, S. 519–520; Willughby an Oldenburg, 21. 4. 1671, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VIII, S. 9–10; F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2125–2126, hier S. 2126.

⁷⁹Vgl. Oldenburg an Lister, 11. 2. 1670/71, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VII, S. 452; Lister an Oldenburg, 15. 2. 1670/71, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VII, S. 457–463, hier S. 459; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 68 (1670/71), S. 2072–2074, hier S. 2073; M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2119–2125, hier S. 2122–2123; Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 310 (J. Goddards Versuche).

⁸⁰J. Beale u. E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 43 (1668/69), S. 853–862, hier S. 859–860; J. Wray (Ray) u. F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 48 (1669), S. 963–965, hier S. 963.

⁸¹J. Beale u. E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 43 (1668/69), S. 853–862, hier S. 854; E. Tonge in *Phil. Trans.*, Nr. 44 (1668/69), S. 877–879, hier S. 879; J. Wray (Ray) u. F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 48 (1669), S. 963–965, hier S. 965.

⁸²R. Reed in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2128–2132, hier S. 2129–2130.

fürten zum Teil zu interessanten Ergebnissen,⁸³ jedoch zu keiner Klärung der Frage eines Saftkreislaufs. Willughby, der „immer der Ansicht gewesen sei, daß der Saft zirkuliert“,⁸⁴ hob hervor, wie schwierig es sein werde, dies durch Experimente zu beweisen.⁸⁵ Lister wiederum, der ebenfalls „dazu neigte, einen Kreislauf der Pflanzensäfte anzunehmen“,⁸⁶ war der Überzeugung, daß „we shall have but dark and imperfect notions of the motion of the Juyces in Vegetables, until their true Texture be better discover'd.“⁸⁷

Diese von Lister herbeigewünschte Situation trat noch im selben Jahr ein, als Nehemiah Grew (1641–1712) 1671 der Royal Society seine erste Abhandlung zur Pflanzenanatomie⁸⁸ präsentierte, die in den folgenden Jahren durch eine Reihe von weiteren Werken zur Anatomie und zum Wachstum verschiedener Pflanzenteile ergänzt wurde.⁸⁹

Grew ist der Ansicht,⁹⁰ daß ein Aufsteigen des Saftes in drei verschiedenen Pflanzenteilen vorkommt: im Mark, im Holz und in der Rinde. Ein Safttransport im Mark finde jedoch nur im ersten Jahr statt, danach trockne es aus. In den darauffolgenden Jahren steige der Saft im Frühjahr im Holz auf, und zwar in den „Luftgefäßen“ („Air-vessels“), die normalerweise Luft oder den Luftanteil („Airy part“)⁹¹ des Saftes transportieren.⁹² Im Sommer erfolge der Saftaufstieg in entsprechenden „Saftgefäßen“ („Sap-vessels“) der Rinde.⁹³

Zu dieser komplizierten Annahme eines Wechsels der Transportgefäße wurde Grew durch die Beobachtung veranlaßt,⁹⁴ daß z. B. Weinstöcke im Vorfrühling

⁸³So stellten etwa Ray und Willughby experimentell fest, daß der Safttransport nicht allein aufgrund der in engen Röhren wirkenden Kapillarkräfte vor sich gehen könne (J. Wray [Ray] u. F. Willughby in *Phil. Trans.*, Nr. 48 [1669], S. 963–965, hier S. 963).

⁸⁴Willughby an Oldenburg, 21. 6. 1669, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VI, S. 63–64, hier S. 63.

⁸⁵Ebd.

⁸⁶Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2119–2125, hier S. 2122.

⁸⁷Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 68 (1670/71), S. 2067–2069, hier S. 2069; vgl. Lister an Oldenburg, 25. 1. 1670/71, *Oldenburg-Korr.*, Bd. VII, S. 415–418, hier S. 417.

⁸⁸„The anatomy of vegetables with a general account of vegetation founded thereon“. Die Abhandlung wurde 1672 gedruckt, die zweite Auflage erschien 1682 unter dem Titel „The anatomy of plants, begun. With a general account of vegetation, grounded thereupon“ in Grew, 1682, Teil 2, S. 1–49.

⁸⁹Siehe die in Grew, 1682, enthaltenen Werke.

⁹⁰Grew, 1675, S. 41–45 (Grew, 1680, S. 256–258); Ders., 1682, Teil 2, S. 124–125, §1–10.

⁹¹Grew, 1675, S. 49–50; Ders., 1682, Teil 2, S. 127–128, §6–8.

⁹²Grew, 1675, S. 43–44 (Grew, 1680, S. 261); Ders., 1682, Teil 2, S. 128, §7–8. Grew übernahm die Vorstellung von luftführenden Gefäßen von Malpighi (s. Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil IX, S. 85, Fußn. 29).

⁹³Grews „Sap-vessels“, die er auch als „the Succiferous“ oder „Lymphaeducts“ bezeichnet, dürfen nicht ohne weiteres mit den Siebröhren gleichgesetzt werden. Keine Beschreibung und Abbildung der von Grew behandelten Arten von Saftgefäßen ist genau genug, als daß man darin Siebröhren wiedererkennen könnte (vgl. Grew, 1675, Chap. II, S. 7–20 [Grew, 1680, S. 234–243]; Ders., 1682, S. 107–113). Bei einigen der von ihm beschriebenen und abgebildeten Ansammlungen von „Lymphaeducts“ handelt es sich wohl um Bastfaserplatten.

⁹⁴Grew, 1675, S. 42–43 (Grew, 1680, S. 256–257); Ders., 1682, Teil 2, S. 124–125, §3–4, 6.

nur aus dem Holzteil bluten, während im späten Frühjahr und im Sommer Saft aus dem Rindenteil austritt.⁹⁵ Da seiner Ansicht nach im Frühjahr erst neue „Sap-vessels“ in der Rinde gebildet werden müssen, weiche der aufsteigende Saft zunächst in die „Air-vessels“ aus.⁹⁶

Eine Zirkulation des Saftes nimmt Grew nur für die Wurzel an.⁹⁷ Wie er im Jahre 1682 in seiner „Anatomy of plants, begun“⁹⁸ schrieb, hält er einen Kreislauf des Saftes in der Wurzel für wahrscheinlich, da zum einen die Wurzel nach unten wachse und daher auch der für das Wachstum verantwortliche Saft irgendwo in der Wurzel eine solche Bewegung aufweisen müsse und zum anderen die Wurzel den Stamm versorge, wozu der Saft aufsteigen müsse.⁹⁹ Der Kreislauf finde zwischen dem Wurzelmark, dem Hauptort der „Fermentation“ des Saftes,¹⁰⁰ und der Wurzelrinde statt, vermittelt über die Markstrahlen („Insertions“), den radialen, parenchymatischen Verbindungen zwischen Rinde und Mark der Wurzel. Während dieses Kreislaufs erfolge eine Versorgung des Holzkörpers der Wurzel und eine Abtrennung der volatileren Teile des Saftes, die nach oben steigen. Bereits einige Seiten nach diesen Ausführungen schränkt Grew jedoch die Bedeutung des Saftkreislaufs in der Wurzel für die Verarbeitung des Saftes deutlich ein.¹⁰¹ In späteren Werken Grews ist von einem Saftkreislauf in der Wurzel dann gar nicht mehr die Rede.

Grews Ausführungen sind auch noch für ein weiteres Problem von Interesse, das ebenfalls in den Diskussionskreis möglicher Analogien zwischen den Verhältnissen bei Tieren und Pflanzen hineinreicht. Es handelt sich um die Frage, ob in den Gefäßen der Pflanzen wie in den Venen der Tiere Klappen enthalten sind, die den Safttransport in große Höhen erleichtern oder überhaupt erst ermöglichen, wie Robert Hooke (1635–1702) annahm¹⁰². Grew kam zu einem ab-

⁹⁵Grew unterscheidet deutlich zwischen diesen beiden Säften. So sei der eigentliche Blutungs-saft geschmacklos, während der in der Rinde transportierte Saft immer irgendeinen Geschmack aufweise (Grew, 1675, S. 43–44; Ders., 1682, Teil 2, S. 125, §8–9).

⁹⁶Grew, 1675, S. 44–45; Ders., 1682, Teil 2, S. 125, §10.

⁹⁷Grew, 1672, S. 62 (fälschlich „60“) – 65 (Grew, 1678, S. 323–324); Grew, 1682, Teil 2, S. 17–18, §29–31.

⁹⁸Es handelt sich hierbei um die 2. Aufl. seiner „Anatomy of vegetables begun“ von 1672, enthalten in Grew, 1682, Teil 2, S. 1–49.

⁹⁹Grew, 1682, Teil 2, S. 17, §30 (in der 1. Aufl. der „Anatomy of Vegetables begun“ von 1672 fehlt dieser Passus); vgl. Birch, 1756–1757, Bd. III, 1757, S. 87 (Eintrag zum 7. Mai 1673).

¹⁰⁰Grew, 1672, S. 59 (fälschlich „57“) – 61; Grew, 1682, Teil 2, S. 16–17, §27.

¹⁰¹Grew, 1672, S. 80 (vgl. Grew, 1678, S. 330; s. a. Grew, 1682, Teil 2, S. 22, §21 [Hervorhebung nicht im Original]): „We say then, that the Sap being in the Root by Filtrations, Fermentations (and in what Roots needful, perhaps by Circulation also) duly prepar'd; [...]“.

¹⁰²Robert Hooke war der Überzeugung, es müßten sich in den Leitungsbahnen der Pflanzen Klappen befinden, da der kapillare Aufstieg nicht ausreiche, um Wasser in Höhen von 200, 300 Fuß und mehr zu transportieren (s. Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 295, 311 [Sitzung der Royal Society vom 11. Juni 1668 und 6. August 1668]). In seiner „Micrographia“ schreibt er noch (Hooke, 1665, S. 116), es sei ihm nicht gelungen, „valves“ in den „microscopical pores of Wood or Piths“ zu entdecken, doch auf mehreren Sitzungen der Royal Society berichtete er

lehnenen Urteil, u. a. mit dem Argument, daß ein abgeschnittenes Stück Wurzel, Stamm bzw. Stengel oder Ast einer jeden Pflanze an beiden Enden in gleichem Ausmaß „blute“.¹⁰³

In seiner eigenen Theorie vom Mechanismus des Safttransports¹⁰⁴ geht Grew davon aus, daß weder das Parenchym noch die Gefäße allein den Wassertransport bewerkstelligen können, denn das Parenchym sauge zwar das Wasser wie ein Schwamm auf, aber nur bis zu einer bestimmten Höhe. Dasselbe gelte für die Gefäße, denn in dünnen Glasröhren steige das Wasser auch nur, je nach Lumen der Röhre, bis zu einer begrenzten Höhe auf. Es bleibe demnach nur übrig, daß das Parenchym und die Gefäße beim Wassertransport zusammenwirken. Dies geschehe auf die folgende Weise: Die „Vesiculae“ bzw. „Bladders“ (Zellen) des Parenchyms, von dem ein Gefäß umgeben sei, seien mit Saft prall gefüllt und übten dadurch einen Druck auf das Gefäß aus. In Folge dessen werde das Gefäß ein wenig zusammengepreßt, und gleichzeitig entleerten die Parenchymzellen zusätzlich einen Teil ihres eigenen Saftes in das Gefäß. Beides führe dazu, daß der Saft im Gefäß gezwungen werde, aufzusteigen. Auf der nächst höheren Stufe spiege sich dann dasselbe Geschehen von neuem ab.

Angesichts der großen Zurückhaltung, die Grew hinsichtlich der Möglichkeit eines Saftkreislaufs übte, stellt sich sofort die Frage, wie es denn um die Einstellung der beiden anderen Begründer der Pflanzenanatomie, Marcello Malpighi (1628–1694) und Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723), zur Frage des Saftkreislaufs bestellt war.

2.4 Marcello Malpighi (1628–1694)

Malpighi bezeichnete bekanntlich die eigentlichen Wasserleitungselemente der Pflanzen aufgrund ihrer – wie es ihm schien – äußeren Ähnlichkeit mit den Luftleitungsbahnen der Insekten als „Tracheen“. Da einige der Gefäße auffällige spiralförmige Wandverdickungen aufweisen, spricht er auch von „fistulae spirales“ oder „vasa spiralia“, wobei er diese Begriffe nicht nur zur besonderen Charakterisierung der Spiralgefäße, sondern zum Teil auch synonym für alle Formen von

das Gegenteil (s. Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 24, 300–301, 311 [Sitzungen vom 15. März 1665, 25. Juni 1668 und 6. August 1668]). Nicht alle waren von seiner Entdeckung überzeugt, und auf der Sitzung vom 17. Juni 1675, während deren u. a. die Frage des Mechanismus des Saftaufstiegs diskutiert wurde, hielt auch er selbst die Frage nach der Existenz von Klappen einer weiteren Untersuchung wert (s. Birch, 1756–1757, Bd. III, 1757, S. 224). Wie Hooke sich den Mechanismus des Wassertransports mit Hilfe von Klappen letztendlich vorstellte, bleibt unklar.

¹⁰³Grew, 1672, S. 75–76; Ders., 1675, S. 45–46 (Grew, 1680, S. 259); Ders., 1682, Teil 2, S. 21, §16 u. S. 125–126, §12; s. a. Grews Statement auf der Sitzung der Royal Society vom 17. Juni 1675 (Birch, 1756–1757, Bd. III, 1757, S. 224). Wären in den Gefäßen der Pflanzen Klappen enthalten, so könnte der Blutungssaft nur in einer Richtung laufen.

¹⁰⁴Grew, 1675, S. 46–47 (Grew, 1680, S. 259–260); Ders., 1682, Teil 2, S. 126, §13–15; s. a. Grew, 1672, S. 91–98 (Grew, 1678, S. 336–338); Ders., 1682, Teil 2, S. 25–26, §31–32.

Tracheen verwendet.¹⁰⁵ Eine weitere begriffliche Unterscheidung nahm Malpighi nicht vor, so daß unter die Bezeichnung „Tracheen“ nicht nur die auch heute noch so genannten Gefäße fallen, sondern auch die Tracheiden.¹⁰⁶ In Analogie zur Funktion der Tracheen bei den Insekten betrachtet Malpighi auch die Pflanzentracheen als Leitungsbahnen für die für die Atmung erforderliche Luft.¹⁰⁷

Der Safttransport hingegen geschieht nach Malpighi in den „fibrae ligneae“ bzw. „fistulae ligneae“ (beide Bezeichnungen werden synonym gebraucht) des Holzes und der Rinde. Bei den „fibrae ligneae“ bzw. „fistulae ligneae“ des Holzteils handelt es sich offenbar um die Holzfasern. Aus Malpighis Beschreibung wird jedoch nicht deutlich, ob die von ihm beobachteten „fibrae ligneae“ bzw. „fistulae ligneae“ der Rinde Siebröhren oder Bastfasern oder beides darstellen. Malpighis Ansicht, daß die Holzfasern bzw. -röhren des Holzes und der Rinde wesensgleich seien,¹⁰⁸ könnte darauf deuten, daß es sich um Bastfasern handelt.

Faßt man Malpighis Ausführungen zum Transportweg des Saftes in den Pflanzen zusammen, so ergibt sich folgendes Bild: Der von den Wurzeln aufgenommene „Saft“ wird in den „fibrae ligneae“ bzw. „fistulae ligneae“ im Stamm bzw. Stengel und den angeschlossenen Zweigen hochtransportiert und in die seitlichen „utriculi“ (d. h. die Parenchymzellen) des Holzes und der Rinde entleert. In den „utriculi“ des Holzes, der Rinde sowie im Mark wird der Nährsaft „verköcht“ und danach aufbewahrt, um Knospen und jungen Blättern zur Verfügung zu stehen.¹⁰⁹ Auch die Blätter fungieren als Organe der Nährsaftzubereitung.¹¹⁰

Aus der Ernährungsfunktion der Keimblätter, die Malpighi sowohl experimentell beweist¹¹¹ als auch aus der Beobachtung ableitet, daß die Keimblätter, wenn die Keimpflanze allmählich an Kraft gewinnt, zu verwelken beginnen, schließt Malpighi auf einen Rücktransport von Nährsaft aus den Cotyledonen in den Stengel der Keimpflanze. Diesen Vorgang bezeichnet er im ersten Teil seiner *Anatome plantarum* als einen „gleichsam besonderen Kreislauf“ („quasi peculiaris circulatio“).¹¹² Es ist dies die einzige Stelle, an der er in seinen zu Lebzeiten erschienenen

¹⁰⁵Malpighi, 1675, S. 7–10, 14–16.

¹⁰⁶Siehe z. B. Malpighis Beschreibung des Holzes von *Abies* und *Cupressus* (1675, S. 10). Die Bezeichnung „Tracheide“ ist modern und aus Trachee abgeleitet.

¹⁰⁷Malpighi, 1675, S. 15–16. Malpighi spricht meistens nur von „aer“, der in den Tracheen enthalten sei. Genau genommen handelt es sich jedoch um eine Art von Luft/Wasserdampfgemisch (s. Malpighi, 1675, S. 15).

¹⁰⁸Malpighi, 1675, S. 10–11.

¹⁰⁹Der hier geschilderte Verlauf des Safttransports ist aus den Erläuterungen Malpighis im ersten Teil seiner *Anatome plantarum* zusammengefaßt; s. Malpighi, 1675, S. 4–5, 13–14; vgl. Malpighi, 1671, S. 14.

¹¹⁰Malpighi, 1675, S. 38–39; 1671, S. 14.

¹¹¹Malpighi (1671, S. 14) stellte fest, daß junge Kürbiskeimlinge und andere Keimpflanzen nach Entfernung ihrer Keimblätter eingingen.

¹¹²Malpighi, 1675, S. 39.

pflanzenanatomischen Werken (von 1671, 1675 und 1679) von einer „circulatio“ spricht. Ähnliche Äußerungen finden sich in seinen *Opera posthuma*.¹¹³

In Übertragung der an Keimpflanzen gewonnenen Ergebnisse hält es Malpighi für wahrscheinlich, daß die Blätter (und auch die Rinde) „verkochten“ (also verarbeiteten) Saft an den Zweig, an dem sie sitzen, abgeben.¹¹⁴ Das Entstehen von Knospen unweit der Blattansätze führt Malpighi auf Ansammlungen dieses Saftes zurück.¹¹⁵ Es handelt sich demnach nur um einen *kleinräumigen* Rücktransport von „verkochtem“ Nährsaft.¹¹⁶

Der Frage, ob ein *großräumiger* Rückfluß des Nährsaftes von den äußersten Enden der Pflanzen bis zu den untersten Teilen stattfindet, geht Malpighi im zweiten Teil seiner *Anatome plantarum* im besonderen nach. Aufgrund von Experimenten, bei denen er zirkulär einen Streifen Rinde an Zweigen und Stämmen unterschiedlicher Bäume entfernte („Ringeln“) und dabei eine Anschwellung von Rinde und Holz oberhalb des Einschnitts beobachtete, hält er es für wahrscheinlich, daß auch ein Abwärtstransport von Nährsaft von der obersten zur untersten Region stattfindet.¹¹⁷ Von einer „circulatio“ ist an dieser Stelle jedoch nicht die Rede. Die Gefäße, in denen der Rücktransport des verarbeiteten Nährsaftes erfolge, seien die „vasa peculiaria“ („vasa propria“), d. h. spezifische Gefäße, die eine auf der Endstufe der Verarbeitung stehende, spezifische Nahrung („ultimum et specificum alimentum“) in Form von Milch, Harzen, Gummi, Ölen und anderer besonderer Säfte enthalten.¹¹⁸ Diese Vorstellung von spezifischen Gefäßen, in denen „eigentümliche Säfte“ („succus peculiare“), die die eigentliche Ernährungsgrundlage darstellen, transportiert werden, sollte sich als sehr wirkmächtig erweisen. Bis weit in das 19. Jahrhundert hinein reicht ihr Einfluß auf die pflanzenphysiologische Forschung und Literatur.

¹¹³Die Stelle findet sich nach einer Beschreibung der Ernährungsweise der Keimpflanze und schildert die Situation, nachdem die Keimblätter ihre Funktion erfüllt haben und abgefallen sind: „[. . .] & tandem ebibito a seminali folio succo, & derivato deinde in placentulam, & postremo in plantulam, utrumque deficit, *perennante motu succi ab elongata radice in caudicem, hoc est in stabilia folia, in quibus excoctum alimentum, circulatione media, deorsum nodum, & radicem remeat, & ita perpetuatur auctio, & nutritio*“ (Malpighi, 1698, S. 75, Hervorhebung nicht im Original). Desgleichen verwendet Malpighi für die in der Keimpflanze ablaufenden Vorgänge des Safttransports (und der Saftverarbeitung) den Begriff der „circulatio“ (Malpighi, 1698, S. 63), jedoch nicht im zweiten Teil der *Anatome plantarum* (1679), deren erstes Kapitel ebenfalls vom Keimungsvorgang handelt.

¹¹⁴Malpighi, 1675, S. 39; 1679, S. 65.

¹¹⁵Malpighi, 1675, S. 39.

¹¹⁶In der oben zitierten Passage aus den *Opera posthuma* ist zwar von einem Rückfluß des Saftes bis zur Wurzel die Rede („[. . .] excoctum alimentum, circulatione media, deorsum nodum, & radicem remeat“), doch bezieht sich diese Äußerung wohl nach wie vor auf Keimpflanzen, die die ersten bleibenden Blätter ausgebildet haben. Eine Deutung dahingehend, daß Malpighi auch bei älteren Pflanzen, etwa Bäumen, einen Rückfluß von Nährsaft bis zur Wurzel annahm, ist, auch angesichts der eben mitgeteilten Ausführungen, sicherlich nicht gerechtfertigt.

¹¹⁷Malpighi, 1679, S. 69–70.

¹¹⁸Malpighi, 1675, S. 17; Malpighi, 1698, S. 77.

Es gibt keinen einzigen Anhaltspunkt dafür, daß Malpighi annahm, daß der nach unten geleitete, auf der Endstufe der Verarbeitung stehende und die spezifische Nahrung darstellende Saft erneut aufsteigt oder sich mit dem aufsteigenden, von den Wurzeln aufgenommenen „Saft“ vermischt. Von der Vorstellung eines echten Saftkreislaufs kann daher bei Malpighi auf keinen Fall gesprochen werden. Dennoch galt Malpighi im 18. Jahrhundert als Vertreter der Saftkreislauflehre.¹¹⁹ Generell wird Malpighis Ansicht, daß der verarbeitete Nährsaft wieder absteigt, dazu beigetragen haben, daß er später unreflektiert den Befürwortern der Saftkreislauflehre zugerechnet wurde. Bereits Jean Baptiste Duhamel (1623–1706) beging diesen Irrtum,¹²⁰ und auf seiner Behauptung, Malpighi habe einen Saftkreislauf angenommen, fußt wahrscheinlich ein Großteil der späteren Autoren. Da er selbst der Saftkreislauflehre zuneigte,¹²¹ ist es nur verständlich, daß er die Autorität eines so berühmten Wissenschaftlers wie Malpighi auf seiner Seite haben wollte und dessen Ausführungen zu seinen Gunsten überinterpretierte.

Aber auch den von Malpighi beschriebenen *kleinräumigen* Rückfluß, bei dem die Organe der Nährsaftverarbeitung (Blätter, Rinde, Mark) ihr Produkt an die nähere Umgebung je nach Bedarf abgeben, dürfen wir uns wohl nur in sehr eingeschränktem Sinne als Kreislauf vorstellen. Jedenfalls schreibt Malpighi in seiner *Idea anatomes plantarum*, dies geschehe „absque perenni et considerabili fluxu et refluxu“.¹²²

Zum Schluß sei noch auf eine interessante Bemerkung Birchs in seiner *History of the Royal Society* hingewiesen, wonach Malpighi dem Präsidenten der Royal Society ein Stück einer Pflanze geschickt habe, an Hand dessen er „the circulation

¹¹⁹Siehe *Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCIX. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie*, Aug. Amsterdam, 1711, Histoire, S. 56; Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 313; van Marum, 1773b, S. 9; Corti, 1774, S. 169. Die Behauptung, Malpighi sei ein Anhänger der Saftkreislauflehre gewesen, erfolgt in den genannten Werken jedesmal ohne Beleg (Marum hat sicherlich von Duhamel du Monceau abgeschrieben; dasselbe gilt wahrscheinlich für Corti); s. ferner Mustel, 1781, S. 137 (sicherlich von Duhamel du Monceau abgeschrieben); Carradori, 1795, S. 54; Degland, [1799/1800], S. 26; Cotta, 1806, S. 34. Bei P. J. Buchoz kommt es regelrecht zur Legendenbildung, wie das folgende Zitat zeigt (Buchoz, 1762, Bd. 1, S. 63): „M. Malpighi est le premier à qui nous sommes redevables de cette découverte [des Saftkreislaufs]; il a employé, à l'exemple du grand Harvée, la ligature, l'incision & l'amputation. Ces trois moyens lui ont fourni des preuves convaincantes de la circulation de la sève.“

¹²⁰Vgl. J. B. Duhamel, 1700b, S. 327: „Cum cortex arboris in orbem sectus est [„Ringelung“], sæpe corticis superioris limbus intumescit, ut in nonnullis arboribus se expertum testatur Malpighius: isque hoc pene uno argumento persuasus succi circulationem in plantis ut in animalibus fieri existimat.“ Ein weiterer, ähnlicher Grund für die Tradition, Malpighi als Anhänger der Saftkreislauflehre zu betrachten, könnten seine Experimente gewesen sein, mit denen er nachwies, daß ohne die Keimblätter die Keimpflanze zugrunde geht, so daß somit Nährsaft nicht nur von der Wurzel zu den Keimblättern, sondern auch von den Keimblättern zur Wurzel transportiert wird (vgl. De la Baisse, 1733, S. 45).

¹²¹Vgl. J. B. Duhamel, 1700b, S. 322–330.

¹²²Malpighi, 1671, S. 14.

of the juices of plants“ entdeckt und demonstriert habe.¹²³ Leider ist unter den bisher bekannten und edierten Briefen Malpighis¹²⁴ kein entsprechendes Schreiben enthalten, so daß hier nicht näher untersucht werden kann, was es mit diesem Brief Malpighis auf sich hatte.¹²⁵

Auch Malpighi entwickelte eine spezielle Vorstellung vom Mechanismus des Safttransports. Die „lignae fibrae“ bzw. „fistulae lignae“, in denen der Saft transportiert werde, bestehen für Malpighi aus mehr oder weniger kugelförmigen oder viereckigen Körpern, die sich ineinander öffnen.¹²⁶ Die Abschnitte, an denen die Einzelstücke der Röhre bzw. Faser miteinander verbunden seien, ragten ein wenig in das Lumen der Röhre bzw. Faser hinein und erfüllten damit die Funktion von Klappen¹²⁷. Ein Tropfen werde dadurch wie an einem Seil oder auf Treppenstufen in große Höhen geführt. Die Aufwärtsbewegung des Saftes werde zudem durch die elastische Bewegung der Luft gefördert, die, bedingt durch den Temperaturwechsel von Tag und Nacht, im Wechsel von Kontraktion und Ausdehnung auf die äußeren Rindenschichten drücke. Die Details dieses Vorgangs zu beschreiben möchte Malpighi allerdings scharfsinnigeren „Mechanici“ überlassen.¹²⁸

Darüber hinaus schreibt Malpighi zusätzlich zur Wirkung der Außenluft auch noch der seiner Meinung nach in den Tracheen enthaltenen Luft eine entsprechende Funktion im Safttransport zu. Wie die Außenluft, so werde auch die in den Tracheen enthaltene Luft aufgrund der Temperaturschwankungen im Wechsel von Tag und Nacht abwechselnd ausgedehnt und komprimiert und wirke dadurch auf die benachbarten, den Saft enthaltenden Fasern, mal komprimierend, mal relaxierend ein. Durch die Kompression der saftführenden Fasern werde der Saft nach oben getrieben, während ein Nachlassen des Drucks die Aufnahme neuer Flüssigkeit erleichtere. Ferner würden die Verbindungsstücke zwischen den die Faser bzw. die Röhre konstituierenden „orbiculi“ wie schiefe Ebenen wirken und

¹²³Sitzung vom 14. November 1678: „Dr. Croune acquainted the Society, that the president had given him an account, that he had received from Signor Malpighi a piece of a plant, together with an account thereof, that he had thereby found out and demonstrated the circulation of the juices of plants“ (Birch, 1756–1757, Bd. III, 1757, S. 435).

¹²⁴Adelmann, 1975; Adelmann, 1978; Galluzzi, 1978; Dollo, 1983; Middleton, 1985.

¹²⁵Auf der Sitzung der Royal Society vom 21. November 1678 kam die Angelegenheit noch einmal zur Sprache: „Sir John Lowther was desired to inquire of the president concerning Signor Malpighi’s letter; and to bring to the next meeting the piece of plant sent by that gentleman; upon which was occasioned a discourse about the descending of the sap by the bark; Dr. Grew denying, that it descends by that way“ (Birch, 1756–1757, Bd. III, 1757, S. 439/440). Weitere diesbezügliche Einträge finden sich nicht mehr.

¹²⁶Malpighi, 1675, S. 4, 9.

¹²⁷Echte Klappen, die einen Saftlauf ausschließlich in einer Richtung ermöglichen, nimmt Malpighi nicht an, da experimentelle Befunde dagegen sprechen. Denn auch mit der Spitze nach unten eingepflanzte Feigenzweige wachsen an und treiben Wurzeln aus, was zeige, daß der Lauf des Nährsaftes sich auch umkehren lasse. (Siehe Malpighi, 1671, S. 13; 1675, S. 11; 1679, S. 69.)

¹²⁸Malpighi, 1675, S. 5.

das Emporheben eines Tropfens erleichtern.¹²⁹ Auch diese Vorstellung Malpighis einer gleichsam pulsierenden oder peristaltischen Bewegung der Tracheen als Mechanismus des Safttransports wurde bis in das 19. Jahrhundert hinein diskutiert.

2.5 Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723)

Während Grew lediglich in seiner ersten pflanzenanatomischen Abhandlung von 1671 einen Kreislauf des Saftes annahm, dessen Vorkommen er zudem auf die Wurzel beschränkte, und bei Malpighi von einem echten Kreislauf keine Rede sein kann, ist diese Vorstellung bei Antoni van Leeuwenhoek, dem dritten in der Runde der Begründer der Pflanzenanatomie, durchaus vertreten.

In seinem Brief vom 15. August 1673 an die Royal Society, dem ersten, der pflanzenanatomische Gesichtspunkte enthält, berichtet Leeuwenhoek¹³⁰ u. a. von zwei Arten von Löcherchen („gaetgens“) oder Röhrchen („pijpijens“) in Birken-, Eschen-, Weiden- und Weinholz, die sich der Größe nach unterscheiden sollen. Auch in den Wurzeln von Eschen fand er diese zwei Arten von „Löcherchen“ oder „Röhrchen“, bei denen es sich wahrscheinlich zum einen um Wasserleitungsgefäße, zum anderen um Fasern oder andere nichtvaskuläre Bestandteile handelte.¹³¹ Leeuwenhoek stellt im Anschluß daran die Theorie auf, daß die Feuchtigkeit („vocht“), also das Wasser, in den großen Röhren hinaufgetrieben oder -gestoßen wird („wert gedreven, off gestoten“) und, oben angekommen, wenn es für den Baum oder die Frucht nicht mehr von Nutzen ist, nach unten fließt und das Wachstum der Wurzel vorantreibt, oder auch ein Teil der Feuchtigkeit, wenn sie unten ankommt, mit weiterer Feuchtigkeit vermischt und so wieder aufwärts getrieben wird.¹³² Die zweite Annahme kommt einem echten Kreislauf des Wassers in der Pflanze gleich. Ob Leeuwenhoek von selbst auf die Idee eines Saftkreislaufs gekommen ist oder, von welcher Seite auch immer, dazu angeregt wurde, wird aus dem Brief nicht deutlich.

Leeuwenhoeks Brief enthält zudem ein detailliert ausgearbeitetes Konzept zum Mechanismus des Wassertransports mit Hilfe von Klappen.¹³³ Bei der Beschreibung von Kiefern- oder Fichtenholz¹³⁴ kommt Leeuwenhoek auf Röhren zu sprechen, die wie Orgelpfeifen angeordnet seien und von „Bändchen“ („bandekens“) wie mit Schnüren zusammengehalten würden. Leeuwenhoek beobachtete hier wahrscheinlich die Tracheiden und Markstrahlen des Holzes. Im Gegen-

¹²⁹Malpighi, 1675, S. 16; Ders., 1679, S. 68.

¹³⁰Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 48, 52.

¹³¹Siehe zu dieser Interpretation Baas, 1982, S. 82.

¹³²Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 52.

¹³³Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 47–53.

¹³⁴Leeuwenhoeks Angabe „greijne hout of vuijeren hout“ läßt keine eindeutige Bestimmung zu; vgl. Baas, 1982, S. 81, Fußn. 9.

satz zum helleren Teil des Holzes seien die Röhren im dunkleren Teil dicker.¹³⁵ Die Hoftüpfel der Tracheiden beschreibt Leeuwenhoek als „klootgens“, und die Markstrahlen scheinen ihm Klappen in den Röhren darzustellen. Auch in den großen „Löchern“ („gaten“) von Eichenholz (den Tracheen) stellt Leeuwenhoek „Häutchen“ („vliesjens“) fest, die er als Klappen interpretiert.¹³⁶ Eine Überschlagsrechnung, wieviel Kraftaufwand nötig wäre, um Wasser in einem Gefäß von der Dicke eines Haares 100 Fuß hochzutreiben, überzeugt ihn, daß weder die innerhalb noch außerhalb des Baumes vorhandene bewegende Kraft („vuijer“) dazu imstande wäre. Der Wassertransport könne somit nur mit Hilfe von Klappen vor sich gehen, die dafür sorgen, daß die „clootgens“ nicht mehr die gesamte Strecke auf einmal hochtransportiert werden müssen, sondern nur noch von Klappe zu Klappe, was den Kraftaufwand erheblich reduziere.¹³⁷ Offenbar betrachtete Leeuwenhoek die „clootgens“, die in Wirklichkeit die Hoftüpfel darstellen, als Flüssigkeitstropfen. Unklar ist, ob diese Form des Wassertransports auch für andere Holzarten gelten soll, da Leeuwenhoek nur bei der Beschreibung der Tracheiden von Kiefern- oder Fichtenholz von „clootgens“ spricht.

1676 spezifiziert Leeuwenhoek seine Vorstellung vom Saftkreislauf noch näher in bezug auf die Art der Transportgefäße.¹³⁸ So werde der Stoff für das Wachstum der Bäume („de materie tot groot mak[ingh] vande boom“) in den größeren Poren oder Gefäßen („pori off vaten“) nach oben transportiert und einige kleinere Partikel würden wieder in den kleineren Gefäßen herabsteigen, woraus ein Kreislauf („circulatie“) in den Bäumen resultiere.¹³⁹ Zur weiteren Verdeutlichung schickte Leeuwenhoek eine Zeichnung eines Querschnitts durch den einjährigen Zweig einer Esche mit, an Hand dessen er neben diesen beiden vertikal verlaufenden noch eine dritte, horizontal verlaufende Art von „Gefäßen“ („vaten“) beschreibt.¹⁴⁰ Nach Leeuwenhoeks Beschreibung und Zeichnung zu urteilen, handelt es sich bei den „größeren Gefäßen“ nach heutiger Terminologie um Tracheen und bei den

¹³⁵In der Tat sind die Tracheiden im Frühjahrsholz dünnwandiger und im Herbstholz dickwandiger.

¹³⁶Vgl. Leeuwenhoeks Beschreibung der großen Gefäße in einem Eschenzweig (Brief vom 21. April 1676; Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil II, S. 9, 12) und in Weidenholz (Brief vom 12. Januar 1680; Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil III, S. 171). Bei den „Klappen“ handelt es sich wohl entweder um Thyllen oder um Reste der aufgelösten Querwände der Zellen, aus denen die entsprechende Trachee durch Zellfusion entstanden ist, oder, wenn es sich um Tracheiden handelte, um die stark perforierten Scheidewände der Einzelzellen; s. a. Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 49, Fußn. 12; Teil II, S. 9, Fußn. 13–14; Teil III, S. 171, Fußn. 40.

¹³⁷Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 49–53.

¹³⁸Brief vom 21. April 1676 an Henry Oldenburg (Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil II, S. 2–21). Inzwischen konnte Leeuwenhoek in Grews „anatomie vande boomen“ Einsicht nehmen, die ihm Constantijn Huygens zeigte (ibid., S. 4). Aus Mangel an Englischkenntnissen konnte er jedoch fast nur mit den Abbildungen etwas anfangen (ibid.).

¹³⁹Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil II, S. 5.

¹⁴⁰Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil II, S. 7–13. Diese drei Arten von „Gefäßen“ stellte Leeuwenhoek auch noch in anderen Hölzern fest (z. B. Ulme, Eiche, Weide, Linde, Apfel, Birne).

„kleineren Gefäßen“ um Holzfasern und Holzparenchymzellen. Die dritte Art von „Gefäßen“ stellen die radial verlaufenden Zellreihen der Markstrahlen dar.¹⁴¹

Leeuwenhoeks bekannter Brief vom 12. Januar 1680 an Robert Hooke enthält zwar exzellente Zeichnungen und Beschreibungen von mikroskopischen Schnitten durch verschiedene Hölzer (Eiche, Ulme, Birke, Weide, Erle, Ebenholz und Buchsbaum), doch bezüglich seiner Theorie vom Kreislauf des Pflanzensaftes findet sich darin nichts wesentlich Neues. Leeuwenhoek ist der Ansicht, daß nicht alle „Gefäße“, aus denen das Holz besteht,¹⁴² Wasser („nat“) nach oben transportieren, sondern daß viele davon das Wasser auch wieder nach unten leiten und auf diese Weise einen Kreislauf („circulatie“) hervorrufen.¹⁴³ Leeuwenhoek führt hier nicht näher aus, welche „Gefäße“ welche Funktion übernehmen und ob ein Teil des nach unten geleiteten Wassers erneut aufsteigt, wie er es in seinem Brief vom 15. August 1673 für möglich hielt. Ferner will Leeuwenhoek in einem Halm¹⁴⁴ einen Aufstieg des Saftes im Parenchym und einen Abstieg des Saftes im Leitbündel beobachtet haben.¹⁴⁵

Gegenüber dem bisher Gesagten ergeben sich aus zwei Briefen Leeuwenhoeks aus dem Jahre 1692 neue Gesichtspunkte. In seinem Brief vom 24. Juni 1692 an die Royal Society gibt Leeuwenhoek die Vorstellung auf, daß in den Blättern ein Saftkreislauf zu konstatieren sei, ein Gedanke, den er zum ersten Mal 1675 äußerte. Damals begründete er diese zusätzlich zum Kreislauf („circulatie“) im Stamm und den Ästen stattfindende Zirkulation damit, daß die Teile, aus denen ein Blatt bestehe, ohne ständige Nahrungszufuhr nicht überleben könnten. Nun enthalte der Saft aber auch feste Bestandteile, die nicht evaporieren und somit zu einer ständigen Größenzunahme des Blattes führen müßten, zumal eine Ausscheidung dieser Substanzen in Form einer Haut auf den Blättern nicht festzustellen sei.¹⁴⁶ Darüber hinaus seien die Rippen des Blattes miteinander eng verwoben, was sinnlos wäre, wenn dies keiner Zirkulation diene. Leeuwenhoek verglich daher die Blattrippen mit Blutgefäßen.¹⁴⁷

In seinem Brief vom 24. Juni 1692 spricht Leeuwenhoek von seinem vergeblichen Versuch, zwei verschiedene Arten von Gefäßen in den Blättern von Bäumen

¹⁴¹Siehe Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil II, S. 7, Fußn. 6–9.

¹⁴²Auch hier steht der Begriff „Gefäß“ wieder für sämtliche Bestandteile des Holzes.

¹⁴³Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil III, S. 155–157.

¹⁴⁴Um welche Pflanze es sich genau handelte, läßt sich nicht mehr feststellen. Die Gestalt der Leitbündel in Leeuwenhoeks Zeichnung läßt den Schluß zu, daß es sich um eine monocotyle Pflanze handeln muß (s. Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil III, S. 181, Fußn. 58).

¹⁴⁵In Wirklichkeit wird im Xylemteil des Leitbündels das Wasser nach oben transportiert und im Phloemteil die Assimilate. Welches Phänomen Leeuwenhoek hier beobachtet hat, läßt sich nicht mehr genau rekonstruieren; s. Baas, 1982, S. 87.

¹⁴⁶Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 287–289. Da eine solche ständige Größenzunahme des Blattes nicht stattfindet – so sind Leeuwenhoeks Ausführungen hier zu ergänzen –, muß der Saft also auch wieder – vermittelt einer Zirkulation – abgeleitet werden. Diese Schlußfolgerung findet sich bei Leeuwenhoek nicht explizit, ist aber aus dem Vorausgegangenen ersichtlich.

¹⁴⁷Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil I, S. 287–289.

zu entdecken, um auf diese Weise herauszufinden, ob es einen Kreislauf in den Blättern gebe. Er konnte nur *eine* Art von Gefäßen feststellen.¹⁴⁸ Da er ferner annimmt, daß die Blätter und Früchte, wenn sie ihre volle Größe erreicht haben, abfallen, kommt er zu dem Schluß, diese Pflanzenteile benötigten keinen Saftkreislauf („circulatie van sappen“).¹⁴⁹

Eine weitere Zäsur stellt Leeuwenhoeks Brief vom 12. August 1692 dar. Ohne auf die Details näher einzugehen, die bereits von Baas ausführlich erläutert wurden,¹⁵⁰ sei in dem hier interessierenden Zusammenhang nur folgendes gesagt. Leeuwenhoek will nun entdeckt haben, daß die Wand der „Holz-Röhrchen“ („Hout-pijpjes“; gemeint sind die Tracheiden) von Fichten- und Kiefernholz aus kleinen Gefäßen bestehe bzw. von diesen umgeben sei.¹⁵¹ Nur diesen kleinen Gefäßen, die er Arterien nennt, komme die Aufgabe des Safttransports zu, während die „Holz-Röhrchen“ selbst dem Transport von Luft dienen sollen.¹⁵² In späteren Jahren kam Leeuwenhoek auf diese Vorstellung von luftführenden Gefäßen allerdings nicht mehr zurück.¹⁵³

Wie sich Leeuwenhoek unter diesen neuen Gesichtspunkten den Saftkreislauf vorstellte, muß offen bleiben, da dieses Thema in seinem Brief vom 12. August 1692 nicht angesprochen wird. Daß er die Idee eines Saftkreislaufs in den Pflanzen nicht ganz aufgegeben hat, zeigt eine Bemerkung in seinem Brief vom 9. Juni 1699 an die Royal Society, er wolle etwas über den „Umlauf der Pflanzensäfte“ („omloop [...] der sappen in planten“) schreiben.¹⁵⁴ Soweit bekannt, wird die Frage eines Saftkreislaufs in den späteren Briefen Leeuwenhoeks nicht mehr ausführlich thematisiert. In seinem Brief an Leibniz vom 18. November 1715 spricht er sich, wie bereits in seinem Brief vom 24. Juni 1692 an die Royal Society, gegen einen Saftkreislauf in den Früchten aus (s. o.). Ferner berichtet Leeuwenhoek von Klappen, die er in den für den Aufwärts- bzw. Abwärtstransport des Saftes in Keimpflanzen zuständigen Gefäßen entdeckt haben will und die dafür sorgen sollen, daß der Flüssigkeitstransport nur in jeweils einer Richtung verläuft.¹⁵⁵ Leeuwenhoek spricht zwar davon, „dat alle sappen na onderen gestooten werdende, niet

¹⁴⁸Wie in der Edition der Leeuwenhoek-Briefe erwähnt wird (Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil IX, S. 63, Fußn. 32), dachte Leeuwenhoek hier offenbar an die Tracheen. Die Siebröhren, die die Assimilate abtransportieren, waren ihm, zumindest in ihrer Funktion, unbekannt.

¹⁴⁹Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil IX, S. 63–65; s. a. Leeuwenhoeks Brief vom 18. November 1715 an Leibniz (Leeuwenhoek, 1719, S. 170–182, hier S. 173).

¹⁵⁰Baas, 1982, S. 90–95.

¹⁵¹Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil IX, S. 85–87, 107–109.

¹⁵²Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil IX, S. 107–109.

¹⁵³Baas, 1982, S. 103.

¹⁵⁴Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil XII, S. 296. Der Verfasser hält es für wahrscheinlich, daß der Begriff „omloop der sappen“ für einen echten *Saftkreislauf* steht, nicht bloß für ein Auf- und Absteigen verschiedener Säfte.

¹⁵⁵Leeuwenhoek, 1719, S. 170–182 (Brief an Leibniz vom 18. 11. 1715), hier S. 175; s. a. Leeuwenhoeks Brief vom 12. 6. 1716 an die Professoren des Collège du Porc in Löwen Anthony Cink, Ursmar Narrez (Narez) (1678–1744) und Henri Joseph Rega (Réga) (1690–1754) (Leeuwenhoek, 1719, S. 219–229, hier S. 223–224, 228).

weder na boven kunnen komen“ und „dat alle sappen na boven gestooten werdende, niet nederwaarts kunnen sakken“,¹⁵⁶ doch schließt dies nicht aus, daß die nach oben bzw. unten geführten Säfte *nach* Erfüllung ihrer Aufgabe (Förderung des Wachstums von Sproßachse bzw. Wurzel) in das jeweils andere Transportsystem überwechseln und somit einem Kreislauf folgen, ähnlich wie Leeuwenhoek dies in seinem Brief vom 15. August 1673 annahm (s. o.).

2.6 Der Kreislauf des Pflanzensaftes – eine „verlockende“ Vorstellung

Nachdem wir uns mit den Argumenten der Hauptvertreter und Begründer der Saftkreislauftheorie im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts, Major, Merret, Perrault und Mariotte, vertraut gemacht und ferner die Stellungnahmen Grews, Malpighis und Leeuwenhoeks berücksichtigt haben, ist es an der Zeit, eine erste Deutung der Befunde vorzunehmen.

Hierzu sei an den Anfang eine aufschlußreiche Äußerung Fontenelles gesetzt. In der Ausgabe der *Histoire et Mémoires* der Académie Royale des Sciences für die Jahre 1666 bis 1686, die 1733 erschien, warnt Fontenelle davor, daß eine Analogie zwischen dem Blutkreislauf und einem Kreislauf des Pflanzensaftes beinahe verführerisch sei und man sich davor in acht nehmen müsse, nicht zu sehr davon eingenommen zu werden:

„D’abord l’Analogie de la Circulation de la Sève à celle du sang a quelque chose de si naturel, qu’elle en est presque séduisante, & il semble qu’on ait à prendre garde d’en être plus touché qu’il ne faut. Mais quoique ce ne soit-là qu’un préjugé, il faut avouer que c’est un préjugé digne de prévenir les Philosophes jusqu’à un certain point.“¹⁵⁷

In der Tat mußte es in einer Zeit, in der das Bilden von Analogien zwischen Tieren und Pflanzen gemeinhin üblich war, nach der Entdeckung des großen Blutkreislaufs durch William Harvey (1578–1657) und ihrer Veröffentlichung im Jahre 1628¹⁵⁸ geradezu zwangsläufig einmal soweit kommen, daß auch für die Pflanzen ein entsprechender Kreislauf des „Safts“ postuliert wurde. Der Boden für einen Analogieschluß vom Blutkreislauf auf einen Saftkreislauf war durch Werke wie Andrea Cesalpinos (1519–1603) „De plantis“ (1583), Johannes Baptista della Portas (1539–1615) „Phytognomonica“ (1. Aufl. 1588) oder Peter Laurembergs (1585–1639) „Horticultura“ (1. Aufl. 1631), um nur einige Beispiele zu nennen, bereits vorbereitet. In allen diesen Werken finden sich weitgehende anatomische

¹⁵⁶Leeuwenhoek, 1718, S. 230–231 (vgl. Leeuwenhoek, 1719, S. 228).

¹⁵⁷*Histoire de l’Académie royale des sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu’à 1686.* Tome I, Paris 1733, S. 39.

¹⁵⁸Zur Geschichte der Harveyschen Entdeckung s. Pagel, 1967.

und physiologische Vergleiche zwischen den Tieren bzw. dem Menschen und den Pflanzen.¹⁵⁹ Solche Vergleiche hatten bekanntlich eine lange Tradition, denn wie im abendländischen wissenschaftlichen Denken überhaupt spielten auch in den biologischen Disziplinen Analogiemodelle schon immer eine wichtige Rolle. Dies gilt auch für unsere heutigen Naturwissenschaften. Generell dienen Analogien, Vergleiche und Metaphern nicht nur der Veranschaulichung von Erkenntnissen, sondern sie stehen oft auch am Anfang der Hypothesenbildung und machen auf diese Weise ein noch unbearbeitetes Gebiet erst dem wissenschaftlichen Denken zugänglich, wodurch ihnen ein bedeutender heuristischer Wert zukommt. In Form des Analogieschlusses wird ihnen zum Teil Beweiskraft zugemessen.¹⁶⁰ Alle diese Funktionen von Analogiemodellen finden sich bereits bei Aristoteles und Theophrast verwirklicht.¹⁶¹

Interessanterweise dauerte es dann doch noch einige Jahrzehnte, bis nach der Entdeckung Harveys die Theorie vom Saftkreislauf entwickelt wurde. Zum einen waren dafür zusätzliche empirische Bestätigungen¹⁶² und eine größere Verbreitung der Harveyschen Kreislauflehre Voraussetzung, zum anderen ein breiteres Interesse an der inneren Struktur der Pflanzen, das erst Anfang der 1660er Jahre wissenschaftliche Relevanz gewonnen hatte. Überhaupt wurden erst Anfang der 1660er Jahre die Möglichkeiten, die das Mikroskop bot, von einem größeren Gelehrtenkreis wahrgenommen, was im allgemeinen auf den zunehmenden Einfluß mechanistischen Denkens in den biologisch-medizinischen Disziplinen zurückgeführt wird.¹⁶³

Für eine weitere „Verzögerung“ des Aufkommens der Saftkreislauflehre könnte die abnehmende Neigung, Analogieschlüssen *Beweiskraft* zuzumessen, verantwortlich sein. Zwar spielten Analogien nach wie vor eine große Rolle, doch ließ langsam die Überzeugung nach, daß die in Analogiemodellen aufgezeigten Beziehungen und Entsprechungen die tatsächliche Konstitution der Welt erfassen und nicht bloß ein Modell zur Veranschaulichung eines Sachverhalts oder heuristisches Hilfsmittel darstellen. Bei denjenigen Gelehrten, die sich am Baconschen Forschungsideal orientierten, dürfte diese Tendenz noch deutlicher ausgeprägt gewesen sein. Denn Francis Bacon (1561–1626) hatte zwar in seinem „Novum Organum“ den heuristischen Wert von Analogien herausgestellt und die Naturforscher aufgefordert, die „rerum similitudines et analogia, tam in integralibus quam partibus“ zu erforschen und aufzuzeichnen, aber gleichzeitig dabei deutlich gemacht, daß damit physische und reelle, in der Natur begründete Ähnlichkeiten

¹⁵⁹Siehe z. B. die oben mitgeteilten (S. 15–16) Erörterungen Cesalpinos zum „Herz“ der Pflanzen; s. ferner Porta, 1608, S. 3–6; Laurembergius, 1654, Buch 1, bes. S. 76–79.

¹⁶⁰Zur Rolle von Analogien in den Naturwissenschaften s. Fiedler, 1978, S. 10–12; Kümmel, 1989; Poser, 1989.

¹⁶¹Zu Analogiemodellen bei Aristoteles s. Fiedler, 1978; zur Verwendung von Analogien in den botanischen Schriften des Theophrast s. Wöhrle, 1985, bes. S. 129–141.

¹⁶²Vgl. Jahn, 2000, S. 199, 201, 206.

¹⁶³Vgl. Fournier, 1996, S. 92–103, 197.

gemeint seien, keine beliebigen und zufälligen oder auf Vorwitz, Phantasie und Aberglauben beruhende Analogien.¹⁶⁴

Hatte Harvey noch eine Entsprechung zwischen dem Blutkreislauf und dem von Aristoteles beschriebenen Kreislauf des atmosphärischen Wassers gesehen und diese Analogie nicht nur zur Veranschaulichung, sondern auch *argumentativen Unterstützung* seiner Lehre benutzt,¹⁶⁵ fand sich ein solches Vorgehen unter den Anhängern der Saftkreislauflehre, abgesehen von Claude Perrault,¹⁶⁶ nicht mehr. Weitreichende Analogieschlüsse zwischen dem Mikro- und Makrokosmosbereich im Sinne struktureller und funktionaler Entsprechungen zwischen der unbelebten Natur und den Lebewesen besaßen für den Etablierungsprozeß der Saftkreislauftheorie keine argumentative Relevanz mehr.

Die Begründer der Saftkreislauflehre kamen offenbar unabhängig voneinander auf diesen Gedanken, was eventuell sogar auf Perrault und Mariotte zutrifft. Fest steht, daß die Saftkreislauflehre primär aus physiologischen Überlegungen heraus entstand, während anatomische Untersuchungen nur eine sekundäre Rolle spielten. In der Regel wurden pflanzenanatomische Untersuchungen lediglich a posteriori, d. h. zur nachträglichen Begründung, herangezogen und – so gewinnt man bisweilen den Eindruck – auch mit einem gewissen Desinteresse ausgeführt. Dies sollte noch lange so bleiben. Zwar war ein *prinzipielles* Interesse am inneren Bau der Pflanzen eine Voraussetzung für die Ausbildung der Lehre vom Saftkreislauf, doch ist der eigentliche Auslöser für die Entstehung dieser Vorstellung in einem breiteren Interesse an pflanzenphysiologischen Fragestellungen zu suchen. Bezeichnenderweise stellte Perrault der Académie Royale des Sciences seine Lehre vom Saftkreislauf anläßlich einer Darlegung eines allgemeinen pflanzenphysiologischen Forschungsprogramms vor. Die lebhaften Diskussionen in der Royal Society um die Saftkreislauflehre hingen ebenfalls mit einem gesteigerten Interesse an pflanzenphysiologischen Fragen¹⁶⁷ zusammen, wobei dieses Interesse unter den Fellows der Royal Society offenbar viel weiter verbreitet war als unter den Mitgliedern der Académie des Sciences in Paris, wo die pflanzenchemische Forschung im Vordergrund stand. Besonders was die englischen Forscher betrifft,

¹⁶⁴Siehe Bacon, 1620, *Novum Organum*, Buch II, Aphorismus 27, S. 238.

¹⁶⁵Vgl. Pagel, 1967, S. 119: „Microcosmic analogy is a standing argument and not merely a rhetorical embellishment in the works of Harvey. It has the ring of seriousness and conviction.“

¹⁶⁶Siehe S. 14.

¹⁶⁷Vgl. die von Daniel Coxe in der Sitzung der Royal Society vom 19. April 1665 vorgelegten „Queries“ (s. Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 32–40). „Obwohl die Mehrzahl der [...] aufgeführten 78 Fragen mit der Praxis der Pflanzenkultivierung und -zucht zusammenhing, war die Betrachtung insgesamt auf die Erforschung der pflanzenphysiologischen Voraussetzungen und Grundlagen ausgerichtet“ (Hoppe, 1976, S. 265). Eine Woche zuvor wurde von Wilkins die Ernennung eines „committee [...] to draw up a list of experiments about vegetation, as planting, grafting, &c. to be distributed for making experiments“ angeregt. Dem Komitee sollten Charles Howard (1629–1685, 1st Earl of Carlisle), John Evelyn (1620–1706), John Wilkins (1614–1672) und Colonel Blount angehören (s. Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 29). 1664 bestand bereits ein „Georgical Committee“ an der Royal Society (s. Birch, 1756–1757, Bd. I, 1756, S. 407).

trafen hier wissenschaftliches Interesse und persönliche Vorlieben für Fragen der Pflanzenkultivierung und -züchtung zusammen, wobei die eigenen Landgüter und Gärten ein reichliches Betätigungsfeld für Experimente boten. Hinzu kamen wirtschaftliche Gesichtspunkte, und nicht zuletzt muß das gesteigerte Interesse an pflanzenphysiologischen Themen, wie z. B. die Abhängigkeit des Baumwuchses von den klimatischen und Bodenverhältnissen – was auch Fragen des Safttransports und der Saftverarbeitung implizierte –, vor dem Hintergrund gesehen werden, daß nicht nur in England, sondern auch vielen anderen europäischen Ländern schon seit langem ein akuter Holzangel¹⁶⁸ herrschte. Zur Behebung dieser allgemein als existenzbedrohend eingestuften Krise¹⁶⁹ wurden nicht nur legislative Maßnahmen zum Schutz der Wälder für nötig erachtet, sondern auch wissenschaftlicher Sachverstand, um sinnvolle Aufforstungsprojekte zu betreiben. So fällt in die 1660er Jahre nicht nur Colberts Forstschutzverordnung vom August 1669¹⁷⁰, ein Gesetzeswerk, mit dessen Ausarbeitung er acht Jahre lang beschäftigt war,¹⁷¹ sondern auch die erste Auflage von John Evelyns „Sylva“ (1664), ein bahnbrechendes Werk, das auf eine besorgte Anfrage von seiten der Marineführung angesichts des Mangels an Schiffsbauholz zurückging¹⁷² und als wissenschaftliche Anleitung¹⁷³ für Aufforstungen und die Pflege des Waldbestandes gedacht war. Ohne im einzelnen die Verbindungen zwischen diesen volkswirtschaftlichen und militärtechnischen Problemen und einem gesteigerten Interesse an pflanzenphysiologischen Themen aufzuzeigen, mag es genügen, festzuhalten, daß sich in breiten Kreisen das Bewußtsein herausgebildet hatte, daß eine Lösung dieser Probleme auch tiefere Kenntnisse der Lebensvorgänge der Pflanzen erfordert.

Auch wenn physiologische Überlegungen und Überzeugungen den Ausschlag für das Entstehen der Saftkreislauflehre gaben, bedeutet dies nicht, daß diese Vorstellung durchweg aus physiologischen Experimenten und Beobachtungen *abgeleitet* wurde. Bei Major und Perrault stand offenbar der Einfall, daß es einen Saftkreislauf geben könnte, am Anfang allen in diese Richtung ausgeführten Experimentierens und Beobachtens, und besonders bei Major spielen die ohnehin hauptsächlich theoretischen Begründungen für das Vorkommen eines Saftkreislaufs eigentlich nur noch die Rolle einer nachgeschobenen empirischen Legitimation. Da Mariottes pflanzenphysiologische Forschungen von Anfang an eine stärkere experimentelle Ausrichtung besaßen als die Perraults, ist es bei ihm eher denkbar, daß hier tatsächlich einige Beobachtungen und Versuche, die zunächst unter

¹⁶⁸Vgl. Radkau/Schäfer, 1987.

¹⁶⁹Vgl. den Ausspruch Colberts: „La France périra faute de bois“ (Daloz u. Daloz, 1849, S. 24); vgl. a. Evelyn, 1664, S. 1–2.

¹⁷⁰Abgedruckt in Daloz u. Daloz, 1849, S. 15–32.

¹⁷¹Ibid., S. 21.

¹⁷²Siehe Evelyn, 1664, S. 1.

¹⁷³Evelyn rät „such Gentlemen as resolve to be Planters“, „that they do not easily commit themselves to the sole Dictates of their ignorant Hinds and Servants, who are (generally speaking) more fit to Learn then to Instruct“, denn „the business of Planting is an Art or Science“ (Evelyn, 1664, Vorwort an den Leser, f. B1v–B2r).

anderen Gesichtspunkten angestellt worden waren, als Auslöser für die Annahme eines Saftkreislaufs wirkten. Da jedoch die Beziehungen zwischen Mariotte und Perrault, was die Zeit vor dem 23. Juni 1668, als Mariotte der Académie des Sciences zum ersten Mal seine Vermutung eines Saftkreislaufs mitteilte, betrifft, unklar sind, läßt sich nicht mit Gewißheit sagen, ob er tatsächlich, wie er vorgab, selbständig auf den Gedanken eines Saftkreislaufs gekommen war und aus welchem Anlaß dies geschah. Was den ersten nachweisbaren englischen Vertreter der Saftkreislauflehre, Christopher Merret, betrifft, hat man noch am ehesten den Eindruck, daß bei ihm Beobachtungen am Anfang standen und die Annahme eines Saftkreislaufs dazu diente, einen experimentellen Befund, der unter ganz anderen Prämissen, nämlich der quantitativen Bestimmung des Stoffverbrauchs einer außerhalb des Erdreichs aufbewahrten Aloe, gewonnen worden war, zu deuten.

Angesichts des Primats der Physiologie in der Entstehung der Saftkreislauflehre erschien es von besonderem Interesse, zu untersuchen, welchen Stellenwert die Vorstellung eines Saftkreislaufs bei den Begründern der Pflanzenanatomie, Malpighi, Grew und Leeuwenhoek, einnimmt. Malpighi hält sich trotz aller Analogien, die er laufend zwischen Tieren und Pflanzen zu erkennen glaubt, so weit zurück, daß er nicht leichtfertig einen echten und den gesamten Pflanzenkörper erfassenden Kreislauf des Saftes annimmt, bei dem ein Teil des von den Blättern verarbeiteten und abwärts transportierten Saftes erneut aufsteigt. Grew spricht nur einmal von einer Zirkulation des Saftes und beschränkt diese auf die Wurzel. Leeuwenhoek wiederum bezeichnet zwar öfters das Auf- und Absteigen des für das Wachstum zuständigen Wassers bzw. Nährsaftes als „circulatie“, doch erwähnt er nur einmal und auch nur in seinem ersten Brief pflanzenanatomischen Inhalts explizit die Möglichkeit, daß ein Teil des nach unten geleiteten Wassers erneut aufsteigt. Letztlich spielt die Vorstellung eines Kreislaufs des Pflanzensaftes bei ihm nur eine untergeordnete Rolle. Sie ist lediglich Beiwerk zu seinen exakten pflanzenanatomischen Studien und bleibt auch oft unerwähnt.

Die Deutungen, mit denen die strikten Befürworter des Saftkreislaufs Perrault und Mariotte ihre experimentellen Befunde versahen, wurden von ihren Zeitgenossen offenbar als nicht zwingend angesehen. Jedenfalls ist es ihnen nicht gelungen, die übrigen Akademiemitglieder von ihrer Theorie zu überzeugen. Allerdings läßt sich heute nicht mehr entscheiden, ob die Gegner der Saftkreislauflehre von der mangelnden Beweiskraft der Perrault- und Mariotteschen Experimente wirklich überzeugt waren und rein aus wissenschaftlichen Gründen sich ablehnend verhielten oder ob auch persönliche Mißgunst gegenüber den Begründern einer neuen Theorie, die sie selbst nicht aufgestellt hatten, mit eine Rolle spielte. So macht einmal Fontenelle bezüglich des Verhaltens von Duclos eine Andeutung, die in diese Richtung geht.¹⁷⁴ Außerdem ist zu beachten, daß Perraults physiologisch

¹⁷⁴Vgl. folgende Bemerkung in der *Histoire de l'Academie royale des sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1686*. Tome I, Paris 1733, S. 41 (Hervorhebung nicht im Original):

orientiertes Forschungsprogramm, das er im Januar 1667 vortrug,¹⁷⁵ von Anfang an als Gegenentwurf zu Duclos' pflanzenchemischem, an den Arbeiten Claude Bourdelins (1621–1699) orientiertem Programm gedacht war.¹⁷⁶ Während Perrault die Lebensprozesse der Pflanzen im Auge hatte, richtete Duclos seine Aufmerksamkeit auf die chemische Untersuchung und Identifikation der Bestandteile der Pflanzen. Somit bestand von vornherein eine Konkurrenzsituation zwischen Perrault und Duclos, einem der entschiedensten Gegner der Saftkreislauflehre. Auch Mariotte betrachtete, nicht zuletzt aufgrund eigener negativer Erfahrungen, chemische Untersuchungen als unzulänglich zur ursächlichen Erklärung der verschiedenen „Wirkungen“ der Pflanzen.¹⁷⁷

Erstaunlich ist, wie wenig Wert Perrault und Mariotte darauf legten, ihre Theorie auf eine solidere pflanzenanatomische Basis zu stellen. Allerdings bestand in Frankreich im 17. Jahrhundert ein allgemeines Desinteresse an pflanzenanatomischen Untersuchungen. Auch später wurden die Entdeckungen Malpighis, Grews und Leeuwenhoeks mit Skepsis betrachtet, da man sich außerstande sah, sie zu reproduzieren.¹⁷⁸

Vielleicht liegt in der intensiven Auseinandersetzung mit pflanzenanatomischen Problemen auch ein Schlüssel für den Umstand, daß die Saftkreislaufleh-

„La Circulation de la Sève devoit bien essayer quelque contradiction, après que celle du sang en avoit tant essayé: *il est assez naturel de ne pas croire aisément ce qu'on n'a pas encore cru, & qui a été trouvé par un autre.* Mr. du Clos opposa au sentiment de MM. Perrault & Mariotte des difficultés qui n'étoient pas invincibles; [...]“.

¹⁷⁵Siehe oben, S. 7–8.

¹⁷⁶Vgl. Salomon-Bayet, 1978, S. 73–75.

¹⁷⁷Unter den Faktoren, die die Unsicherheit pflanzenchemischer Analysen bedingen, nennt Mariotte die individuellen Unterschiede in der Zusammensetzung der Pflanzen in Abhängigkeit von ihrem Alter, den Bodenverhältnissen und klimatischen Bedingungen sowie technische Schwierigkeiten bei der Destillation, die sich aus einer Reaktion der Materialien, aus denen die Apparatur besteht, mit den zu analysierenden Substanzen sowie der Substanzen untereinander ergeben (Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 146.). Angesichts dieser Probleme kommt Mariotte zu dem Schluß (ibid.), „que la Chymie ne peut donner aucune lumière pour faire connoître quelles sont les causes des effets particuliers de chaque plante.“

¹⁷⁸Nach Darlegung der konträren Auffassungen Parents und Reneaumes zur Rolle von Mark, Rinde und Holz beim Transport des Nährsaftes fügt Fontenelle folgenden Kommentar hinzu: „Voilà en gros la mécanique de la végétation des Plantes, selon le système de M. Reneaume. Si on entroit dans un plus grand détail, on y mettroit aussi plus de conjectures & plus d'incertitude. On iroit jusqu'aux Utricules, aux Insertions, & aux Trachées, parties des Plantes que de grands Autheurs, à la vérité, ont voulu établir, & qui pourroient exister, mais qu'il faut avoüer qu'on ne voit guère avec les meilleurs Microscopes, qu'autant qu'on a envie de les voir.“ (Histoire de l'Académie royale des sciences. Année 1711. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Paris 1730. Histoire, S. 50–51. Ausgabe Amsterdam 1715, Histoire, S. 65.) Vgl. Histoire de l'Académie royale des sciences. Année 1710. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Amsterdam 1713, Histoire, S. 89: „Voilà, selon M. Parent, les principes de la différente extensibilité des parties des Plantes. Nous n'en ferons point l'application qui est facile, car on est assez le maître de placer où l'on veut en plus grande ou en moindre quantité les tuyaux, & les différens tuyaux, & les utricules; le Microscope le plus fin ne peut guère retrancher de cette liberté.“

re in den Werken Malpighis, Grews und Leeuwenhoeks trotz ihres Interesses an physiologischen Fragestellungen und trotz ihrer Neigung, Analogien zu den Verhältnissen im Tierreich zu bilden, keine oder nur eine sehr untergeordnete Rolle spielte. Die engere Vertrautheit mit der komplexen Feinstruktur pflanzlicher Gefäße und Gewebe bei gleichzeitigem Fehlen von deutlich abgrenzbaren inneren Organstrukturen, wie sie sich im tierischen Körper finden, konfrontierte diese Naturforscher mit ungelösten Fragen nach der Funktion der verschiedenen anatomischen Elemente. Als Pflanzenanatomien werden sie diese Unsicherheit in stärkerem Maße verspürt haben als andere Naturforscher, die sich nicht so intensiv mit der Feinstruktur der Pflanzen beschäftigten. Dadurch könnte sich ihre Neigung, noch viel weitreichendere Aussagen über Saftbewegungen auf der Organisationsebene eines Kreislaufs zu treffen, verringert haben.

Bei all diesen Überlegungen darf natürlich ein Umstand nicht aus den Augen verloren werden: In der Diskussion um die Existenz eines Saftkreislaufs waren beide konträren Ansichten, d. h. Befürwortung und Ablehnung eines solchen Kreislaufs, empirisch unterdeterminiert. Es wäre ein völlig ahistorischer Standpunkt, würde man behaupten wollen, Malpighi, Grew und Leeuwenhoek seien in ihrer Skepsis gegenüber der Saftkreislauflehre die „besseren“ Naturforscher gewesen. Versetzen wir uns in das letzte Drittel des 17. Jahrhunderts, so mußten beide Ansichten plausibel erscheinen. Und dies galt noch für lange Zeit.

3. Das weitere Schicksal der Saftkreislauflehre in England in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts

Nachdem im vorangegangenen Kapitel Ursprung und frühe Diskussion der Saftkreislauftheorie behandelt wurden, soll in den folgenden Sektionen das weitere Schicksal dieser Theorie in England, Frankreich und dem deutschsprachigen Raum aufgezeigt werden. Was Italien betrifft, ließen sich bisher keine nennenswerten Spuren dieser Vorstellung in den ersten beiden Dritteln des 18. Jahrhunderts nachweisen. Erst Anfang der 1770er Jahre setzen in Italien mit Cortis Entdeckung der Plasmazirkulation in den Internodien der Charen Entwicklungen ein, die sich auch auf die weitere Ausgestaltung der Saftkreislauftheorie auswirkten (s. Kap. 6).

Die Diskussionen um die Saftkreislauftheorie in England wie auch andersorts lassen sich natürlich nicht ohne eine Berücksichtigung der allgemeinen Geschichte der Pflanzenphysiologie verstehen. Dennoch ist hier nicht der Ort, die pflanzenphysiologischen Vorstellungen der Zeit in jedem Detail nachzuvollziehen. Einige Marksteine in der Entwicklung der Pflanzenphysiologie müssen allerdings aufgrund ihrer Wirkmächtigkeit besondere Berücksichtigung finden. Aus diesem Grunde beginnt dieses Kapitel mit einer ausführlichen Darstellung der Versuche John Woodwards, auch wenn sich dieser Experimentator selbst mit der Saftkreislauftheorie nicht direkt auseinandergesetzt hat.

3.1 John Woodward (1665–1728)

John Woodward¹, der 1692 zum Professor der Medizin am Gresham College in London ernannt wurde, publizierte 1699 in den *Philosophical Transactions* eine Reihe von pflanzenphysiologischen Experimenten, die er in den Jahren 1691 und 1692 durchführte und die bis in das 19. Jahrhundert hinein nachwirkten.² Wood-

¹Zu Leben und Werk des Geologen und Mineralogen John Woodward s. Levine, 1977.

²Vgl. z. B. Wolff, 1723, S. 620–624; Senebier, 1800, Bd. 4, S. 31–34; Bischoff, 1834, S. 255. Thompson schrieb 1812, daß „Dr. Woodward’s experiments have acquired great celebrity and are constantly referred to“ (Thompson, 1812, S. 58; zitiert nach Levine, 1977, S. 306, Anm. 47).

wards Ausgangspunkt für seine Experimente sind die berühmten Versuche van Helmonts.

Um Aufschluß darüber zu erhalten, wovon sich die Pflanzen in der Hauptsache ernähren, pflanzte Jan Baptist van Helmont (1577–1644) um 1600 eine junge Weide mit einem Gewicht von 5 Pfund in einen Topf mit 200 Pfund getrockneter Erde. Damit keine weitere Erde in den Topf gelangen konnte, bedeckte er das Gefäß mit einer mit Zinn überzogenen Eisenplatte, die zahlreiche Löcher besaß, um den Baum gießen zu können. Den Topf grub er in den Boden ein. Zum Gießen verwendete er destilliertes und Regenwasser. Nach fünf Jahren stellte er fest, daß die Weide 169 Pfund und ca. 3 Unzen wog (das Gewicht der jeweils im Herbst abgefallenen Blätter hatte van Helmont nicht berücksichtigt). Die Erde dagegen, die nach dem Versuch erneut getrocknet worden war, hatte lediglich ca. 2 Unzen an Gewicht verloren. Van Helmont schloß aus diesem Versuch, daß die zusätzlichen 164 Pfund Pflanzensubstanz allein aus dem aufgenommenen Wasser gebildet wurden.³

Van Helmonts Deutung blieb nicht unumstritten. Schon sehr bald wurden Zweifel an der Methodik und der Art der Durchführung der Experimente laut. Als Gegenargument führt Mariotte die Beobachtung an, daß Böden, die ununterbrochen bepflanzt werden, trotz Niederschlags auslaugen und erst nach einer Brachezeit und Düngung ihre ursprüngliche Fruchtbarkeit wiedererlangen. Mariotte hält den „sel nitreux“, der in den Poren des Bodens verteilt sei, für den hauptsächlichsten Nährstoff der Pflanzen, denn zum einen lasse sich dieses Salz nicht nur im Boden, sondern auch in den Pflanzen nachweisen, zum anderen sei ein Boden umso fruchtbarer, je mehr er von diesem Salz enthalte. Aus diesem Grunde seien tierische Fäkalien, die ja viel „nitre“ enthalten, hervorragende Dünger. Ferner lasse sich die Getreideernte deutlich steigern, indem man die Körner vor der Aussaat in einer Lauge aus „sel de nitre“ einweiche. Als Transportmittel für den „sel de nitre“ diene das von den Pflanzen aufgenommene Wasser, das in ihnen nach oben steige. Dort angelangt, verdunste es und lasse den „sel de nitre“ zurück, der sich dann zu pflanzeneigener Substanz verdichte.⁴

Francis Bacon dagegen unterstützte die Schlußfolgerungen van Helmonts. Nachdem er experimentell festgestellt hatte, daß Wasser allein genügt, um bewurzelte, blattlose Rosenstöcke sowie Blumenzwiebeln, Rüben, Boretsch- und Rettichwurzeln austreiben zu lassen, stellte er sich auf den Standpunkt, Pflanzen benötigten nur Wasser für ihre Ernährung, während die Erde sie lediglich aufrecht halte und vor übermäßiger Hitze und Kälte schütze.⁵ Für van Helmont

³Siehe zu diesem Absatz van Helmont, 1707c, S. 104–105.

⁴Mariotte, 1672, S. 120–122. Vgl. Bugler, 1950, S. 244–245.

⁵Bacon, 1651, S. 91–92 (Century V, §407–411). Selbst wenn Bacon wirklich ein „Faire Water, without any Mixture“ verwendet haben sollte, so lassen seine Versuche natürlich dennoch keine so ausschließliche Interpretation zu. Daß die Pflanzen austrieben, dürfte in der Hauptsache auf die Mobilisierung von z. B. in Wurzeln, Sproßknollen und Zwiebeln aufgespeicherten Reservestoffen zurückzuführen sein. Auf der anderen Seite wurde Bacon in seiner Schlußfolgerung

war die Generierung von Pflanzensubstanz aus Wasser nur ein Beispiel für die generelle Entstehung der Körper aus Wasser.⁶ Robert Boyle, der mit Melonen, „spearment“ (Grüne Minze) und anderen Pflanzen ähnliche Experimente wie van Helmonts Weidenversuch durchführte bzw. durchführen ließ,⁷ folgte ihm in dieser Ansicht.⁸

Woodward kam mit seinen Experimenten zur Wasseraufnahme und Transpiration der Pflanzen zu dem Schluß, daß neue Pflanzensubstanz nicht aus Wasser, sondern aus erdigen Bestandteilen gebildet wird, die durch das Wasser aufgenommen werden. Als erstes äußerte er Zweifel an der Methodik und Durchführung der van Helmontschen und vergleichbarer Experimente. So sei es schwierig, Erde in dieser Menge oder Pflanzen in dieser Größe exakt zu wiegen oder die verwendete Erde genau so zu erhitzen, daß sie beide Male, vor und nach dem Versuch, denselben Trockenheitsgrad aufweise. Ferner seien die Experimente nur aussagekräftig, wenn sichergestellt sei, daß das Wasser rein und homogen sei und keinerlei erdige Beimischung enthalte. Ansonsten könnte die Versuchspflanze ihr Wachstum allein diesen Bestandteilen verdanken.⁹ Woodward gibt zu bedenken, daß auch Wasser, das völlig rein erscheine, Erdpartikel enthalten könne.¹⁰ Zwei Arten von „terrestrial particles“ seien in gewöhnlichem Wasser enthalten: 1. „a vegetable terrestrial Matter, consisting of very different Corpuscles; some whereof are proper for the formation and increment of one sort of Plant, and some of another: as also some for the nourishment of one part of the same Plant, and some of another“. 2. „Particles of a Mineral Nature“ (z. B. „Common Salt“, „Vitriol“, „Alum“, „Nitre“, „Sparr“ [„Spat“], „Ochre“ [„Ocker“]), in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Untergrundes, durch oder über den das Wasser fließe.¹¹ Lasse man Wasser in einem geschlossenen Gefäß stehen, so setzten sich mit der Zeit

dadurch bestärkt, daß ein Rosenstock, den er zum Vergleich in Wasser stellte, dem zu ungefähr einem Viertel Pferdedung beigemischt war, in vier Monaten kein einziges Blatt austrieb.

⁶Vgl. van Helmont, 1707b, S. 53–54: „Omnis proinde terra, lutum, ac omne corpus tangibile, vere, & materialiter, est solius aquae progenies, & in aquam iterum reducitur, per naturam & artem.“ Van Helmont war ein entschiedener Gegner der traditionellen aristotelisch-scholastischen Elementenlehre (vgl. u. a. van Helmont, 1707b, 1707c). Das Feuer war für ihn kein Element (s. van Helmont, 1707b, S. 51, §8–10; 1707c, S. 104, §26). Er erkannte nur drei Elemente an: Wasser, Luft und Erde, wobei es sich bei Wasser und Luft um die „elementa primigena“ bzw. „elementa primaria“ handele (s. van Helmont, 1707b, S. 50–51). Das Element Erde hingegen sei von Gott aus dem Wasser geschaffen worden und durch „privatio suae essentiae“ auch wieder in Wasser umwandelbar (s. van Helmont, 1707b, S. 51, §12 u. 16). Luft und Wasser dagegen seien weder auf natürliche noch künstliche Weise ineinander umwandelbar (s. van Helmont, 1707b, S. 53, §12; S. 61–63; 1707c, S. 104, §27; S. 105, §35).

⁷Vgl. Boyle, 1772, S. 494–495.

⁸Vgl. Boyle, 1772, u. a. S. 563, 579–580.

⁹Woodward, 1699, S. 194–195.

¹⁰Woodward, 1699, S. 195–196.

¹¹Woodward, 1699, S. 196.

die mineralischen Bestandteile am Boden des Gefäßes ab. Die vegetabilischen Korpuskeln dagegen bildeten Wolken, die im Wasser schwammen.¹²

Nachdem Woodward gezeigt hat, daß Wasser eine beträchtliche Menge an „terrestrial Matter“ enthalte, will er durch Experimente der Frage nachgehen, ob die Pflanzen vom Wasser oder von der darin enthaltenen „Earthy Matter“ ernährt werden.¹³ Zu diesem Zweck stellte er verschiedene Pflanzen in Gläser („Glass Viols“) mit unterschiedlichen Wassersorten und wog das Wasser und die Versuchspflanzen (einschließlich der im Verlauf des Versuchs abgefallenen Blätter) vor und nach dem Versuch. Um die Wasserverluste durch Evaporation möglichst gering zu halten, bedeckte Woodward die Phiolen mit Pergament, das ein Loch zur Aufnahme des Pflanzenstengels enthielt. In einer ersten Versuchsreihe vom 20. Juli bis zum 5. Oktober 1691 (jul.) stellte er „common Spear-Mint“ (Grüne Minze) in Gläser, die mit Quellwasser („Spring-Water“), Regenwasser und Wasser aus der Themse gefüllt waren, ferner „Common Solanum or Night Shade“ (Tollkirsche [?]) sowie „Lathyrus seu Cataputia Gerh.“ (*Ricinus*) jeweils in ein Glas mit Quellwasser. Sämtliche Gläser standen am Fenster und erhielten das gleiche Maß an Luft, Licht und Sonneneinstrahlung. Das Verhältnis aus Gewichtszunahme der jeweiligen Pflanze und Wasserverbrauch ist aus Tabelle 1 zu ersehen.¹⁴

Mehrere andere, von Woodward nicht näher bezeichnete Arten von Versuchspflanzen gediehen nicht im Wasser. Um das Ausmaß der pflanzenunabhängigen Evaporation festzustellen, verwendete Woodward zwei Kontrollgläser, eines mit Regenwasser, das andere mit Quellwasser, die ebenfalls mit Pergament abgedeckt waren, jedoch an Stelle einer Pflanze einen Stecken („stick“) von der ungefähren Größe der verwendeten Pflanzenstengel enthielten. Woodward beobachtete die Bildung von Kondensationswasser an den inneren Glaswänden, konnte aber insgesamt keinen Wasserverlust feststellen. Ferner beobachtete er eine stärkere Sedimentbildung und Trübung in den Kontrollgläsern als in den mit Pflanzen bestückten Phiolen.¹⁵

In einer zweiten Versuchsreihe, ausgeführt zwischen dem 2. Juni und 28. Juli 1692 (jul.), verwendete Woodward als Versuchspflanzen nur noch „Spear mint“, die er in „Hyde-Park Conduit-Water“ stellte, das z. T. noch verschiedene Zusätze enthielt. Die verschiedenen Mischungen sowie das jeweilige Verhältnis aus Gewichtszunahme der Pflanze und Wasserverbrauch können Tabelle 2 entnommen werden.¹⁷

In den Gläsern, die mit „Common Garden Earth“ bzw. „Garden Mould“ versetztes Wasser enthielten, war eine beträchtliche Abnahme der erdigen Bestand-

¹²Woodward, 1699, S. 196–197. Bei den von Woodward beobachteten „Wolken“ wird es sich größtenteils um Algen gehandelt haben.

¹³Woodward, 1699, S. 198.

¹⁴Die der Tabelle zugrundeliegenden Daten sind Woodward, 1699, S. 200–201, entnommen.

¹⁵Woodward, 1699, S. 198–202.

¹⁷Entlehnt aus Woodward, 1699, S. 203–206.

Versuchspflanze	Art des Wassers	Gewicht der Pflanze vor dem Versuch ¹⁶ [gr]	Gewicht nach dem Versuch [gr]	Gewichtszunahme der Pflanze [gr]	Gewicht des aufgenommenen Wassers [gr]	Spalte 5: Spalte 6
Common Spear-Mint	Spring Water	27	42	15	2558	1:170 $\frac{8}{15}$
Common Spear-Mint	Rain Water	28 $\frac{1}{4}$	45 $\frac{3}{4}$	17 $\frac{1}{2}$	3004	1:171 $\frac{23}{35}$
Common Spear-mint	Thames Water	28	54	26	2493	1:95 $\frac{23}{26}$
Common Solanum	Spring Water	49	106	57	3708	1:65 $\frac{5}{57}$
Lathyris seu Cataputia Gerh.	Spring Water	98	101 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	2501	1:714 $\frac{4}{7}$

Tabelle 1: Ergebnisse aus Woodward's erster Versuchsreihe (20. 7. – 5. 10. 1691 [jul.]); Gewichtsangaben in grain (1 grain = 0,0648 Gramm)

Hyde-Park Conduit Water	Gewicht der Pflanze vor dem Versuch [gr]	Gewicht nach dem Versuch [gr]	Gewichtszunahme der Pflanze [gr]	Gewicht des aufgenommenen Wassers [gr]	Spalte 4: Spalte 5
ohne Zusatz	127	255	128	14190	1:110 $\frac{110}{128}$
ohne Zusatz	110	249	139	13140	1:94 $\frac{74}{139}$
+ 1/2 Unze „Common Garden Earth“	76	244	168	10731	1:63 $\frac{147}{168}$
+ 1/2 Unze „Garden Mould“	92	376	284	14950	1:52 $\frac{182}{284}$
Destilliert	114	155	41	8803	1:214 $\frac{29}{41}$
Destillationsrückstand	81	175	94	4344	1:46 $\frac{20}{94}$

Tabelle 2: Ergebnisse aus Woodward's zweiter Versuchsreihe (2. 6. – 28. 7. 1692 [jul.]); Gewichtsangaben in grain (1 grain = 0,0648 Gramm)

teile zu konstatieren. Bei bestimmten anderen Mischungen¹⁸ gingen die Pflanzen ein.¹⁹

Woodward gelangte zu folgenden Ergebnissen:

1. Je größer eine Pflanze ist, desto mehr Wasser saugt sie auf. Das Aufsteigen des Wassers in den Gefäßen der Pflanzen geschehe wie in einem Filter. Zur „Mechanical Representation of the Motion and Distribution of the Juices in Plants“ verwendete Woodward Glasröhren von ca. 10 Inch Länge und 1/6 Inch Durchmesser, gefüllt mit Sand, „Cotton, Lint, Pith of Elder, and

¹⁸„Hyde-Park Conduit-Water“ mit den folgenden Zusätzen: 1. eine Drachme „Nitre“; 2. eine Unze „Garden Mould“ zusammen mit einer Drachme „Nitre“; 3. eine Unze „Wood-Ashes“ zusammen mit einer Drachme „Nitre“.

¹⁹Woodward, 1699, S. 203–206.

several other porous Vegetable Substances“, von denen er einige in klares, andere in mit Safran oder „Cochinele“²⁰ gefärbtes Wasser stellte.²¹

2. Der bei weitem größte Teil der Flüssigkeit, die von den Pflanzen aufgesaugt wird, wird wieder an die Atmosphäre abgegeben, also transpiriert. So betrug das Gewichtsverhältnis zwischen aufgenommenem Wasser und Zuwachs der jeweiligen Versuchspflanze im geringsten Fall 46 bzw. 50 zu 1 und stieg in einigen Fällen auf 100, 200, ja sogar 700 zu 1. Auf dieses gewaltige Ausmaß an Transpiration führt Woodward die hohe Luftfeuchtigkeit und die häufigen Regenfälle in stark bewaldeten Ländern zurück.²² Es werde aber nicht reines Wasser transpiriert, sondern dies enthalte auch noch Bestandteile der Pflanze. Die schwereren davon blieben auf der Oberfläche von Blüten, Blättern und anderen Pflanzenteilen als harzige und gummöse Absonderungen (z. B. „Manna“, „Honies“) zurück, während die flüchtigen in die Atmosphäre übergehen und als Gerüche wahrgenommen würden.²³

3. Ein großer Teil der „terrestrial Matter“, die sich im Wasser befindet, steigt mit dem Wasser zusammen in den Pflanzen auf. So stellte Woodward fest, daß sich in den Kontrollgläsern, die keine Pflanzen enthielten, am Ende des Experiments viel mehr „terrestrial Matter“ befand als in den Gläsern, in denen Pflanzen standen. In den mit Pflanzen bestückten Gläsern, die „Hyde-Park Conduit Water“ mit Beimengungen von „Common Garden Earth“ und „Garden Mould“ enthielten, nahmen die erdigen Bestandteile beträchtlich ab. Sichtbar machen ließ sich der Aufstieg der „terrestrial“ und „Vegetable Matter“ in den mit Sand, Baumwolle und den anderen oben genannten Materialien gefüllten Röhren. Als weiteres Indiz für die Aufnahme „erdiger Stoffe“ durch die Pflanze verweist Woodward darauf, daß marine Pflanzen und Pflanzen der Meeresküste Meersalz enthalten.²⁴ Aber nicht jede „terrestrial Matter“ sei zur Pflanzenernährung geeignet, denn die „mineral Matter“ sei zu grob und schwer, als daß sie in die Poren der Wurzeln eintreten könne. Viele der „Vegetable Particles“ wiederum würden verklumpen (wahrscheinlich beobachtete Woodward hier Algenansammlungen), so daß auch sie nicht aufgenommen werden könnten. Bei dieser Gelegenheit greift Woodward die gängige Ansicht an, wonach „nitre“ für die Pflanzen unverzichtbar sei²⁵. Nach Woodward besteht die wachstumsfördernde Wirkung von „nitre“ und anderen Salzen sowie Kalk darin, die Erde aufzulockern und

²⁰Ein aus der Koschenille-Schildlaus gewonnener roter Farbstoff.

²¹Woodward, 1699, S. 206–208.

²²Woodward, 1699, S. 208–209.

²³Woodward, 1699, S. 209.

²⁴Woodward, 1699, S. 209–210.

²⁵Vgl. die oben (S. 39) mitgeteilten Ausführungen Mariottes; s. a. später Hales, 1699 [1727], S. 208.

auf diese Weise die Lösung der eigentlichen Nährstoffe und ihre Aufnahme mittels des Wassers zu erleichtern.²⁶

4. Die Pflanzen werden in ihrem Wachstum in dem Maße gefördert, in dem im Wasser eine „proper terrestrial Matter“ enthalten ist. So ergibt sich aus der ersten Versuchsreihe, daß eine „Spear-Mint“ in Flußwasser, das mehr „terrestrial Matter“ enthält, deutlich besser gedeiht als in Quell- und Regenwasser. Entsprechend gedieh eine „spear-mint“ in Wasser, dem „Garden Mould“ beigemischt war, deutlich besser als in demselben, jedoch unbehandelten Wasser (s. die zweite Versuchsreihe). Auffallend war auch ein Vergleich der beiden „spear-mints“, die im destillierten „Hyde-Park Water“ bzw. im Destillatrückstand standen. Letztere nahm nur ca. halb so viel Wasser auf als erstere, das relative Wachstum jedoch betrug das mehr als 4,5fache.²⁷

Von „proper terrestrial Matter“ spricht Woodward, weil er der Ansicht ist, daß jeder besondere Pflanzenteil seine spezifischen Nährstoffe benötige. Die große Verschiedenheit der Pflanzen in Hinblick auf ihre Säfte, Gerüche, ihren Geschmack und ihre medizinische Wirksamkeit lasse es undenkbar erscheinen, daß sämtliche Pflanzen von einer einzigen homogenen Substanz ernährt würden. Diese Überlegung richtet sich natürlich auch gegen die Annahme, Wasser allein sei die Substanz, aus der die Pflanzen gebildet würden.²⁸

Als weiteren Beweis für seine These, daß es auf die erdigen Bestandteile ankomme, führt Woodward die Beobachtung an, daß der Boden für eine bestimmte Sorte von Getreide im Laufe der Jahre seine Fruchtbarkeit einbüße, daß er aber für eine andere Sorte fruchtbar bleibe, bis er auch für diese zweite Getreidesorte nach einigen Jahren unfruchtbar werde. Nach weiteren Fruchtfolgen werde der Boden schließlich ganz unfruchtbar.²⁹ Durch Düngung mit vegetabilischen und tierischen Substanzen lasse sich die Fruchtbarkeit des Bodens wiederherstellen oder auch dadurch, daß das Land brach liege „till the Rain has pour'd down a fresh stock upon it“. Ähnlich verhalte es sich mit Gartenpflanzen. Die Wurzeln von Gartenpflanzen, die sich lange an ein und derselben Stelle befunden hätten, seien länger als gewöhnlich, um in Regionen des Bodens vorzustößen, die noch nicht ausgelaugt seien. Würden diese Pflanzen in frische Erde umgepflanzt, so schnitten die Gärtner einen Teil der langen Wurzeln ab, da sie in der frischen Erde nicht mehr benötigt würden.³⁰

Woodwards Schlußfolgerung aus seinen Experimenten und Überlegungen lautet:

²⁶Woodward, 1699, S. 209–213.

²⁷Woodward, 1699, S. 213–214.

²⁸Woodward, 1699, S. 214–215.

²⁹Woodward, 1699, S. 216–217.

³⁰Woodward, 1699, S. 217–218.

„Vegetables are not form'd of Water: but of a certain peculiar Terrestrial Matter. It hath been shewn, that there is a considerable Quantity of this Matter contain'd both in Rain, Spring, and River Water: that the much greatest part of the fluid Mass that ascends up into Plants does not settle or abide there, but passes through the Pores of them and exhales up into the Atmosphere: that a great part of the terrestrial Matter, mixt with the Water, passes up into the Plant along with it: and that the Plant is more or less augmented in proportion as the Water contains a greater or smaller Quantity of that Matter. From all which we may very reasonably infer, that Earth, and not Water, is the Matter that constitutes Vegetables.“³¹

Wasser dient nach Woodward nur als Transportmittel für die „terrestrial Matter“, aus der die Pflanzen geformt werden, gehe aber selbst nicht in die Bildung von Pflanzensubstanz ein. Zur Erklärung der Lösungseigenschaften des Wassers und seiner Eignung als Transportmittel innerhalb der Gefäße der Pflanzen stützt sich Woodward auf die herkömmlichen Korpuskulartheorien vom Aufbau des Wassers aus vollkommen sphärischen und glatten, äußerst feinen und harten Körperchen.³² Damit das Wasser seine Transportfunktion erfüllen und mit der „terrestrial matter“ in den Gefäßen der Pflanzen aufsteigen könne, müsse es durch eine angemessene Wärme in Bewegung versetzt werden. Dies zeige sich daran, daß die Versuchspflanzen im Oktober und den folgenden noch kälteren Monaten viel weniger Wasser aufgenommen hätten und gewachsen seien als im Sommer. Woodward spricht dem Wasser eine Eigenbewegung ab, geht aber davon aus, daß die Wasserkorpuskeln aufgrund ihrer Gestalt sehr leicht in Bewegung versetzt werden.³³ Die Rolle der Wärme lasse sich nicht nur experimentell nachweisen, sondern werde auch aus den durch den Jahreszeitenwechsel bedingten Veränderungen der Vegetation deutlich. So führt Woodward den Laubfall darauf zurück, daß die Herbstwärme zu gering sei, um das Wasser und die darin gelösten Nährstoffe bis in die Wipfel der Bäume transportieren zu können. Woher die Wärme als treibende Kraft stamme, ob von der Sonne oder aus der Erde, einem Ofen oder „Hot Bed“³⁴, sei gleichgültig, denn alle Wärme sei von derselben Art.³⁵

³¹Woodward, 1699, S. 218–219.

³²Vgl. die Ansicht Boyles (s. Lasswitz, 1890, Bd. 2, S. 283).

³³Woodward, 1699, S. 224.

³⁴Ein Beet, in das Dung eingebracht wird, durch dessen Zersetzung es zu einer Wärmeentwicklung kommt.

³⁵Woodward, 1699, S. 225–227.

3.2 Richard Bradley: „a Plant is like an Alembick“

Richard Bradley († 1732) wurde 1724 als Professor für Botanik an die Universität Cambridge berufen. Es war die erste Professur dieser Art in der Geschichte der Universität Cambridge.

Bradley wollte die Landwirtschaft und Gärtnerei auf eine wissenschaftliche Basis stellen. In seinen Schriften beklagt er³⁶ den – von seltenen Ausnahmen wie John Evelyn (1620–1706), Nurse und John Lawrence († 1732) abgesehen – seines Erachtens größtenteils dilettantischen Charakter der gängigen Schriften zur Agri- und Hortikultur, die oftmals von „Covetous or Illiterate Gardeners and Planters“ verfaßt seien, die neue Gedanken entweder nicht zu vermitteln vermöchten oder nur auf ausgetretenen Pfaden wandeln würden. Diese Mangelhaftigkeit der Fachliteratur macht Bradley auch für die gravierenden Mißerfolge und Schäden in Landwirtschaft und Gärtnerei verantwortlich. Des weiteren verweist er darauf,³⁷ daß sich selbst die größten Philosophen und Persönlichkeiten mit Fragen der Landwirtschaft und Gärtnerei beschäftigt hätten. Abgesehen davon, daß es sich bei diesem Appell, wonach Landwirtschaft und Gärtnerei der Aufmerksamkeit der edelsten Persönlichkeiten würdig seien, um einen generellen Topos handelt,³⁸ ist ein solcher Versuch einer Rechtfertigung der eigenen Studien besonders in Bradleys Fall nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, daß Bradley, der aller Wahrscheinlichkeit nach keine universitäre Ausbildung besaß,³⁹ durch seine Schriften zur angewandten Botanik, wie sie normalerweise nur von Gärtnern betrieben wurde, und sein Desinteresse an Pflanzensystematik von den universitären Gepflogenheiten deutlich abwich und dafür Kritik und Spott ausgesetzt war.⁴⁰

Bradley selbst dagegen, „who from a Natural bent of Genius, even from [...] [his] Childhood, [...] [has] had a passion for Gardening and Planting“⁴¹ und der immer nach einem „Complete System of Agriculture“⁴² gesucht habe, will ein „new System of Vegetation“ aufstellen, das sich auf die Lehre vom Saftkreislauf gründet:

„I shall then advance (what I think) a new System of Vegetation, and endeavour to prove that the Sap of Plants and Trees Circulate much

³⁶Siehe z. B. Bradley, 1717a, Preface; 1733, Preface sowie S. 1–2.

³⁷Bradley, 1733, Preface u. S. 1.

³⁸Vgl. Evelyn, 1664, Vorwort an den Leser, f. Bv–B2r.

³⁹Vgl. Walters, 1981, S. 24. Pulteney schreibt (1790, Bd. 2, S. 133, Hervorhebung nicht im Original): „The industry and talents of Bradley were not mean; and though *unadorned by learning* [...].“

⁴⁰Vgl. Walters, 1981, S. 24.

⁴¹Bradley, 1717a, Preface, [S. 3].

⁴²John Evelyn (1664, Vorwort an den Leser, f. B2r) bezeichnete die Begründung eines „complete Systeme of Agriculture“ als ein „desiderate“. Wahrscheinlich spielt Bradley auf diese Äußerung Evelyns an.

after the same manner as the Fluids do in Animal Bodies, which may be one Argument to shew the beautiful Simplicity of Nature in all her Works.“⁴³

Bradley äußerte sich zum ersten Mal in einem Artikel von 1716 in den *Philosophical Transactions* zum Problem des Safttransports. Auch wenn er darin noch nicht explizit von einem Saftkreislauf spricht, enthält dieser Artikel doch schon sämtliche wesentlichen Elemente seiner späteren Vorstellungen.⁴⁴ An Hand dieses Artikels sowie seiner späteren Ausführungen⁴⁵ lassen sich Bradleys Vorstellungen vom Safttransport in den Pflanzen wie folgt zusammenfassen:

Die Wurzel, die schwammiger Natur ist, nimmt aus der Erde bestimmte „Säfte“ („juices“, an anderer Stelle spricht Bradley von „humid particles“) durch ihre Poren auf. Da die Pflanzen sich in den Poren ihrer Wurzeln unterscheiden, werden nur die für die jeweilige Pflanze geeigneten Flüssigkeiten aufgenommen.⁴⁶ Von der Wurzel aus steigen die Säfte, nachdem sie durch die Sonne oder künstlich, etwa durch Pferdedung, „bran“ (Kleie) oder „other such like Ferments“, erwärmt wurden,⁴⁷ nicht als Flüssigkeiten, sondern in Form von Dampf („Vapour“, „Steam“) in den kapillaren Röhren („capillary Tubes“) im Holz des Stammes auf. Der Aufstieg erfolge in Form von Dampf, da die Öffnungen der Kapillaren zu klein seien für die großen Partikel einer Flüssigkeit. Die für den Saftaufstieg zuständigen Kapillarröhren bezeichnet Bradley als „Arterial Vessels“. Oben angekommen sorge der Dampf für eine Entfaltung der Knospen am Ende der „arterial vessels“. Sobald aber der Dampf in die Nähe der Luft komme, kühle er sich ab und kondensiere wieder zu einer Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit kehre in Röhren („Pipes“), die sich zwischen dem Holz und der Rinde befänden und einen größeren Durchmesser besäßen als die „arterial Vessels“, durch ihre eigene Schwere wieder zur Wurzel zurück, wobei die einzelnen, verschieden aufgebauten Rindenschichten die spezifischen Säfte entnähmen, die sie jeweils benötigten. Die erwähnten Röhren bezeichnet Bradley als „Venen“ („Veins“). Die Wurzeln selbst erhielten den mehr öligen Anteil der absteigenden Flüssigkeit, der die Wurzeln in die Länge ausdehne und sie vor dem Verrotten durch Nässe schütze.

Eine weitere wichtige Rolle in der Ernährung der Pflanzen spiele der Dampf („vapour“, „steam“), der von der Erdoberfläche des Tags aufsteige und des Nachts auf die Erde zurückfalle. Aus den Ausführungen Bradleys wird nicht ganz deutlich, ob es sich dabei um reinen Wasserdampf handelt oder ob diesem noch andere Stoffe beigemischt sein sollen. Jedenfalls werde der Dampf von den parenchy-

⁴³Bradley, 1717a, Preface, [S. 5].

⁴⁴Siehe Bradley, 1716, S. 487–489.

⁴⁵Bradley, 1717a, S. 1–8; 1731, S. 1–7; s. a. S. 232.

⁴⁶Bradley ging davon aus, „that there are as many distinct Qualities in the Earth, as there are different Kinds of Plants growing upon it, and that each Plant can only take out of the Earth that Spirit which its Parts are naturally prepared to receive, and leave the others undisturbed“ (Bradley, 1731, S. 442).

⁴⁷Bei der Zersetzung von Dung und anderen organischen Substanzen wird Wärme frei.

matösen Teilen der Pflanzen (Rinde, Blätter, Blüten, Früchte) aufgenommen und trage wesentlich zu ihrem Gedeihen bei, was sich an dem schlechteren Zustand von Topfpflanzen zeige, die allein in einem Zimmer oder auf gepflastertem Boden stünden und nicht vom natürlichen Erdboden umgeben seien.⁴⁸

Bradley vergleicht den Dampf- bzw. Flüssigkeitstransport in den Pflanzen mit einem Destillationsvorgang, bei dem die Pflanze wie ein Alembik wirke, mit dem die „Säfte“ der Erde („Juices of the Earth“) destilliert würden.⁴⁹ Ein weiteres mechanisches Analogon sieht Bradley in der Wasserhebemaschine von Savory, bei der sich die Kraft des Wasserdampfes und der Vorgang der Kondensation bei Abkühlung zeige.⁵⁰

Obwohl Bradley nicht ausdrücklich davon spricht, daß ein Teil der Flüssigkeit, die, nach ihrem Rückfluß in den „Venen“, wieder in der Wurzel angelangt ist, erneut aufsteigt, so wird doch aus dem gesamten Kontext und einigen indirekten Formulierungen deutlich, daß Bradley von einem echten Kreislauf des Saftes, wenn auch unter wechselnden „Aggregatzuständen“, ausging, der dem Blutkreislauf der Tiere entsprach.⁵¹

Die Argumente, auf die Bradley seine Theorie vom Saftkreislauf stützt, sind mehr als dürftig. Sein Hauptargument besteht in der seiner Meinung nach von John Lawrence zum ersten Mal angestellten Beobachtung⁵², daß sich nach Okulieren einer Knospe eines Jasmins mit gelbgestreiften Blättern⁵³ auf einen Jasmin mit normal, d. h. einheitlich grün, gefärbten Blättern die Streifung im Laufe der Zeit auf den gesamten Stock ausdehne, selbst wenn die inokulierte Knospe früh zugrundegehe. Für Bradley ist diese Übertragung der Streifung, die sich mit einer Pockeninfektion, bei der auch über den Blutkreislauf das „Gift“ im ganzen Körper verteilt werde, vergleichen lasse, ein schlagender Beweis für einen Saftkreislauf.⁵⁴ Noch ein weiteres Pfropfexperiment dient Bradley als Argument für die Existenz eines Saftkreislaufs. Nachdem er vier Äste eines alten Zwergbirn-

⁴⁸Bradley, 1718, 3. Teil, S. 102–104; 1731, S. 258–260. Bradley, 1733, S. 18–19; s. a. S. 25–26. Auf die bedeutende Rolle der Luftfeuchtigkeit in der Pflanzenernährung wurde Bradley auch durch seine Studien an sukkulenten Pflanzen aufmerksam; vgl. Bradley, 1733, S. 19.

⁴⁹Bradley, 1717a, S. 4; 1731, S. 4.

⁵⁰Bradley, 1718, 3. Teil, S. 179; 1731, S. 319; s. a. Bradley, 1716, S. 488–489. In seinen *Ten Practical Discourses Concerning the Four Elements, As they Relate to the Growth of Plants* beschreibt Bradley zwar auch Savorys Maschine (1733, S. 33–35), diesmal jedoch ohne den Mechanismus als Erklärungsmodell für den Saftkreislauf heranzuziehen.

⁵¹Siehe z. B. folgende Formulierungen: „I shall proceed to explain, that the Sap Circulates in the Vessels of Plants, [Zusatz 1731: much after the same manner] as the Blood doth in the Bodies of Animals“ (Bradley, 1717a, S. 2–3; 1731, S. 2); „We have observed, that every Plant has a Continuity of Vessels throughout the whole Body, as well adapted to the Circulation of Juices, as any Animal whatever; [...]“ (Bradley, 1733, S. 69–70).

⁵²Blair, 1720, S. 383, machte darauf aufmerksam, nicht Lawrence, sondern Wats in Kensington habe diese Erscheinung zum ersten Mal beobachtet.

⁵³Es handelt sich hierbei um eine sog. Variegationserscheinung, die in diesem Fall durch das Arabismosaikvirus hervorgerufen wird.

⁵⁴Bradley, 1717a, S. 6–7; 1731, S. 5–6. Bradley, 1733, S. 70–71.

baums, dessen Früchte nur wenig größer als Haselnüsse gewesen seien, durch „inarching“ („Ablaktieren“) auf vier junge Birnbäume gepfropft und nach ihrer Verwachsung mit der Unterlage von ihrem Mutterstock getrennt hatte, hätten auch diese Reiser reichlich Früchte getragen, ein Phänomen, das Bradley auf die Zirkulation der „kraftvollen Säfte“ („vigorous Juices“) der jungen Birnbäume in den aufgefropften Ästen des alten Birnbaums zurückführt.⁵⁵

Wie die übrigen Vertreter der Saftkreislauflehre bemühte sich auch Bradley nicht, seine Theorie mit pflanzenanatomischen Kenntnissen adäquat zu untermauern. Zwar erwähnt er Malpighi und Grew⁵⁶, doch zeugen seine Ausführungen von einem ausgeprägten Desinteresse an den Ergebnissen pflanzenanatomischer Forschung. Die von ihm konstatierten „Vessels“ und „Pipes“ lassen sich mit keinen bekannten Gewebeelementen identifizieren, da seine Beschreibung zu unspezifisch und seine Abbildung⁵⁷ eines Quer- und Längsschnittes eines Zweigs eines Apfelbaums viel zu schematisch ist. Aber auch seine pflanzenphysiologischen Experimente, die als Beweis eines Saftkreislaufs gedacht waren, fallen weit hinter die von Perrault und Mariotte durchgeführten Versuche zurück.

Am deutlichsten zeigt sich dies an Bradleys Verweis auf die Verhältnisse in milchsaftführenden Pflanzen,⁵⁸ die ihm als Argument für die Existenz eines Saftkreislaufs dienen. Bradley beschränkt sich auf die Bemerkung, man könne durch Schnitte in die Blätter milchsaftführender Pflanzen die Gefäße, durch die die Milch zur Aufrechterhaltung des Lebens und des Wachstums der Pflanze fließe, erkennen. Hier liegt die Vermutung nahe, daß Bradley – aus welcher Quelle auch immer – Nachricht erhalten hatte von der Rolle, die die milchsaftführenden Pflanzen in der Begründung der Lehre vom Saftkreislauf spielten, ohne daß er jedoch die dazugehörigen Experimente in angemessener Weise rezipierte oder ihre Urheber nannte.

Auch ein weiteres Experiment, das Bradley als „capital Evidence“ für einen Saftkreislauf anführt⁵⁹ und mit dem er zeigte, daß die Wurzeln eines Baumes Zweige treiben und die Äste Wurzeln bilden können, erinnert doch sehr an einen von Leeuwenhoek durchgeführten Versuch.⁶⁰

⁵⁵Bradley, 1733, S. 70.

⁵⁶Bradley, 1717a, S. 2; 1731, S. 2.

⁵⁷Bradley, 1716, Fig. 1.

⁵⁸Bradley, 1731, S. 6.

⁵⁹Bradley, 1733, S. 70.

⁶⁰Bradley beschreibt seinen Versuch folgendermaßen (1733, S. 53–54): „It is necessary, in the first Place, to consider that every Tree consists of two principal Parts, viz. The Root, and the Body. The Business of the Root is to act in the Ground, while the other is to act in the Air: And both these Parts are capable of being alter'd and chang'd, by shifting their Stations. The Roots being expos'd to the Air, will produce Buds, Leaves, Flowers and Fruit; and the Branches, which are now enjoying the Air, being bury'd or lay'd into the Ground, will divert themselves from their present Method of Growth, and produce Roots and Fibers: This is Evident from the Experiment I have publish'd several Years ago [die Publikation konnte nicht aufgefunden werden], relating to the reversing of a Tree; by first laying down the Head of a Tree in the

Bradleys Argumente zugunsten eines Saftkreislaufs sind teilweise verstreut in seinen Arbeiten. Einmal berichtet er von den Erfahrungen einer „Person of Honour“, wonach es genüge, an einer einzigen Stelle in das Holz eines von Insektenlarven befallenen Baumes Quecksilber einzubringen, um den gesamten Baum von den Schädlingen zu befreien. Obwohl er diese Beobachtung selbst nicht experimentell überprüft hatte, hält er sie doch für derart überzeugend, daß er denkt, „there will be no Occasion to dispute the Circulation of Sap in Plants“.⁶¹ An anderer Stelle⁶² folgert er aus seiner Lehre vom Saftkreislauf, eine Erwärmung von einzelnen Teilen einer Pflanze, etwa einer Knospe, während des Winters führe letztlich durch Bewegungsübertragung zu einer Aktivierung des gesamten, normalerweise durch die Winterkälte eingedickten Saftes in der Pflanze, eine Vorstellung, die Jahrzehnte später von Mustel widerlegt wurde.⁶³

An Hand von Ratschlägen für das Umpflanzen von Bäumen versucht Bradley den praktischen Nutzen seiner Saftkreislauflehre aufzuzeigen. Bei der Verpflanzung von Bäumen empfiehlt er,⁶⁴ diesen nicht die Wipfel und Äste abzuschneiden, wie dies bei Waldbäumen gemeinhin praktiziert werde, denn über die beblätterten Äste nehme der Baum Luftfeuchtigkeit auf, die ihn ernähre und die Zirkulation aufrecht erhalte. Erst wenn der Baum an seinem neuen Standort neue Wurzeln gebildet habe, dürfe er gelichtet werden. Bradley ist bei dieser Argumentation entgangen, daß sich ein solches Verfahren nicht zwangsläufig aus dem Vorhandensein eines Saftkreislaufs empfiehlt, sondern sich auch ohne Annahme eines solchen Kreislaufs gute Gründe finden ließen, bei der Verpflanzung von Bäumen so vorzugehen.

Es ist nicht leicht, Bradleys Bedeutung in der Geschichte der Botanik und speziell der Pflanzenphysiologie einzuschätzen. Thomas schreibt:⁶⁵ „Bradley’s botany, as may also be seen from the many [other] works which he published, was the botany of Malpighi, Grew and Hales, and not the botany of Ray“, und Walters fügt diesem Satz erläuternd hinzu: „It is in fact applied and experimental, not systematic and nomenclatural, botany.“⁶⁶ Walters sieht Bradley als einen „pioneer experimental and applied scientist“, „who had the misfortune to be appointed to the Chair of Botany at the wrong time.“⁶⁷ Bradley erweist sich in der

Ground, and letting it so remain till it has taken Root; and then digging up the original Root, and exposing it to the Air, while the Head, which has now taken Root, is capable of nourishing the whole Plant.“ Man vergleiche diese Beschreibung mit dem von Leeuwenhoek in seinem Brief vom 24. August 1688 an die Royal Society geschilderten Experiment (Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil 7, S. 367–373).

⁶¹Bradley, 1718, 3. Teil, S. 73–74; 1731, S. 234–235.

⁶²Bradley, 1731, S. 593–594; Bradley, 1733, S. 65–66.

⁶³Siehe Kap. 7.1.

⁶⁴Bradley, 1733, S. 75–78, 119–121.

⁶⁵Thomas, 1937 (zitiert nach Walters, 1981, S. 23–24).

⁶⁶Walters, 1981, S. 24.

⁶⁷Walters, 1981, S. 27.

Tat als vorausschauender Denker,⁶⁸ der die Bedeutung einer wissenschaftlichen Pflanzenzüchtung erfaßte, wegweisende Beobachtungen zur sexuellen Fortpflanzung der Pflanzen und zur Blütenbestäubung durch Insekten anstellte, interessante Vorschläge zu Vererbungsexperimenten unterbreitete und Ansätze zu einer systematischen Erfassung der verschiedenen Anforderungen der Pflanzen an Standortfaktoren wie Boden und Klima entwickelte. Dennoch kann der enthusiastischen Interpretation Thomas' und Walters' nicht in allen Punkten beige-pflichtet werden. An eigenständigen Experimenten sind die hier herangezogenen Arbeiten Bradleys eher arm. Vielerorts, wo es sich angeboten hätte, verzichtet Bradley auf Experimente. Auf keinen Fall lassen sich seine Studien mit den auf quantitative Exaktheit bedachten Experimenten Hales' oder Woodward's vergleichen. Woodward's Versuche werden von Bradley auch nicht erwähnt, selbst dort, wo er ähnliche Fragestellungen bearbeitete.

Wie deutlich geworden ist, gab sich Bradley keine besondere Mühe, seine Saftkreislauflehre sorgfältig zu begründen, und dies, obwohl es sich dabei um ein „new System of Vegetation“⁶⁹ handeln sollte. Nun war diese Theorie ganz und gar nicht neu, und es erscheint kaum vorstellbar, daß Bradley dies nicht gewußt haben sollte, zumal er sich früher zu Studien auf dem Gebiet des Pflanzenbaus auf dem Kontinent aufgehalten⁷⁰ und somit reichlich Gelegenheit gehabt hatte, von der Saftkreislauftheorie zu erfahren. Weshalb er seine Lehre vom Saftkreislauf dennoch als neu bezeichnete, muß dahingestellt bleiben.

Alles in allem gewinnt man den Eindruck, die Saftkreislauflehre fungiere bei Bradley lediglich als ein Mittel, seinen Ausführungen, die ja mehr auf den praktischen Nutzen für Agri- und Hortikultur abzielen, einen „wissenschaftlichen“ Anstrich zu verleihen, indem ihnen eine Theorie unterlegt wird. Immerhin wirken viele der von Bradley angeführten Beispiele für eine nützliche Anwendung seiner Saftkreislauflehre sehr bemüht und hätten auch ohne diese Theorie erklärt werden können. All dies muß man natürlich vor dem Hintergrund sehen, daß Bradley durch seine in wissenschaftlicher Hinsicht unkonventionelle, in persönlicher Hinsicht Anstoß erregende Art⁷¹ unter einem ständigen Rechtfertigungsdruck stand.

⁶⁸Siehe Thomas, 1952.

⁶⁹Vgl. Bradley, 1717a, Preface, [S. 5]; S. 3, 11; 1731, Preface, [S. 4]; S. 2, 9.

⁷⁰Siehe Walters, 1981, S. 19; vgl. Bradleys Erwähnung seines Besuchs bei Georg Andreas Agricola in Regensburg einige Jahre vor 1717 (Bradley, 1717b, Preface, [S. 4]).

⁷¹Vgl. Pulteney, 1790, Bd. 2, S. 133.

3.3 Patrick Blair

Patrick Blair⁷² erweist sich in seinen viel beachteten „Botanick Essays“ (1720) ebenfalls als Vertreter der Saftkreislauflehre. Die „Botanick Essays“ gehören zu den ersten englischsprachigen Monographien zur Pflanzenphysiologie mit einer ausführlichen Behandlung der sexuellen Fortpflanzung und der Ernährung der Pflanzen. Blairs Ausführungen zum Saftkreislauf lassen den Einfluß Bradleys deutlich erkennen, dessen Ansichten er häufig zitiert, aber im Detail auch kritisiert.

Ähnlich wie Bradley betrachtet auch Blair die Existenz eines Saftkreislaufs als offensichtliche Tatsache, so daß er gar nicht verstehen kann, wie anderen diese Erkenntnis entgangen sein kann:

„This Admission, Reception, and continual Circulation of the nutritive Particles seems to be so very easy and natural to conceive, that I cannot but admire, how, having so fair an Example as that of the Circulation of the Blood in Animals before them, this should have lain so long in the Dark, and hid even from Persons of great Penetration? How much the want of the due Consideration of it has puzzled them, rack'd their Wits, made them run into absurd Notions, and entertain such strange and wonderful Idea's of the Vegetation, is sufficiently to be seen in their elaborate Writings.“⁷³

Aufschlußreich ist auch folgende Äußerung Blairs:

„It may be admir'd how prying and inquisitive Persons should still be so ignorant of the Circulation of the Sap, or Nutritive Juice of Plants, if the World had not remain'd ignorant for many Ages of a Circulation of the Blood in Animals, before the famous Dr. Harvy discovered it. The great Obstacle I suppose, for finding out the same in Plants too, must be the want of a due Consideration of this Analogy, the Inconveniency of dissecting the Succiferous Vessels in Plants; and the Sap being of the same Colour with the Vessels, unless it happen

⁷²Die genauen Lebensdaten Patrick Blairs sind nicht bekannt. Zunächst praktizierte er als Arzt und Chirurg in Dundee. 1706 machte er sich einen Namen als Anatom, als er einen Elephanten, der als Attraktion nach Dundee gebracht werden sollte und auf dem Weg dorthin verendet war, seziierte. Blair schickte einen Bericht über diese anatomische Sektion an die Royal Society, die seine Ausführungen in den *Philosophical Transactions* (Bd. 27, Nr. 326 [1710], S. 53–116; Nr. 327 [1710], S. 117–168; Bd. 30, Nr. 358 [1718], S. 885–898) veröffentlichte. 1712 wurde Blair Fellow der Royal Society. Wegen seines Eintretens für das exilierte House of Stuart wurde er 1715 inhaftiert und 1716 zum Tode verurteilt, jedoch begnadigt, nachdem sich Sir Hans Sloane, Richard Mead und andere für ihn eingesetzt hatten (s. *Sackler Archive Resource* der *Royal Society* [<http://www.royalsoc.ac.uk/DserveA/>]). Danach ging er nach London und später nach Boston in Lincolnshire.

⁷³Blair, 1720, S. 349–350.

sometimes to be milky and white. The Celebrated Malpighi, and the above-nam'd Dr. Grew, though they most accurately enquir'd into, and examined the Structure of all the Parts of the Plants, and curiously delineated them, yet they were still deficient in a right Notion of the Motion of the Sap, though their Dissections, and Means they us'd to discover the Vessels, are no small In-let to the Knowledge of it.“⁷⁴

Wie fast alle Vertreter der Saftkreislauflehre verkannte Blair die Bedeutung solider pflanzenanatomischer Forschung. Aus dem gerade mitgeteilten Zitat wird die entscheidende Rolle der Pflanzenanatomie für die Frage, ob sich jemand für oder gegen die Saftkreislauflehre entschied, deutlich. Nicht – wie Blair dies annimmt – *trotz* ihrer tiefen Einblicke in die Anatomie der Pflanzen blieb Malpighi und Grew der Gedanke eines Saftkreislaufs fremd, sondern eher gerade *weil* sie diese Kenntnisse besaßen.

Blair klammert in seinem Traktat über die Ernährung der Pflanzen wesentliche physikalische und naturphilosophische Fragen bewußt aus. So beschränkt er sich auf eine Aufzählung der wichtigsten Eigenschaften von „Erde“ (als Sammelbegriff für die nach Einäscherung übrigbleibenden festen Bestandteile der Pflanzen), Wasser und Luft, ohne korpuskulartheoretische und allgemeine physikalische Probleme, wie die Frage nach der Ursache der Partikelbewegung, dem Wesen von Wärme, Kälte, Gravitation, Kondensation, Verdünnung, Luftdruck und der Existenz eines Vakuums, zu behandeln, denn „these being Philosophical Questions, do not so properly come in here, where I am to express every thing in the most plain and intelligible manner.“⁷⁵ Desgleichen lehnt er es ab, auf die „Chymical Principles“ näher einzugehen, die verschiedenen Stoffgruppen, aus denen die Tiere und Pflanzen bestehen, zu behandeln oder die einzelnen Geschmacksqualitäten zu erklären.⁷⁶

Auch für Blair ist die beim Jasmin festgestellte Übertragbarkeit von Variationserscheinungen durch Okulieren⁷⁷ ein Hauptargument für den Saftkreislauf.⁷⁸ Ferner beruft er sich auf die Wirkung des Ringelns von Bäumen. So habe Fairchild beobachtet, daß nach Ringeln von Birnbaumästen die Rinde („bark“) oberhalb des Einschnitts stark anschwellt und die behandelten Äste keine neuen Triebe hervorbrächten, dafür aber eine außergewöhnliche Produktion an Blüten und Blättern aufwies.⁷⁹ Erst nachdem durch Nachwachsen von den Wundrändern die Kontinuität der Rinde wiederhergestellt worden sei, seien „Wood-Shoots“

⁷⁴Blair, 1720, S. 331–332.

⁷⁵Blair, 1720, S. 339.

⁷⁶Blair, 1720, S. 340.

⁷⁷Siehe oben, S. 48.

⁷⁸Blair, 1720, S. 383–384, 388.

⁷⁹Zu dieser wohl schon sehr alten Erfahrung, daß sich – modern gesprochen – durch Stauung des Assimilatenstroms eine Steigerung der Blüten- und Fruchtbildung erzielen läßt, vgl. Molisch, 1916, S. 71–78.

gebildet worden und habe die Fruchtbarkeit wieder nachgelassen. Für Blair ist dies ein Zeichen dafür, daß der absteigende Saft, der an der Unterbrechung der Rinde in seiner Bewegung aufgehalten werde, sofort wieder nach oben steige, so daß die Saftzirkulation nicht nur von der Wurzel aus, sondern auch in dem oberhalb der Einschnittstelle befindlichen Astteil aufrechterhalten werde.⁸⁰

Blair geht von einem den gesamten Pflanzenkörper umfassenden Kreislauf aus, postuliert eine Verbindung zwischen den „Tubuli“ der Rinde und des Holzes in den Endgliedern der Pflanze und vergleicht im Anschluß an Bradley die nach oben führenden Gefäße mit Arterien und die nach unten führenden mit Venen.⁸¹ Ungeachtet dieser Übereinstimmung im Prinzipiellen fühlt er sich veranlaßt, die von Bradley aufgestellten Prinzipien der Stoffaufnahme und des Safttransports zu kritisieren. Was die Aufnahme der Nährsalze betrifft, so geschehe diese nicht durch Einsaugen („Suction“) oder Anziehung („Attraction“), denn der Wurzel fehle die nötige Wirkursache (*causa efficiens*), die eine solche Anziehung oder ein solches Aufsaugen bewirken könnte. Statt dessen geht Blair davon aus, daß die „nutritive Particles“, die sich in der Erde befinden, durch die Sonnenwärme in Bewegung versetzt werden, nach oben steigen und, wenn sie auf eine Wurzelspitze mit geeigneten Poren treffen, in diese übertreten.⁸² Ein solches Aufsteigen der Partikel im Erdboden finde kontinuierlich statt, und diejenigen Partikel, die auf keine Wurzel stießen, träten in den Luftraum über.⁸³ Die Wurzelporen stellten die Enden von Röhren dar, und da immer weitere Partikel nachfolgten, drücke eines das andere in den Röhren weiter nach oben.⁸⁴ Bradleys Ansicht, wonach der Aufstieg des Nährsafts in Form von Dampf geschehe, lehnt Blair u. a. mit der Begründung ab, daß das Blut trotz der Körperwärme auch nie in Dampfform im Körper vorkomme.⁸⁵

Das Wachstum der Pflanzen erklärt Blair ohne Rekurs auf chemische Vorgänge wie „Concoction“, „Digestion“ oder „Fermentation“. So würden durch die Poren der einzelnen spezifischen Pflanzenstrukturen nur solche der von der Wurzel aufgenommenen Partikel gelangen, die aufgrund ihrer Größe und Konfiguration für eine Vermehrung der entsprechenden Pflanzenstruktur geeignet seien.⁸⁶ Einige der Partikel, die noch nicht die passende Größe und Gestalt besäßen, würden durch Reibung an den Poren oder in den feineren „Tubuli“ entsprechend umgeformt.⁸⁷

⁸⁰Blair, 1720, S. 386–388.

⁸¹Blair, 1720, S. 366, 388–389.

⁸²Vgl. Mariotte, 1672, S. 122.

⁸³Blair, 1720, S. 341, 350, 366, 402.

⁸⁴Blair, 1720, S. 366–367, 405.

⁸⁵Blair, 1720, S. 403–405.

⁸⁶Blair, 1720, S. 367–371.

⁸⁷Blair, 1720, S. 351–352.

Blair nimmt, wie Bradley, einen echten Kreislauf des Saftes an, bei dem ein Teil der Nährstoffe die Pflanze mehrmals durchläuft.⁸⁸ Eine Verdickung des Saftes und Stagnation der Saftzirkulation im Winter, wie sie Bradley in Analogie zu Tieren mit Winterschlaf annahm,⁸⁹ lehnt Blair ab.⁹⁰ Ferner nimmt Blair zusätzlich zum sich über die gesamte Pflanze erstreckenden Saftkreislauf separate Saftzirkulationen in den Wurzeln mancher Pflanzen sowie einigen Früchten (Melonen, Orangen, Zitronen) an.⁹¹

3.4 Stephen Hales (1677–1761)

Stephen Hales zählt zu den bedeutendsten Vertretern des Newtonismus. Sein Forschungsstil ist gekennzeichnet durch die überragende Bedeutung, die er dem Experiment⁹² und der quantitativen Erfassung der Naturphänomene⁹³ beimißt. Auf theoretischer Ebene erweist er sich als Vertreter einer „dynamischen Korpuskulartheorie“, wonach die Korpuskeln, aus denen die Materie bestehen soll, mit Attraktions- und Repulsionskräften ausgestattet seien. Hales übertrug die Prinzipien Newtonscher Naturphilosophie und Physik auf die Phänomene der belebten Natur. Beispielhaft für dieses Vorgehen ist seine Deutung des Aufbaus der Pflanzen:

„We find by the chymical analysis of vegetables, that their substance is composed of sulphur, volatile salt, water and earth; which principles are all endued with mutually attracting powers, and also of a large portion of air, which has a wonderful property of strongly attracting in a fixt state, or of repelling in an elastick state, with a power which is superior to vast compressing forces, and it is by the infinite combinations, action and re-action of these principles, that all the operations in animal and vegetable bodies are effected.“⁹⁴

Charakteristisch für Hales ist, daß „he does not examine the metaphysical details of his Newtonianism. Accepting both particles and forces without question,

⁸⁸Blair, 1720, S. 351–352, 367, 408.

⁸⁹Bradley, 1716, S. 487; Ders., 1717a, S. 7. Später ging Bradley nicht mehr von einer vollständigen Stagnation der Saftzirkulation im Winter aus, sondern – vielleicht unter dem Einfluß Blairs – nur noch von einer starken Verlangsamung (Bradley, 1731, S. 593–595).

⁹⁰Blair, 1720, S. 367, 406–407.

⁹¹Blair, 1720, S. 358, 407–408.

⁹²„For the wonderful and secret operations of Nature are so involved and intricate, so far out of the reach of our senses, that it is impossible for the most sagacious and penetrating genius to pry into them, unless he will be at the pains of analysing Nature, by a numerous and regular series of Experiments; which are the only solid foundation whence we may reasonably expect to make any advance, in the real knowledge of the nature of things.“ (Hales, 1969 [1727], S. xxviii; vgl. S. 94.)

⁹³Vgl. Hales, 1969 [1727], S. xxxi–xxxii.

⁹⁴Hales, 1969 [1727], S. 182.

Hales was concerned with their application to the understanding of experimental practice.“⁹⁵

Hales trat 1696 in das Corpus Christi College der Universität Cambridge ein, um Theologie zu studieren. Obwohl Newton seit 25 Jahren den „Lucasian Chair of Mathematics“ innehatte, war Cambridge zu dieser Zeit alles andere als eine Hochburg des Newtonismus.⁹⁶ Wenn in Cambridge überhaupt Naturphilosophie gelehrt wurde, so war es die Cartesische. Hinzu kam, daß Newtons mathematische Naturphilosophie, wie er sie in seinen *Principia mathematica philosophiae naturalis* dargelegt hatte, auf erhebliche Verständnisschwierigkeiten stieß. So bemerkte sein Amanuensis, daß „so few went to hear Him [Isaac Newton], and fewer yet understood him, yt oftimes he did in a manner for want of Hearers, read to ye walls“.⁹⁷ Diese schwache Position des Newtonismus in Cambridge sollte sich in den folgenden Jahren jedoch tiefgreifend ändern. Mit den von Richard Bentley, dem Master of Trinity College, betriebenen Berufungen des Newton-Schülers William Whiston auf den „Lucasian Chair“ im Jahre 1703⁹⁸ als Nachfolger Newtons sowie Roger Cotes' als „foundation Plumeian Professor“ der Astronomie und Naturphilosophie im Jahre 1705 erhielt der Newtonismus in Cambridge einen völlig neuen Stellenwert. Forciert wurde diese Entwicklung durch die Veröffentlichung von Newtons „Opticks“ 1704 und 1706 in einer erweiterten, lateinischen Ausgabe, denn nun stand eine leichter verständliche und die gesamte Naturforschung abdeckende Darstellung der Newtonschen Naturphilosophie zur Verfügung.

Schofield hält es für wahrscheinlich, daß sich Hales erst in der Zeit zwischen seiner Erlangung des M. A. im Jahre 1703 und seiner Abreise von Cambridge im Januar 1709 nach Teddington, wo er zum „curate“ ernannt und zum Priester geweiht wurde, eine intensivere Kenntnis der Newtonschen Experimentalphilosophie und ihrer Hauptvertreter auf physiologischem (James Keill) und chemischem Gebiet (John Keill, John Freind) aneignete.⁹⁹ Aus den Erinnerungen Stukeleys, eines Studienfreundes von Hales, wissen wir, daß beide die „Hydrostatical and Pneumatical Lectures“, die Whiston und Cotes seit 1707 anboten, besucht haben.¹⁰⁰ Unzweifelhaft entnahm Hales diesen mit Experimenten erläuterten Vorlesungen Anregungen für seine eigenen Versuche zur Hämodynamik.¹⁰¹

Welchen Einflüssen Hales speziell auf botanischem Gebiet ausgesetzt war, läßt sich nicht leicht eruieren. Hales kennt natürlich die pflanzenanatomischen Werke Malpighis und Grews, macht von ihnen jedoch in den *Vegetable Staticks* keinen inhaltlichen Gebrauch, sondern beschränkt sich auf eine kurze Erwähnung der

⁹⁵Allan/Schofield, 1980, S. 15.

⁹⁶Zur Entwicklung des Newtonismus in Cambridge s. Schofield, 1970; Allan/Schofield, 1980, S. 10–19; Gascoigne, 1984; James, 1985; Force, 1985.

⁹⁷King's College, Cambridge, Keynes Collection MS. 135, zitiert nach Gascoigne, 1984, S. 2.

⁹⁸Gascoigne, 1984, S. 15–16.

⁹⁹Allan/Schofield, 1980, S. 11–12. Zu James Keills Einfluß auf Hales s. ebd., S. 18–19.

¹⁰⁰Force, 1985, S. 15.

¹⁰¹Vgl. hierzu James, 1985.

Leistungen dieser Pioniere der Pflanzenanatomie.¹⁰² In seinem Vorwort zu den *Vegetable Staticks* grenzt er allerdings seine quantitativ ausgerichtete Pflanzenphysiologie, seinen „statical way of inquiry“ (s. u.), deutlich von den pflanzenanatomischen Forschungen Malpighis und Grews ab.¹⁰³ Auffallend ist, daß Hales Rays Arbeiten mit keinem Wort erwähnt.

Besonders vertraut scheint Hales mit Philip Millers *Gardner's Dictionary* (Ausgabe von 1711) gewesen zu sein, aus dem er mehrmals zitiert.¹⁰⁴ Ferner referiert er Millers Experimente zur Transpiration verschiedener exotischer Pflanzenarten (s. u.). Hieran zeigt sich bereits, daß die Halesschen pflanzenphysiologischen Forschungen auch vor dem Hintergrund des massiven zeitgenössischen Interesses an Möglichkeiten der Verbesserung der Landwirtschaft und des Gartenbaus gesehen werden müssen, ein Aspekt, der bisher zu wenig berücksichtigt wurde. Hales besaß ein reges Interesse, aus den durch naturwissenschaftliche Forschung gewonnenen Ergebnissen und Erkenntnissen einen Nutzen für die Allgemeinheit zu ziehen. In seinem Vorwort zu den *Vegetable Staticks* spricht er auch den nutzbringenden Effekt pflanzenphysiologischer Forschung an:

„As the art of Physick has of late years been much improved by a greater knowledge of the animal œconomy; so doubtless a farther insight into the vegetable œconomy must needs proportionably improve our skill in Agriculture and Gardening, which gives me reason to hope, that inquiries of this kind will be acceptable to many, who are intent upon improving those innocent, delightful, and beneficial Arts: Since they cannot be insensible that the most rational ground for Success in this laudable pursuit must arise from a greater insight into the nature of Plants.“¹⁰⁵

Eine solche Äußerung ist wohl nicht als eine reine *captatio benevolentiae* aufzufassen, sondern muß vor dem Hintergrund zahlloser Traktate gesehen werden, in denen in oft dilettantischer Weise Fragen der Pflanzenernährung und des -stoffwechsels behandelt wurden. So verwundert es nicht, daß Hales am Ende seines Werkes ausführlich auf die Bedeutung seiner experimentellen Befunde für die Landwirtschaft eingeht¹⁰⁶ und abschließend bemerkt:

„I have here, and as occasion offered under several of the foregoing Experiments, only touched upon a few of the most obvious instances, wherein these kind of researches may possibly be of service in giving us useful hints in the culture of plants: Tho' I am very sensible, that it

¹⁰²Vgl. Hales, 1969 [1727], S. xxv, 198.

¹⁰³Hales, 1969 [1727], S. xxv–xxvi.

¹⁰⁴Hales, 1969 [1727], S. 8, 27, 72.

¹⁰⁵Hales, 1969 [1727], S. xxvi–xxvii; vgl. Hales, 1969 [1727], S. 204–205.

¹⁰⁶Hales, 1969 [1727], S. 205–214.

is from long experience chiefly that we are to expect the most certain rules of practice, yet it is withal to be remembred, that the likeliest method to enable us to make the most judicious observations, and to put us upon the most probable means of improving any art, is to get the best insight we can into the nature and properties of those things which we are desirous to cultivate and improve.“¹⁰⁷

3.4.1 Stephen Hales' Pflanzenphysiologie

Nach eigenem Bekunden in seinen *Vegetable Staticks* von 1727 führte Hales bereits ca. 1707 „haemastatical Experiments“ an Hunden durch, Versuche, die er sechs Jahre später an Pferden und anderen Tieren wiederholte. Es handelte sich um Experimente zur Feststellung der Kraft, mit der das Blut in den Arterien vorangetrieben wird, d. h. Experimente zum Blutdruck. Zur selben Zeit habe Hales gehofft, ähnliche Experimente zur Feststellung der Kraft, mit der der Saft in den Pflanzen bewegt werde, durchzuführen, doch ohne Erfolg. Nur durch Zufall sei er ca. 1720 auf den richtigen Gedanken gekommen, als er versuchte, das „Bluten“ eines alten Weinstocks, der während der Blutungssaison gefällt wurde, zu stillen, da er befürchtete, der Weinstock würde aufgrund des Blutungssaftverlustes eingehen. Nach vergeblichen Versuchen mit anderen Mitteln band er schließlich ein Stück Blase über den Stumpf und stellte fest, daß der Saft die Blase beträchtlich ausdehnte. Daraus schloß er, man könne die Kraft, mit der der Saft aufsteige, feststellen, indem man eine lange Glasröhre auf den Stumpf befestige, in die der Saft eintrete, wobei die Höhe, die der Saft in der Röhre erreiche, ein Maß wäre für den Druck, genauso, wie er dies bei seinen Experimenten zur Feststellung des Blutdrucks machte, bei denen er das aus den geöffneten Arterien schießende Blut in senkrechte Glasröhren umleitete. Damit war der Anfang einer Reihe von verschiedenen aufschlußreichen Experimenten zur Saftbewegung gemacht.¹⁰⁸

Die erste erhaltene Nachricht von einem öffentlichen Auftreten Hales' als Naturforscher besitzen wir in einer Bemerkung im *Journal Book* der Royal Society, wonach Hales am 5. März 1718/19 den Präsidenten der Akademie informierte „that he had lately made a new Experiment upon the Effect of the Sun's warmth in raising the Sap in trees“ und der Royal Society einen Vortrag zu diesem Thema hielt. Es wird berichtet, man habe ihm gedankt und ihn eindringlich gebeten, seine Experimente fortzusetzen.¹⁰⁹ Aus den Ausführungen in den *Vegetable Staticks* läßt sich nicht erschließen, wovon Hales' Bericht von 1718/19 handelte.¹¹⁰

¹⁰⁷Hales, 1969 [1727], S. 214.

¹⁰⁸Siehe zu diesem Absatz Hales, 1969 [1727], S. xxvi (die Ausführungen Hales' wurden stellenweise durch Erläuterungen ergänzt).

¹⁰⁹*Royal Society Journal Book*, 1714–20, S. XII, 289 (nach Clark-Kennedy, 1929, S. 59); vgl. Allan/Schofield, 1980, S. 30.

¹¹⁰Allan/Schofield, 1980, S. 31.

Die von Hales in den *Vegetable Staticks* beschriebenen Experimente brauchen hier nicht im einzelnen referiert zu werden, zumal sie in der Sekundärliteratur bereits des öfteren beschrieben wurden¹¹¹. Hier sollen sie nur insoweit näher betrachtet werden, als ihre Resultate für Hales' Diskussion der Saftkreislauftheorie relevant sind.

Hales geht in seinen *Vegetable Staticks* sehr methodisch vor und behandelt zunächst Experimente zur Feststellung der Menge der von verschiedenen Pflanzen verdunsteten Flüssigkeit, danach versucht er, die Kraft zu bestimmen, mit der die Bäume Wasser aufsaugen. Ein weiteres Kapitel behandelt die „Kraft“, mit der der Blutungssaft des Weins austritt. Das vierte Kapitel schließlich handelt von der Bewegung des Saftes innerhalb der Pflanzen und diskutiert die Saftkreislauflehre.

Die Haleschen quantitativen pflanzenphysiologischen Experimente, sein „statical way of inquiring into the nature of Plants“, können als eine Übertragung der Forschungen zur „animal oeconomy“ auf die Verhältnisse in Pflanzen betrachtet werden.¹¹² Die „animal oeconomy“, die quantitative Tierphysiologie, oder zumindest der Versuch einer solchen, wie sie von zahlreichen britischen Iatrophysikern unter dem Einfluß der quantitativen Ausrichtung Newtonscher Naturforschung betrieben wurde,¹¹³ stand in der Tradition der von Santorio Santorio (1561–1636) begründeten quantitativen Forschungen zur Stoffaufnahme und -abgabe im Menschen, der sog. „medicina statica“.

Hales bestimmte zunächst die von verschiedenen Pflanzen (Sonnenblume, Kohl [„Cabbage plant“], Wein) über einen bestimmten Zeitraum verdunstete Menge an Wasser, indem er die Pflanzen samt Topf sowie das zugeführte Wasser täglich wog unter Berücksichtigung der durch den Topf hindurch verdunsteten Wassermenge. Auffallend ist, daß er keine Angaben zu der Beschaffenheit des Wassers macht, z. B. woher es stammt, ob es gefiltert wurde etc., doch geht es Hales hier nicht um die Frage, ob die Pflanzen hauptsächlich von Wasser oder Erde ernährt werden, sondern allein um eine quantitative Bestimmung der Transpiration und der Geschwindigkeit des Wassertransports in verschiedenen Pflanzenarten. Neben seinen eigenen Experimenten teilt Hales die von Philip Miller (1691–1771), dem Chelsea-Gärtner, an einer Platane, einer Aloe und einem Paradiesapfelbaum gewonnenen Daten mit und verweist auf Woodward's Untersuchungen.¹¹⁴ Nach diesen indirekten Versuchen zur Bestimmung der aufgenommenen Wassermenge geht Hales zu Experimenten über, die ein direktes Ablesen der aufgenommenen Wassermenge erlauben. So befestigte er mit Wasser gefüllte Glasröhren an abge-

¹¹¹Siehe besonders Baldini, 1998.

¹¹²Siehe Hales, 1969 [1727], Preface.

¹¹³Vgl. Allan/Schofield, 1980, S. 49; Schofield, 1970, Kap. 3; Brown, 1968.

¹¹⁴Hales, 1969 [1727], S. 1–16. Alle diese Experimente können nur eine ungefähre Vorstellung vom Wasserumsatz der Pflanze vermitteln, da z. B. die über die Luft aufgenommenen Stoffe nicht berücksichtigt werden. Hales dürfte sich dessen bewußt gewesen sein, machte er doch die Entdeckung, daß gasförmige Bestandteile der Luft in gebundenem Zustand in die Pflanzen inkorporiert werden.

schnittene Zweige verschiedener Bäume und Sträucher oder stellte sie in Behälter mit Wasser, um die Menge des aufgesaugten Wassers zu bestimmen. Hales beobachtete, daß beblätterte Zweige erheblich mehr Wasser aufsaugen als unbeblätterte¹¹⁵ und die „perspiration“ an Regentagen stark abnimmt¹¹⁶. Einen ersten Eindruck von der Kraft, mit der das Wasser von den Zweigen eingesogen wird, vermittelte ein Experiment, bei dem 7 und 9 Fuß hohe Wassersäulen deutlich weniger Wasser durch einen Zweig treiben konnten als es aufgrund natürlicher Transpiration durch die Blätter geschieht.¹¹⁷ Zu einer genaueren quantitativen Bestimmung der „imbibing power“ befestigte er einen Glaszylinder (Durchmesser 1 Inch, Länge 8 Inches), der mit einer Glasröhre (Durchmesser 1/4 Inch, Länge 18 Inches) verbunden war, luftdicht an einen abgeschnittenen Zweig eines Apfelbaums, hielt beide senkrecht, füllte den Zylinder und die Röhre vollständig mit Wasser und tauchte sie danach umgehend, unter möglichster Vermeidung jeglichen Lufteintritts, in einen Eimer mit Quecksilber. Der Ast sog das Wasser kräftig ein, so daß das Quecksilber in einer halben Stunde um 5 3/4 Inches in der Röhre anstieg. Bei starkem Sonnenschein stieg das Quecksilber am höchsten.¹¹⁸

Den Mechanismus des Saftaufstiegs stellt sich Hales folgendermaßen vor:¹¹⁹ Über die Blätter werden, bedingt durch die Sonnenwärme, beträchtliche Mengen an Wasser transpiriert. Dieser Flüssigkeitsverlust ermöglicht ein Nachrücken von neuem Saft in den Gefäßen der Pflanze. Die kapillaren Saftgefäße seien zwar, abgesehen von der Blutungssaison, kaum in der Lage, aktiv Saft in größeren Mengen voranzutreiben („protrude“),¹²⁰ aber sie seien imstande, aufgrund der kapillaren Anziehung, die sie auf die Flüssigkeiten ausübten, neuen Saft aufzunehmen und damit die Transpirationsverluste auszugleichen. Der Safttransport werde ferner durch die „brisk undulations and vibrations“, die durch die Sonnenwärme hervorgerufen würden, unterstützt. Ohne die Transpiration würde die Saftbewegung trotz der kapillaren Anziehung, die umso größer sei, je geringer der Gefäßdurchmesser sei, stagnieren, da die mit Flüssigkeit gesättigten Gefäße keine weitere Feuchtigkeit aufnehmen könnten. Aufgrund der zentralen Rolle der Transpiration durch die Blätter spricht Hales oftmals verkürzt davon, daß die Blätter die Nahrung nach oben ziehen („draw [up]“).

¹¹⁵Hales, 1969 [1727], S. 16–17, Exper. VII; S. 18, Exper. IX; S. 23, Exper. X.

¹¹⁶Hales, 1969 [1727], S. 23, Exper. X.

¹¹⁷Hales, 1969 [1727], S. 22–24, Exper. X–XI.

¹¹⁸Hales, 1969 [1727], S. 44–46, Exper. XXII. Hales wiederholte dieses Experiment an verschiedenen Pflanzen und fand unterschiedliche Werte für den Quecksilberanstieg (zwischen 0 und 6 Inches; s. Hales, 1969 [1727], S. 52–53, Exp. XXXI). Baldini (1998, S. 107–109) berechnete die zugrundeliegenden negativen Drücke, die deutlich unter den zu erwartenden liegen. Es ist naheliegend, anzunehmen, daß bei den Haleschen Experimenten Luft eindrang, etwa dadurch, daß Röhre, Zylinder und Zweig nicht luftdicht verbunden waren oder schon vorher durch die Schnittwunde in die Tracheen des Zweiges Luft eintrat bzw. später beim Eintauchen der Röhre in den Eimer mit Quecksilber.

¹¹⁹Hales, 1969 [1727], S. 37, 56, 59, 77–78, 82.

¹²⁰Hales, 1969 [1727], S. 25–26, Exper. XIII–XV.

Hales berücksichtigt in der Berechnung der Geschwindigkeit des Safttransports auch die Möglichkeit, daß der Saft in Dampfform aufsteigt.¹²¹ An anderer Stelle gibt er zu bedenken, die „sap vessels“ seien so fein, daß sie die Flüssigkeit nur in nahezu Dampfform aufnehmen könnten.¹²² Die Frage, in welchen Teilen der Pflanze der Saftaufstieg stattfindet, behandelt Hales nicht unmittelbar. Seine Ansicht hierzu ergibt sich aus eher beiläufigen Bemerkungen. So leitet er aus einigen Experimenten und Beobachtungen, aber auch Mutmaßungen, ab, der Saft steige in der Rinde sowie zwischen Holz und Rinde auf.¹²³ In einem anderen Experiment waren die Bedingungen so gewählt, daß das Wasser durch die innerste Holzschicht aufsteigen mußte, wie Hales hervorhob.¹²⁴ Hales sah es wohl als selbstverständlich an, daß der Saft auch im Holz aufsteigt bzw. zumindest dazu in der Lage ist, wenn keine Rinde mehr vorhanden ist. Mit anderen Worten, Hales ist wohl davon ausgegangen, daß das von den Wurzeln aufgenommene Wasser im Holz und in der Rinde sowie zwischen diesen beiden Schichten aufsteigt.

Ein Spezifikum der Halesschen Auffassung von der Saftbewegung ist die Annahme, der Saft bewege sich in den Gefäßen entsprechend den wechselnden Temperatur- und Witterungsverhältnissen alternierend auf und ab.¹²⁵ Ausgehend von der Beobachtung eines im Rhythmus von Tag und Nacht alternierenden Hervor- und Zurücktretens des Safts „blutender“ Weinstöcke übertrug Hales diese Befunde generell auf die Saftbewegung in Bäumen.

Neben dem Wasser mißt Hales der Luft eine zentrale Bedeutung für die Ernährung der Pflanzen zu. Die Luft werde von den Pflanzen über die Wurzeln, Rinde und Blätter aufgenommen¹²⁶ und belebe („enlivening“, „invigorating“) nicht nur in gasförmiger Form die verschiedenen Säfte, sondern werde auch in beträchtlichem Maße in die vegetabilische Substanz inkorporiert.¹²⁷ Hales' *Vegetable Staticks* sind ja nicht nur für die darin enthaltenen pflanzenphysiologischen Experimente, sondern auch für den experimentellen Nachweis berühmt, daß „Luft“ nicht nur im „elastischen“ (d. h. gasförmigen) Zustand vorkommt, sondern auch Bestandteil fester Körper, „fixiert“ werden kann, und sich diese verschiedenen Zustandsformen ineinander überführen lassen.

¹²¹Hales, 1969 [1727], S. 9.

¹²²Hales, 1969 [1727], S. 74.

¹²³Hales, 1969 [1727], S. 74–75, 77, 82.

¹²⁴Hales, 1969 [1727], S. 73 (s. a. unten). Vgl. auch die Experimente 27 und 45, in denen Hales Äste verwendete, deren Rinde eine bestimmte Strecke weit ringförmig entfernt worden war (Hales, 1969 [1727], S. 50–51, 75). Aus diesen Versuchen ließe sich ebenfalls auf einen Wassertransport im Holz schließen.

¹²⁵Hales, 1969 [1727], S. 78–79, 84.

¹²⁶Hales, 1969 [1727], S. 51–52, 58, 67, 85–89, 139–140, 187, 204. Die meisten der von Hales zur Frage der Aufnahme von Luft durch die Pflanzen durchgeführten Experimente sind nach heutigem Kenntnisstand nicht aussagekräftig, da die von ihm beobachteten bzw. hervorgerufenen Luftein- und austritte nicht den natürlichen Bedingungen entsprechen.

¹²⁷Hales, 1969 [1727], S. 140, 166, 176–180, 182, 204.

Die Pflanzen nehmen laut Hales aber nicht nur „elastick air“ auf, sondern entnehmen der „Luft“ auch bestimmte darin enthaltene Nährstoffe. So saugten („imbibe“) die Blätter Tau und Regen auf, die Salz und Schwefel enthielten. Im Anschluß an gängige Vorstellungen seiner Zeit nimmt Hales an, die Luft enthalte „acid and sulphureous particles“, die zusammen mit der gasförmigen Luft unterschiedliche, der Pflanzenernährung äußerst dienliche Kombinationen eingingen, aus denen dann die „more subtile and refined principles of vegetables“ gebildet würden. Das so feine Fluidum Luft sei ein für die Hervorbringung der „more exalted principles of vegetables“ geeigneteres Medium als der gröbere, wäßrige Pflanzensaft. Die Blätter übten somit eine ähnliche lebenserhaltende Funktion wie die Lungen in den Tieren aus, auch wenn natürlich aufgrund des Fehlens eines Thorax die In- und Expirationen der Pflanzen nicht so häufig wie bei den Tieren und von den Temperaturwechseln abhängig seien.¹²⁸

3.4.2 Hales' Diskussion der Saftkreislauflehre

Hales behandelt, wie sich im folgenden zeigen wird, die Saftkreislauflehre relativ ausführlich. Daran zeigt sich, daß es sich zu seiner Zeit um eine durchaus verbreitete Vorstellung gehandelt haben muß. Darauf deutete ja bereits die Selbstverständlichkeit, mit der Blair und Bradley diese Theorie vorgetragen haben. Gleich in der Deutung seines ersten Experiments, bei der Berechnung der Geschwindigkeit der Saftbewegung, fühlt sich Hales bemüßigt, die Saftkreislauflehre zu berücksichtigen und einschränkend zu bemerken: „supposing there be no circulation nor return of the sap downwards“.¹²⁹

Hales zeigt zunächst, daß auch eine laterale Bewegung des Saftes im Stamm möglich ist. So nahm er an einem abgeschnittenen Eichenzweig von 6 Fuß Länge mit einem Durchmesser von $\frac{7}{8}$ Inches 7 Inches über dem Stumpf einen Einschnitt vor, der bis zum Mark reichte, und 4 Inches darüber einen weiteren, der um 180 Grad gegenüber dem ersten versetzt war. Dennoch verlor der Zweig dadurch nicht seine Fähigkeit, Wasser einzusaugen, was sich nur unter der Annahme erklären ließ, daß der Saft auch in lateraler Richtung bewegt wird bzw. werden kann.¹³⁰ Ferner wiederholte bzw. berücksichtigte Hales die hinlänglich bekannten Experimente, mit denen gezeigt werden konnte, daß die Transportrichtung des Saftes auch umgekehrt werden kann und auch die Blätter in der Lage sind,

¹²⁸Hales, 1969 [1727], S. 184–186.

¹²⁹Hales, 1969 [1727], S. 4.

¹³⁰Hales, 1969 [1727], S. 69–70, Exper. XL. Aufgrund früherer Experimente konnte Hales davon ausgehen, daß aus den Schnitten keine nennenswerten Mengen von Saft evaporierten (s. Hales, 1969 [1727], S. 25–26, Exper. XIII–XIV). Andernfalls wäre das Experiment nicht aussagekräftig gewesen, denn es hätte die Möglichkeit bestanden, daß das eingesogene Wasser bereits an der ersten Kerbe verdunstet, so daß das bloße Einsaugen von Wasser kein Zeichen für einen Transport desselben über den ersten Einschnitt hinaus gewesen wäre.

Feuchtigkeit aufzunehmen und an den Pflanzenkörper weiterzugeben.¹³¹ In diesem Zusammenhang erwähnt er Perrault namentlich.

Die weiteren Experimente Hales' zielen direkt darauf ab, ein Absteigen des Saftes zu widerlegen. Um die Ansicht, wonach der Saft in der jüngsten Holzschicht sowie in der Rinde absteigt, zu überprüfen, entfernte Hales vom unteren Ende eines Apfelbaumzweigs auf einer Länge von 3 Inches die Rinde sowie den jüngsten Holzring. Zusätzlich schnitt er 12 Inches oberhalb des unteren Endes eine Kerbe durch die Rinde und die jüngste Holzschicht in den Ast. Nachdem er den Zweig derart präpariert hatte, tauchte er ihn mit dem Ende in Wasser ein. Wegen der Entfernung der Rinde und der jüngsten Holzschicht konnte das Wasser nur in den innersten Holzschichten aufsteigen. Hales stellte nun die Überlegung an, daß, gesetzt den Fall, das Wasser würde im jüngsten Holzring oder zwischen Holz und Rinde bzw. in der Rinde selbst absteigen, der obere Rand der Kerbe feucht werden müsse. In Wirklichkeit blieb dieser Rand aber trocken, während der untere Rand nach einer halben Stunde deutlich feuchter war als vorher.¹³²

Hales' Drang, das Vorkommen eines absteigenden Saftes unter allen Umständen zu widerlegen, führt ihn schließlich dazu, auch die nach Ringelung von Ästen oder Stämmen geläufige Erscheinung der Wulstbildung an den oberen Wundrändern ohne Annahme eines absteigenden Saftes zu erklären.¹³³ Dabei schoß er über das Ziel hinaus, denn, wie Duhamel du Monceau richtig erkannte,¹³⁴ bedeutet die Annahme eines absteigenden Saftes nicht gleichzeitig die Annahme der Zirkulationstheorie.¹³⁵

Als eines der Hauptargumente gegen einen Saftkreislauf dient Hales der Einwand, man könne sich kaum den hierfür nötigen Mechanismus und die treibende Kraft vorstellen. Während beim Saftaufstieg die durch die Sonnenwärme bedingte Transpiration der Blätter und die kapillare Anziehung der Saftgefäße, unterstützt durch die bewegende Wirkung der Sonnenwärme auf den Saft, die treibenden Kräfte darstellten (s. o.), schieden diese Ursachen für eine Erklärung eines Saftabstiegs aus. Würde der Abstieg des Saftes durch eine „trusion“ oder „pulsion“ geschehen, so müßte man am oberen Ende von Einschnitten Saft austreten sehen, dies war jedoch in entsprechenden Experimenten nie der Fall (s. o.). Es käme also nur eine sehr starke Anziehungskraft¹³⁶ in Frage, die den Saft absteigen ließe. Es sei jedoch nur schwer vorstellbar, was dies für eine Kraft sein und

¹³¹Hales, 1969 [1727], S. 70–72.

¹³²Hales, 1969 [1727], S. 73–74.

¹³³Hales, 1969 [1727], S. 81–82.

¹³⁴Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 105–106.

¹³⁵Auch Mustel vermutete, daß Hales nur deshalb so entschieden das Vorkommen eines absteigenden Saftes abgelehnt habe, „parce que les sectateurs du système de la circulation de la seve, qu'il [Hales] a niée formellement, en faisoient leur principale preuve: mais en admettant la seve descendante, cela ne conclut pas en leur faveur“ (Mustel, 1781, S. 183).

¹³⁶Hales zeigte in Experiment X und XI, daß selbst eine sieben oder neun Fuß hohe Wassersäule nur wenig Saft durch die Gefäße zu treiben vermag. Daraus konnte er schließen, daß die entsprechende Anziehungskraft sehr stark sein müßte.

wo sie lokalisiert sein solle, die dem durch die Transpiration der Blätter bewirkten Mechanismus des Saftaufstiegs gleichkommen könnte.¹³⁷

Ferner gibt Hales zu bedenken, daß angesichts der beträchtlichen Mengen an aufgenommenem und wieder transpiriertem Wasser die Geschwindigkeit der Saftbewegung sehr groß sein müßte, wenn der meiste Teil des Safts nach seinem Aufstieg zunächst wieder absteigen und erst danach erneut aufsteigen würde.¹³⁸ Das Fehlen eines Saftkreislaufs sei einigermäßen kompensiert durch die im Vergleich zu den Tieren um ein vielfaches größere Menge an aufgenommener Flüssigkeit.¹³⁹

Ein Hauptargument für das Vorhandensein eines Saftkreislaufs bestand darin, daß ohne eine Saftzirkulation nicht genügend Zeit für eine Verarbeitung des Saftes zur Verfügung stehe. Hales wendet dagegen ein, der Vorgang der Ernährung („nutrition“) finde, nachdem die Nahrung in die Venen und Arterien übergegangen sei, bei den Tieren hauptsächlich in den feinen Kapillargefäßen statt, in denen die für die verschiedenen Bedürfnisse passenden „nutritious particles“, die in der Flüssigkeit ursprünglich getrennt vorlägen, ausgewählt und kombiniert würden. Nun beständen die Pflanzen ja aus lauter feinen, kapillaren Gefäßen und drüsigen Bläschen, so daß bei ihnen der Ernährungsprozeß auch ohne einen Kreislauf von-statten gehen könne.¹⁴⁰

Alles in allem kommt Hales zu dem Schluß:

„Upon the whole, I think we have, from these experiments and observations, sufficient ground to believe that there is no circulation of the sap in vegetables; notwithstanding many ingenious persons have been induced to think there was, from several curious observations and experiments, which evidently prove, that the sap does in some measure recede from the top towards the lower parts of plants, whence they were with good probability of reason induced to think that the sap circulated.“¹⁴¹

Als „likeliest method effectually and convincingly to determine this difficulty, whether the sap circulates or not“, erscheint Hales die „ocular inspection, if that could be attained“. Angesichts der beträchtlichen Mengen an aufgesogener und transpirierter Flüssigkeit hält Hales es für denkbar, die Saftbewegung in durchsichtigen Blattstielen direkt mit dem Mikroskop zu beobachten, wobei er davon ausgeht, daß man dann, gemäß seiner eigenen Anschauung, eine entsprechend den Temperaturwechseln von Tag und Nacht alternierende Bewegung des Saftes in ein und denselben Gefäßen feststellen könne.¹⁴²

¹³⁷Hales, 1969 [1727], S. 78.

¹³⁸Hales, 1969 [1727], S. 77.

¹³⁹Hales, 1969 [1727], S. 77.

¹⁴⁰Hales, 1969 [1727], S. 83.

¹⁴¹Hales, 1969 [1727], S. 83.

¹⁴²Hales, 1969 [1727], S. 83-84.

Für Hales' Ablehnung der Saftkreislauflehre dürften nicht nur rein experimentelle Befunde eine Rolle gespielt haben. Schofield schreibt:¹⁴³

„Throughout this early part of his work [Hales, 1969 [1727], Kap. 1–3] Hales has assumed that sap does not circulate in plants. This ‘assumption’ is so necessary to his statical computations, that he may have demonstrated, experimentally, the lack of circulation at an early state of his investigations; [...]“

Diese Deutung ist jedoch zu weitgehend. Hales hätte seine „statical computations“ auch unter Annahme eines Saftkreislaufs durchführen können. Gemessen wurde ja stets nur die Menge des aufgenommenen Wassers. Ob dieses oder zumindest ein Teil davon erst noch einige Umläufe in der Pflanze durchmacht, bevor es endgültig transpiriert wird, oder ob es sofort wieder transpiriert wird, ist für diese Messungen ohne Belang. Auch Hales' prinzipiell korrekte Deutung des Mechanismus des Saftaufstiegs als Wirkung eines Transpirationsssogs bleibt von der Annahme eines Saftkreislaufs unberührt. Eine Auswirkung ist jedoch bei der Berechnung der Geschwindigkeit der Saftbewegung zu konstatieren. Wie Hales selbst gegen die Saftkreislauflehre einwendet (s. o.), wäre angesichts der beträchtlichen Mengen an transpiriertem Wasser die Geschwindigkeit des Saftes unter Annahme einer Zirkulation bedeutend größer als unter Annahme eines einfachen Aufstiegs. Vielleicht befürchtete Hales, die damit verbundene erhöhte Geschwindigkeit auch des Saftaufstiegs lasse sich durch den Transpirationsvog nicht mehr erklären.

3.4.3 Hales' Wirkung

Hales' ablehnende Haltung gegenüber der Saftkreislauflehre übte in der Folgezeit einen beträchtlichen Einfluß auf die Einstellung anderer Naturforscher in England und darüber hinaus aus, zumal seine „Vegetable Staticks“ 1735 von Buffon ins Französische¹⁴⁴ und 1748 von Christian Wolff ins Deutsche¹⁴⁵ übersetzt worden waren. So stützte sich Gilles A. Bazin († 1755), ein Gegner der Saftkreislauflehre,¹⁴⁶ u. a. auf die Argumente und Experimente Hales'.¹⁴⁷ Auch Bonnet sah sich hauptsächlich durch die Halesschen Ausführungen veranlaßt, einen Saftkreislauf abzulehnen.¹⁴⁸ Desgleichen beruft sich der Leipziger Professor der Botanik Ernst Gottlob Bosc (1723–1788) in seiner Ablehnung eines Saftkreislaufs u. a. auf Hales.¹⁴⁹ Etwa zur selben Zeit betrachtete die „Société Royale des Sciences“ in Montpellier Hales' Ausführungen als unwiderlegbaren Beweis gegen die Existenz eines

¹⁴³Allan/Schofield, 1980, S. 37.

¹⁴⁴Siehe Hales, 1735.

¹⁴⁵Siehe Hales, 1748.

¹⁴⁶Siehe Bazin, 1741, S. 64, 109–110, 132–134.

¹⁴⁷Siehe Bazin, 1741, S. 132–134.

¹⁴⁸Siehe Kap. 4.2.

¹⁴⁹Siehe Bosc, 1763, S. 22.

Saftkreislaufs.¹⁵⁰ Ähnliche Äußerungen finden sich in der „Encyclopédie“.¹⁵¹ Dagegen wird interessanterweise die Frage eines Saftkreislaufs in der „Encyclopédie d’Yverdon“ als noch offen betrachtet.¹⁵²

Was die Situation in England selbst betrifft, ist eine Anmerkung zu einem Artikel Mustels in den *Philosophical Transactions*¹⁵³ aufschlußreich. Mustel behauptete, „Dr. Hales, in his Vegetable Staticks, does not seem to embrace the system of the circulation of the sap; but he does not prove the contrary.“¹⁵⁴ Dagegen wurde von der Royal Society eingewandt,¹⁵⁵ Hales habe sich nicht nur offen gegen die „doctrine of the circulation of the sap“ gewandt und die Argumente der Befürworter widerlegt, sondern auch durch mehrere neue Experimente die Unmöglichkeit eines Saftkreislaufs erwiesen. Bezüglich der Wirkung der Haleschen Ausführungen wird konstatiert, daß „His reasons have been thought so convincing, that the system of the circulation in plants has been ever since exploded in England; [...]“.¹⁵⁶

¹⁵⁰Siehe *Histoire de la Société Royale des Sciences, établie a Montpellier[,] avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique, tirés des Registres de cette Société*, Tome premier, Lyon: Benoit Duplain, 1766, S. 165: „Cet illustre Physicien [Hales] a prouvé invinciblement dans sa Statique des végétaux qu’il n’y avoit aucune circulation proprement dite dans les plantes, c’est-à-dire, que la seve ne retournoit pas par des vaisseaux particuliers vers l’endroit d’où elle étoit partie; [...]“

¹⁵¹Siehe *Encyclopédie*, Bd. 15, 1765, S. 131.

¹⁵²*Encyclopédie d’Yverdon*, Bd. 38, 1774, S. 479. Bei der „Encyclopédie d’Yverdon“ handelte es sich um eine in Yverdon-les-Bains unter der Leitung von Fortunato Bartolomeo de Felice umgearbeitete Version der „Encyclopédie“ von Diderot und d’Alembert; s. hierzu Donato, 2002.

¹⁵³Mustel, 1773.

¹⁵⁴Mustel, 1773, S. 126.

¹⁵⁵Vgl. Brief Mathys an Mustel, London, 4. 3. 1772, abgedruckt in Mustel, 1781, S. 342–343, hier S. 342.

¹⁵⁶Mustel, 1773, S. 126, Fußn. * (Anmerkung der Herausgeber der *Philosophical Transactions*).

4. Diskussionen um die Saftkreislauflehre im französischsprachigen Raum bis ca. 1760

Mariotte und Perrault übten in der Folgezeit einen beträchtlichen Einfluß auf die weitere Diskussion in Fragen der Saftbewegung aus, und dies nicht allein im französischsprachigen Raum. Ihre gedruckten Ausführungen boten ein leicht zugängliches Repertoire an Beobachtungen und Experimenten zur Stützung der Saftkreislauflehre. Hinzu kommt, daß Jean Baptiste Duhamel, der selbst der Saftkreislauflehre zuneigte, die wichtigsten Argumente Perraults und Mariottes in seinem weit verbreiteten Werk „Philosophia vetus et nova“ referierte.¹ Man konnte es sich daher in der pflanzenphysiologischen Forschung kaum leisten, die Saftkreislauflehre einfach zu ignorieren. Entsprechend nannte der durch seine *Instruction pour les jardins*, ein Standardwerk zum Gartenbau, das von John Evelyn ins Englische übersetzt wurde, äußerst einflußreiche Jean de La Quintinie unter den wissenschaftlichen Fragestellungen, die die Lebensvorgänge der Pflanzen betreffen, die Frage eines Saftkreislaufs an erster Stelle.²

Während La Quintinie ein Gegner der Saftkreislauflehre war,³ zählten zu ihren späteren Vertretern in Frankreich Philippe de La Hire⁴ (1640–1718), Chicoyneau⁵ und Antoine Parent (1666–1716). De la Baisse (Nicolas de Sarrabat, 1698–1737)

¹Siehe J. B. Duhamel, 1700b, S. 322–330.

²La Quintinie, 1692, Bd. 1, Vorwort (unpag.), f. ****v (La Quintinie, 1693a, Vorwort [unpag.], f. b–b1).

³Siehe La Quintinie, 1692, Bd. 2, S. 331–334 (La Quintinie, 1693b, S. 69–71).

⁴Siehe *Histoire de l'Académie royale des sciences. Depuis 1686. jusqu'à son Renouveau en 1699*. Tome II. A Paris, chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste Coignard, Fils, Hippolyte-Louis Guerin, Ruë St. Jacques. MDCCXXXIII, S. 114–116. Siehe denselben Bericht auch in *Histoire de l'Académie royale des sciences. Tome II. Depuis 1686. jusqu'à son Renouveau en 1699*. A Paris. Chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste Coignard, Fils, Hippolyte-Louis Guerin, Ruë S. Jacques. MDCCXXXIII. [Nicht identisch mit der vorher genannten Ausgabe!] S. 184–186.

⁵Wahrscheinlich François Chicoyneau (1672–1752). Chicoyneau verteidigte in den Jahren 1706 bis 1708 in mehreren Vorträgen vor der „Société Royale des Sciences“ in Montpellier die Saftkreislauflehre (s. den Bericht in der *Histoire de la Société Royale des Sciences, établie a Montpellier[,] avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique, tirés des Registres de cette Société*, Tome premier, Lyon: Benoit Duplain, 1766, S. 159–166).

gewann sogar den Preis der Akademie der Wissenschaften in Bordeaux mit seiner 1733 erschienenen *Dissertation sur la circulation de la seve dans les plantes*, in der er einen Saftkreislauf der Pflanzen nachzuweisen versucht. Die Akademie von Bordeaux hatte bereits zum zweiten Mal die ungeklärte Frage des Vorkommens eines Saftkreislaufs zum Gegenstand einer Preisaufgabe gemacht. Für sie war die Saftkreislaufhypothese „une des grandes entreprises de la nouvelle Philosophie“. ⁶ Daß die Saftkreislauftheorie weiter im Blickfeld pflanzenphysiologischer Forschung blieb, belegt die ausführliche Diskussion, die ihr Bonnet und Duhamel du Monceau widmeten. Duhamel du Monceaus „Physique des Arbres“ von 1758 stellt das Ende des in diesem Kapitel behandelten Zeitabschnitts dar.

Laut Duhamel du Monceau war auch Antoine Parent (1666–1716) ein Anhänger der Saftkreislauflehre. ⁷ Parent war durch sein impulsives Verhalten, seine Kritikfreudigkeit und Kompromißlosigkeit sowie seinen Anticartesianismus bei den Akademiemitgliedern nicht besonders beliebt und galt als Außenseiter. ⁸ Bisher fand sich unter seinen Schriften keine direkte Äußerung zugunsten der Saftkreislauflehre. Es ließe sich höchstens aus einer Mitteilung in der *Histoire* der Académie für das Jahr 1711 ein indirekter Schluß in diese Richtung ziehen. ⁹

Auch Petit ¹⁰ nahm eventuell einen Saftkreislauf an, worauf eine beiläufige Bemerkung in seinem *Mémoire* über die unterschiedliche Gestalt der Salzkristallisationen („concretions“), die beim Verdunsten des Wassers aus Lösungen verschiedener Salze entstehen, deuten könnte. So bezeichnet Petit, wie es allgemein üblich sei, die Kristallisationen als „Vegetations des Sels“, obwohl er sich darüber im klaren sei, „que la maniere [dieser Kristallisationen] de se former est

⁶De la Baisse, 1733, Vorspann (unpag.), S. [1–2].

⁷Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 313.

⁸Vgl. Fontenelles Éloge auf Parent (*Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M. DCC. XVI. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie.* A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire dans le Kalverstraat. M. DCCXIX. *Histoire*, S. 108–114).

⁹*Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M. DCCXI. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie.* A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire dans le Kalverstraat. M. DCCXV. Dort wird berichtet (*Histoire*, S. 73), Parent habe an einer Akazie, deren Stamm einige Jahre vorher mit einem halbkreisförmigen Eisenring an einer Mauer befestigt worden war, einen Wulst oberhalb des Ringes festgestellt, nicht jedoch unterhalb. Parent schließt daraus, daß dieser „gonflement si considérable fait au-dessus du demi-cercle, & non pas au-dessous, prouve un suc qui descend, & qui est ou en plus grande quantité, ou plus épais que celui qui monte, & c'est là un fait tout semblable à celui du grand Tithimale, quoique nié par M. Magnol“. Letzteres ist eine Anspielung auf die von Pierre Magnol (1638–1715) geäußerte Kritik an einem Experiment Perreaults, mit dem dieser den Saftkreislauf beweisen wollte. Dies muß jedoch nicht zwangsläufig bedeuten, daß Parent einen echten Saftkreislauf annahm; vielleicht ging es ihm nur darum, nachzuweisen, daß es auch einen absteigenden Saft gibt.

¹⁰Wahrscheinlich handelt es sich um den Chirurgen Jean Louis Petit (1674–1750).

toute differente de celle des Plantes, qui se fait par la circulation des suc dans leurs canaux“. ¹¹

Auch in die populärwissenschaftliche Literatur hielt die Saftkreislauflehre Einzug. So erweist sich der „Prior“ in Noël Antoine Pluches „Spectacle de la nature“ als Anhänger eines Saftkreislaufs, wohingegen der „Graf“ mehr der Haleschen Ansicht von einer alternierenden Bewegung des Safts in ein und denselben Gefäßen zuneigt. ¹²

Zu den dezidierten Gegnern der Saftkreislauflehre in Frankreich zu Beginn des 18. Jahrhunderts zählten Denis Dodart ¹³ (1634–1707) und insbesondere Pierre Magnol (1638–1715). Magnol war bestrebt, sämtliche von Perrault vorgebrachten „Beweise“ für einen Saftkreislauf zu widerlegen. ¹⁴ Später trat noch der Genfer Charles Bonnet, beeinflusst von der ablehnenden Haltung Hales, als Gegner der Saftkreislauflehre hervor. ¹⁵

Gelegentlich ist es schwierig oder gar unmöglich, zu entscheiden, ob jemand, der von einem zirkulierenden Saft spricht, auch wirklich einen echten Saftkreislauf meinte, oder ob Begriffe wie „circulation“ und „circuler“ lediglich für eine Bewegung des Saftes in unterschiedliche Richtungen stehen. Eine solche Begriffsunsicherheit wurde auch von Duhamel du Monceau moniert. ¹⁶ Zu den Autoren, bei denen solche Interpretationsprobleme auftreten, zählen neben Petit (s. o.) Joseph Pitton de Tournefort (1656–1708) und Claude Joseph Geoffroy (1685–1752).

Tournefort führte bestimmte Pflanzenkrankheiten auf eine Unterbrechung der Saftzirkulation zurück. ¹⁷ Bei ihm könnte man noch am ehesten daran denken, daß er einen sich über den gesamten Pflanzenkörper erstreckenden Saftkreislauf im Sinn hatte. Geoffroy erklärte die Verfärbung der Blätter im Herbst damit, daß der nach Unterbrechung der Saftzirkulation in den Blättern ins Stocken geratene Saft sauer werde und die dabei entstandene Säure das für die grüne Farbe der Blätter verantwortliche „alcali fixe“ zerstöre, während die Schwefelverbindungen („les souffres“) ihre rote Farbe behielten. ¹⁸ Wahrscheinlich steht hier „circulation“ lediglich für eine Saftbewegung an sich oder eine lokal beschränkte Zirkulation.

¹¹Petit, 1727 [präsentiert 1722], S. 130. Der Begriff „circulation“ in dieser Bemerkung Petits muß nicht unbedingt einen echten Saftkreislauf bedeuten, sondern könnte auch für eine bloße, wenn auch vielleicht unregelmäßige oder in verschiedene Richtungen erfolgende Bewegung der Säfte stehen. Es ist daher ungewiß, ob Petit wirklich zu den Anhängern eines Saftkreislaufs gezählt werden kann.

¹²Siehe Pluche, 1743a, S. 412–413, 448–449, 452–454; vgl. Pluche, 1743b, S. 182–183.

¹³Siehe *Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCIX. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie.* A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire, dans le Kalverstraat. M.DCCXI. *Histoire*, S. 56–57.

¹⁴Ibid., S. 57–60.

¹⁵Siehe Kap. 4.2.

¹⁶Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 313.

¹⁷Tournefort, 1707 [präsentiert 1705], S. 440.

¹⁸Geoffroy, 1708 [präsentiert 1707], S. 695–696.

Später spricht Geoffroy in einem *Mémoire* über die pflanzlichen „wesentlichen Öle“ („huiles essentielles“) von einer Flüssigkeit („un liquide“), die die Pflanzen in ihrem Inneren benetzt und dort zirkuliert.¹⁹ Da er Sekretionen dieser Flüssigkeit in bestimmten Kanälen annimmt und als Beispiel „Terebenthine“ nennt, verstand er unter „liquide“ wohl die verschiedenen „huiles essentielles“. Als solche wurden gemeinhin subtile Öle bezeichnet, die am Anfang der Destillationsanalyse mittels Feuer allein oder mit Wasser vermischt auftraten.²⁰ Wie sich Geoffroy diese Zirkulation der Flüssigkeit letztlich vorstellte, wird aus seiner beiläufigen Bemerkung, auf die er sich in seinem *Mémoire* beschränkt, nicht deutlich.

4.1 De la Baisse (Nicolas de Sarrabat, 1698–1737)

Eine in der Geschichte der Saftkreislauftheorie besonders bedeutende Arbeit stammt von dem Jesuiten De la Baisse (Nicolas de Sarrabat)²¹. Wie bereits erwähnt, gewann er mit seiner „Dissertation sur la circulation de la seve dans les plantes“ den Preis der Akademie der Wissenschaften von Bordeaux, auch wenn sich nicht alle Mitglieder von seiner Argumentation überzeugt zeigten und die Akademie die Frage somit nicht als endgültig geklärt betrachten konnte.²²

De la Baises Arbeit läßt sich in zwei Teile gliedern. Im ersten, der dem „Nachweis“ des Saftkreislaufs dient, stützt er sich in der Hauptsache auf Experimente, während der zweite Teil sehr spekulativ ist und auf reinen Mutmaßungen beruht. De la Baises wichtigste experimentelle Methode besteht darin, ganze Pflanzen oder -teile eine gefärbte Lösung (aus den Beeren der *Phytolacca* [Kermesbeere]) aufsaugen zu lassen, um auf diese Weise den Verlauf der Gefäße und damit den Weg, den der Saft in der Pflanze nimmt, darzustellen. Ein solches Verfahren war nicht neu. In Analogie zu der seit dem 16. Jahrhundert in der Tieranatomie nachweisbaren Methode der Injektion farbiger Lösungen zur Gefäßdarstellung²³ wurden bereits 1671 in der Royal Society analoge Versuche mit Pflanzen angestellt.²⁴ De la Baises Arbeit ist jedoch die erste, die derart ausgiebig und auch erfolg-

¹⁹Geoffroy, 1725 [präsentiert 1721], S. 193.

²⁰Künkele, 1971, S. 59.

²¹Über De la Baises Leben ist so gut wie nichts bekannt. Laut Sprengel, 1812, S. 154, war De la Baisse Jesuit.

²²Im Vorspann findet sich die diplomatische Formulierung (unpag., [S. 1]): „On croiroit que les doutes de cette Compagnie ont été fixés par la Dissertation qu'elle a couronné, si elle ne continuoît pas à declarer qu'elle se défie toujours des explications même, qui paroissent les plus évidentes.“

²³Vgl. Faller, 1948, S. 54–60.

²⁴Siehe Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 481 (Sitzung der Royal Society vom 18. 5. 1671): „An experiment was made with a piece of green willow cut asunder, and the small ends dipt in a coloured liquor, which filtred up through it. The pith of an elder was also dipt in a coloured liquor, and it run up the sides of the pith, and not at all in the inner parts of it.“ Vgl. auch den Bericht über Experimente zur Durchlässigkeit von Weidenholz für Quecksilber in beiden Richtungen und die darauf folgende Feststellung, daß „This piece of wood being cut, the mercury

reich von diesem Verfahren Gebrauch macht. Mit seinen Untersuchungen übte er erheblichen Einfluß auf Bonnet und Duhamel du Monceau aus. Die Ergebnisse seiner Injektionsversuche wurden bis in das 19. Jahrhundert hinein diskutiert.²⁵

De la Baisse zeigt zunächst, daß die Wurzeln den Nährsaft über die Rinde aufnehmen. So welkten Versuchspflanzen (darunter „laitron“ [Gänsedistel] und Mangold), von deren Wurzeln er die Rinde entfernte, bevor er sie in Wasser stellte, deutlich früher als intakte Vergleichspflanzen.²⁶ Die Bedeutung des feinen Wurzelgeflechts für die Wasseraufnahme zeigte sich daran, daß Pflanzen, die über die Wurzelfäden und -enden Wasser aufnahmen, deutlich frischer blieben als solche, bei denen dies nur über den oberen Teil der Wurzel möglich war.²⁷ Ferner tauchte De la Baisse Wurzeln verschiedener, nicht näher bezeichneter Pflanzen in Wasser, das mit dem Saft der Frucht der *Phytolacca* gefärbt war, und stellte fest, daß nach zwei bis drei Tagen die gesamte Wurzelrinde eine rote Färbung aufwies, besonders an den Insertionsstellen der Nebenwurzeln sowie an den „tubercules“ der Hauptwurzel.²⁸ Zur Erzielung einer solchen Verfärbung war es auch nicht nötig, daß sich die Rinde an der Wurzel befand, denn eine losgelöste Rinde einer Borretschwurzel, die De la Baisse zu einem Schiffchen formte und in die er die Farblösung einfüllte, verfärbte sich ebenfalls.²⁹

Zur Feststellung des weiteren Transportwegs des von den Wurzeln aufgenommenen „Saftes“ („suc“)³⁰ verwendete De la Baisse mehr als 30 verschiedene Arten von Pflanzen, die er mit oder ohne Wurzel, in natürlicher oder umgekehrter Lage, vollständig oder auch nur Teile davon in gefärbtes Wasser eintauchen ließ. Alle seine Versuche führte er parallel mit Vergleichspflanzen aus, für die er ungefärbtes Wasser verwendete. Die Experimente begannen am 28. September 1732, und die Beobachtungsdaten wurden täglich protokolliert.³¹

Innerhalb kurzer Zeit zeichneten sich an den Blüten und Blättern verschiedener Pflanzen (darunter *Tuberose*³² und *Löwenmaul*) die gefärbten Gefäße ab. De la Baisse schloß daraus auf einen Aufstieg des Nährsaftes noch vor seiner endgültigen Verarbeitung bis zur Sproßspitze, wobei sich ein Teil davon auf die Seitenäste verteilte.³³ Auf dieselbe direkte Weise wies er nach, daß der Saft auch

appeared in all the parts of it, except the pith and bark, in both which there appeared none at all.“ (Birch, 1756–1757, Bd. II, 1756, S. 478–479 [Sitzung der Royal Society vom 4. 5. 1671].)

²⁵Vgl. Sprengel, 1812, S. 154–155.

²⁶De la Baisse, 1733, S. 4–5.

²⁷De la Baisse, 1733, S. 5. De la Baisse steckte Versuchspflanzen in Trichter, aus denen unten die Wurzelfäden und -enden herausragten. Durch Abdichten des Trichterbodens konnte er dafür sorgen, daß einige Pflanzen nur im oberen Teil der Wurzeln Wasser aufnehmen konnten.

²⁸De la Baisse, 1733, S. 6–7.

²⁹De la Baisse, 1733, S. 7.

³⁰Unter „Saft“ ist hier und im folgenden das aus der Erde aufgenommene und mit Nährsalzen versehene Wasser zu verstehen.

³¹De la Baisse, 1733, S. 8–9.

³²*Polianthes tuberosa*

³³De la Baisse, 1733, S. 9–12.

in umgekehrter Richtung transportiert werden könne, z. B. von der Blattspitze in die Blattspreite. Allerdings reichte die Verfärbung in diesen Fällen nicht sehr weit; demnach seien die entsprechenden Gefäße besser auf einen Saftaufstieg ausgerichtet als auf eine Bewegung des Saftes in der umgekehrten Richtung.³⁴

Aus der Art der Verfärbungen im Inneren der Sproßachsen folgte De la Baisse, daß der Saft weder im Mark noch in der Rinde noch zwischen Rinde und Holz, sondern im Holz selbst aufsteige, genauer in den „fibres ligneuses“, die ihren Ursprung in den Wurzeln hätten und sich in der gesamten Pflanze verteilten.³⁵ Dieser Nachweis, daß der Saftaufstieg im Holz stattfindet, stellte einen erheblichen Erkenntnisfortschritt dar, denn die Beobachtungen, die man bis dahin an Bäumen, deren Rinde teilweise oder ganz entfernt worden oder deren Mark zerstört war, angestellt hatte, ließen keine eindeutige Schlußfolgerung hinsichtlich der Rolle von Mark, Holz und Rinde im Saftaufstieg bzw. in der Ernährung der Bäume zu.³⁶ Für De la Baisse's Beobachtungsgabe spricht, daß er, wenn auch beiläufig, erwähnt,³⁷ der Saft steige in den Eichen und Ulmen im „aubier“, d. h. dem jüngsten Holz, auf.

In weiteren Detailstudien versuchte De la Baisse, sich einen genauen Überblick über die weitere Verteilung des Saftes in verschiedenen Teilen der Pflanzen zu verschaffen. Zur Untersuchung der Saftverteilung in den Blüten wählte er weiß blühende Exemplare von Löwenmaul sowie Tuberosen, die er wie gewohnt in gefärbtes Wasser stellte. Nachdem sich in den Blüten eine rote Äderung abzeichnete, seziierte er die Stengel der Versuchspflanzen und mußte dabei feststellen, daß die Verfärbung nicht sehr weit über das Wasserniveau hinausreichte. Diesen Befund interpretierte er dahingehend, daß der Saft im Stengel sehr schnell aufsteige, aber in den Blüten festgehalten werde, wo er sich seiner gröberen Teile entledige. Nach einiger Zeit hatte sich auch fast das gesamte übrige Blütengewebe verfärbt, so daß De la Baisse annehmen konnte, daß sich der Saft auch auf das Parenchym („parties charnuës de la fleur“) verteilt.³⁸

³⁴De la Baisse, 1733, S. 12–14.

³⁵De la Baisse, 1733, S. 16–21.

³⁶Siehe zu diesen Kontroversen die *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* für die Jahre 1707 (Ausc. Amsterdam, 1708, S. 62–64), 1709 (Ausc. Amsterdam, 1711, S. 63–65) sowie 1711 (Ausc. Amsterdam, 1715, S. 55–65), ferner Reneaume, 1708 (präsentiert 1707). Reneaume hielt übrigens einen Saftkreislauf für nicht erwiesen, wie aus folgender Äußerung hervorgeht: „Tous les Botanistes qui ont anatomisé les Plantes avec exactitude, trouvent une grande analogie entr'elles & les animaux: elles ont des parties à peu près de même structure, des fonctions & des maladies assez semblables, & les vaisseaux qui constituent l'essence du corps organisé, sont destinez dans les Plantes & dans les animaux à des usages qui ont beaucoup de rapport ensemble; à la circulation près, qu'on n'a pû encore démontrer dans les Plantes, quoique plusieurs Auteurs ayent tâché de la persuader“ (Reneaume, 1708, S. 359).

³⁷De la Baisse, 1733, S. 23.

³⁸Siehe zu diesem Absatz De la Baisse, 1733, S. 24–31. Auf die Saftverteilung in den Früchten wollte De la Baisse nicht näher eingehen, da seine Experimente hierzu keine brauchbaren Ergebnisse lieferten (ebd., S. 30).

Was die Blätter betrifft, kommt De la Baisse zu dem Ergebnis,³⁹ daß die „canaux“, über die die Blätter mit Saft versorgt werden, in den Blattnerven sitzen und aus dem Holzteil der Sproßachse kommen. Genauso wie in den Blüten, so verteile sich auch in den Blättern der Saft entweder über seitliche Verzweigungen der Hauptgefäße, oder indem der Saft direkt durch die Wände der Hauptkanäle austrete.

Nachdem De la Baisse seine Versuchspflanzen zwei bis drei Tage lang in gefärbtem Wasser hatte stehen lassen, konnte er auch in der Rinde Verfärbungen feststellen. Da die Rinde immer dort am stärksten verfärbt war, wo sich zuvor auch die Gefäße des Holzes am deutlichsten verfärbt hatten, ließ sich schließen, daß die Rinde über den Holzteil mit Saft versorgt wird. Da sich keine Gefäße in der Rinde abzeichneten, ging De la Baisse davon aus, daß der Saft unmittelbar aus den „fibres ligneuses“ des Holzteils in die „utricules“ der Rinde übergeht.⁴⁰ Während dieser seitliche Saftübertritt vom Holz in die Rinde bis auf den mittleren Bereich entlang der gesamten Sproßachse geschehe, werde das Mark nur von oben versorgt, da die Verfärbung des Marks zur Sproßspitze hin immer stärker werde, während es an der Sproßbasis trocken sei und keinerlei Verfärbung aufweise.⁴¹

Bisher verfolgte De la Baisse allein die Route, die der Saft in seinem Aufstieg von der Wurzel zur Sproßspitze nimmt. Als nächstes ging er der Frage nach, ob es auch einen absteigenden Saft gebe. In diesem Punkt hielt er sich in der Hauptsache an die üblichen Experimente und „Beweise“, wie sie von Perrault, Mariotte und anderen bereits hinlänglich bekannt, wenn auch nicht unumstritten waren. Hierzu zählte die Ausbildung eines Wulstes oberhalb einer Ligatur an der Sproßachse einer (nicht näher identifizierbaren) Wolfsmilch („Titimale“) sowie die Beobachtung, daß, wo auch immer man Stengel oder Blätter milchsaftführender Pflanzen wie Schöllkraut („Eclair“) und „Titimale“ anschneidet, in der Regel aus dem oberen Teil mehr Milchsaft austritt als aus dem unteren Pflanzenabschnitt, ferner, daß sich der obere Teil „ausbluten“ läßt, während der untere Teil seinen Milchsaft größtenteils behält.⁴² Daß solche Experimente nicht aussagekräftig sind, wurde von den Gegnern der Saftkreislauflehre oder zumindest Skeptikern immer wieder betont,⁴³ und selbst De la Baisse bemerkt gelegentlich, daß er mit seinen Versuchen nicht immer eindeutige Ergebnisse erzielt habe.⁴⁴

Aufbauend auf der Feststellung, daß es sich bei dem Milchsaft in „Eclair“ und „Titimale“ um einen absteigenden Saft handele, geht De la Baisse dazu über, zu

³⁹De la Baisse, 1733, S. 30–34. De la Baisse berichtet von Versuchen an Blättern von Wein und „Ancholie“ (Akelei, vielleicht auch roter Fingerhut) und behauptet, dies seien nur zwei Beispiele von über 200. Dies ist wohl so zu verstehen, daß er an den Blättern von über 200 Pflanzenarten Versuche anstellte.

⁴⁰De la Baisse, 1733, S. 34–36.

⁴¹De la Baisse, 1733, S. 41–43.

⁴²De la Baisse, 1733, S. 45–46, 50–55.

⁴³Vgl. Du Clos (s. o., S. 12); La Quintinie, 1692, Bd. 2, S. 335–336 (La Quintinie, 1693, S. 73); *Histoire de l'Academie royale des sciences* für das Jahr 1709 (Ausc. Amsterdam, 1711), S. 58–59.

⁴⁴De la Baisse, 1733, S. 51, 55.

zeigen, daß es eine Verbindung zwischen dem auf- und dem absteigenden Saft und damit einen echten Kreislauf des Safts in den Pflanzen gebe.⁴⁵ Stelle man nämlich die genannten Pflanzen in gefärbtes Wasser, so verfärbte sich auch der Milchsaft. In der „Eclaire“ werde der gelbe Milchsaft rötlich, im „Titimale“ der weiße Milchsaft violett. Es müsse demnach eine Verbindung zwischen dem von der Wurzel aufsteigenden und im Experiment rötlich gefärbten Saft und dem absteigenden Milchsaft geben. Als weiteren Hinweis auf eine solche Verbindung führt De la Baisse die bekannte Beobachtung an,⁴⁶ daß, wenn von einem abgeschnittenen, gegabelten Ast nur *ein* Zweigende in Wasser eintauche, auch der andere Zweig frisch bleibe. Dies lasse sich nur unter Annahme eines Saftes erklären, der im eintauchenden Zweig zunächst (in bezug auf die natürlichen Lageverhältnisse) absteige, um danach in dem Zweig, der keinen Kontakt mit dem Wasser aufweise, wieder aufzusteigen. De la Baisse führte diesen Versuch auch mit gefärbtem Wasser aus,⁴⁷ und dabei zeigte sich, daß die Verfärbung im eintauchenden Zweig nicht sehr weit reichte, woraus er auf eine Verarbeitung („digestion“) des aufgenommenen Saftes zu einem „suc secondaire“ schloß, der dann den absteigenden Saft darstelle. Generell verhindere die Verbindung zwischen auf- und absteigendem Saft nicht, daß die Pflanzen über die Zweigenden und Blätter zusätzliche „Säfte“, d. h. gelöste Nährstoffe, aus der Luft in die Enden ihrer „fibres ligneuses“ aufnehmen. Diese Säfte erführen sehr bald eine Verarbeitung, um schließlich dem natürlichen Lauf der Flüssigkeiten zugeführt zu werden.⁴⁸

Was den Prozeß der Verarbeitung des von den Wurzeln aufgenommenen Saftes betrifft, stützt sich De la Baisse auf Analogien zum Tierreich.⁴⁹ So finde in den Poren der Wurzelrinde, über die der Saft wie durch Mägen eintrete (s. o.), nach Art des Kauvorgangs („mastication“) der Tiere eine erste Verdauung („premiere digestion“) statt. Die „fibres ligneuses“ der Wurzel leiteten den Saft nach Art von Speiseröhren weiter zum „Hauptmagen“ („principal estomac“)⁵⁰, der sich am „Knoten“, d. h. an der Übergangsstelle, zwischen Wurzel und Sproßachse befinde. Dort sammle sich der von den Wurzeln aufgenommene Saft, wie sich an entsprechenden Verfärbungen nachweisen lasse.

Den weiteren Verdauungsprozeß stellt sich De la Baisse folgendermaßen vor: Die „fibres ligneuses“, die sich an der genannten Übergangsstelle zwischen Wurzel und Sproßachse kreisförmig winden, „schleudern“ („tourmentent“) den Saft, den sie enthalten, hin und her, die Flüssigkeiten, die sich aus der Sproßachse dorthin ergießen, rufen „Fermentationen“ hervor, und durch die Ausdehnung der im „Pflanzenmagen“ enthaltenen Flüssigkeit komme es wie im Tiermagen zu ei-

⁴⁵De la Baisse, 1733, S. 55–56.

⁴⁶De la Baisse, 1733, S. 56–57.

⁴⁷De la Baisse, 1733, S. 44–45.

⁴⁸De la Baisse, 1733, S. 57.

⁴⁹De la Baisse, 1733, S. 57–61.

⁵⁰De la Baisse betrachtet sämtliche Knoten der Pflanze als „Mägen“ (1733, S. 59).

ner peristaltischen Bewegung. Die Verdauung werde in den „fibres ligneuses“ des Holzteils der Sproßachse beendet.⁵¹

De la Baisse ist sich durchaus bewußt, daß er sich nur, was die Verbindung zwischen aufsteigendem und absteigendem Saft betrifft, auf Experimente stützen konnte, während er eine Verbindung an der Sproßbasis zwischen dem absteigenden und dem aufsteigenden Saft und somit eine „circulation non interrompue“ nicht nachweisen konnte.⁵² In diesem Punkt bleibt er auf Analogieschlüsse angewiesen. Gerade die Vermischung des absteigenden, völlig verarbeiteten Saftes mit dem noch nicht ganz verarbeiteten aufsteigenden Saft ist natürlich ein Problempunkt in der gesamten Saftkreislauftheorie. Fast hundert Jahre später wird Carl Heinrich Schultz dieses Problem dadurch umgehen, daß er den Milchsaft, der für ihn aus einer Verdauung des rohen Nahrungssaftes hervorgeht, allein zum zirkulierenden Saft erklärt.⁵³ Hätte De la Baisse seine Analogien zwischen der Verdauung im Tier- und Pflanzenreich konsequent weiterverfolgt, hätte er eigentlich auf denselben Gedanken kommen müssen. Tatsächlich spricht er diese Vorstellung einmal an, als er betont, daß die durch Experimente bestätigten Analogien zwischen den ersten Verdauungsschritten in den Tieren und Pflanzen ausreichen könnten „pour conclure, que la Seve digerée & portée hors des premiers canaux, doit circuler dans la Plante, comme le chile porté dans le sang, & transformé en ce liquide, circule dans l’animal.“⁵⁴

Offenbar fühlte sich De la Baisse verpflichtet, seiner Arbeit noch einige Mutmaßungen („conjectures“) zu den Prinzipien der Lebensvorgänge der Pflanze hinzuzufügen, da ihm die bloße Mitteilung der sich unmittelbar aus seinen experimentellen Daten ergebenden Schlußfolgerungen als zu „rude“ erschien. De la Baisse's diesbezügliche Äußerungen werfen ein bezeichnendes Licht auf die Erwartungshaltung, der er sich in diesem Punkt ausgesetzt sah.⁵⁵ Und so enthält das letzte Kapitel seiner Abhandlung z. T. waghalsige Analogieschlüsse und Spe-

⁵¹Spätestens hier hätte man erwartet, daß De la Baisse auf die Diskrepanz näher eingeht, die sich aus seinen hier mitgeteilten Vorstellungen von der Saftverdauung und seinen früheren Feststellungen, wonach der von der Wurzel aufgenommene Saft noch vor einer ersten Verarbeitung rasch bis in die Sproßspitze aufsteige (s. o.), ergeben.

⁵²De la Baisse, 1733, S. 61–62: „[...] je crois avoir assez bien prouvé [...] l’existence d’un suc descendant dans les Plantes, & la communication de celui qu’on y voit monter; & quoique je n’aye pas pu suivre dans le détail, les routes & les differens canaux par où le suc rapporté du sommet au pied de la Plante, forme une circulation non interrompue; je ne dese[s]pere pas qu’on ne puisse, au moins en partie, en venir à bout dans la suite.“

⁵³Siehe Kap. 9.3.1.

⁵⁴De la Baisse, 1733, S. 61.

⁵⁵De la Baisse, 1733, S. 62: „Je ne sçai si l’on a senti dans tout le cours de cette Dissertation, l’assujettissement scrupuleux où je me suis mis, de ne rapporter que ce que j’ai vû pour en tirer seulement les conclusions les plus immédiates. Ce travail est plus rude qu’on ne pense, & pour m’en dédommager, on me permettra quelques petites échappées d’imagination par lesquelles je finis.“

kulationen, die verständlicherweise von späteren Pflanzenphysiologen kritisiert wurden⁵⁶.

De la Baisse behandelt in diesem letzten Kapitel die Vorgänge der Pflanzenernährung nicht näher, da er in Analogie zu den Verhältnissen in Tieren davon ausgeht, daß es auch in den Pflanzen eine Atmung gibt und diese wie bei den Tieren einen wichtigeren Lebensvorgang darstelle als die Ernährung. Die Pflanze sei eine „Maschine“, deren verborgener Mechanismus alle die „Bewegungen“ (d. h. physiologischen Prozesse) hervorbringe, die wir an ihr wahrnehmen. Es müsse eine Kraft geben, die diese Prozesse regle und bestimme, ähnlich wie das Pendel in einer Uhr. Diese Kraft sieht De la Baisse in einer kontinuierlichen Atmung, die sich in einem Wechselspiel zwischen der äußeren Luft, die danach strebe, in die Pflanze einzudringen, und der in der Pflanze enthaltenen Luft, die nach außen dränge, abspiele.⁵⁷ Das Wechselwirken zwischen äußerer und innerer Luft betrachtet De la Baisse als „un des grands principes de la vegetation“, mit dessen Hilfe er u. a. die jahreszeitlich bedingten Veränderungen der Vegetation deutet.⁵⁸ Im Frühjahr etwa werde durch die Sonne die innere Luft erwärmt, während die Poren der Rinde und des Holzes noch mit Saft verstopft seien, der durch die Winterkälte eingedickt sei, so daß die äußere Luft nicht eindringen könne. Die innere Luft, durch die Erwärmung mobilisiert, dränge schließlich in alle Teile des Baumes, treibe die Säfte an und bringe die Lebensprozesse in Gang. Auch den Nutzen des Pflügens, die vegetationsfördernde Wirkung leichter Regenschauer gegenüber schweren, unterschiedliche Materialeigenschaften verschiedener Hölzer sowie einige andere Erscheinungen führt De la Baisse auf Wirkungen der äußeren und inneren Luft zurück.⁵⁹

Daß es in den „Hohlräumen“ der Pflanze, insbesondere in den „Bläschen“ („vesicules“⁶⁰) des Marks, Luft gebe, sei „un fait connu qui n'a pas besoin de preuves“. Die Notwendigkeit äußerer Luft für das Gedeihen der Pflanzen sei durch Keimungsexperimente im Vakuum⁶¹ erwiesen. Ferner führt De la Baisse aus eigener Erfahrung das Beispiel einer jungen Linde an, die immer mehr gekränkelt

⁵⁶Vgl. Bonnet, 1754, S. 288–289.

⁵⁷De la Baisse, 1733, S. 62–64.

⁵⁸De la Baisse, 1733, S. 68, 70–71. Was dieses prinzipielle Wechselspiel zwischen innerer und äußerer Luft und damit den Einfluß der Witterung betrifft, erfuhr De la Baisse, wie er selbst andeutet (S. 72), einige Anregungen durch Duhamels Mémoire von 1729 (s. u.), auch wenn sich im Detail nicht unerhebliche Unterschiede zeigen.

⁵⁹De la Baisse, 1733, S. 73–79.

⁶⁰Offenbar sind die Zellen gemeint.

⁶¹De la Baisse nennt hier keine Quelle. Zu entsprechenden Experimenten s. z. B. Senguerdius, 1685, S. 377 (s. u., S. 95); s. ferner den Bericht in Nr. 23 der *Philosophical Transactions* (11. 3. 1666), S. 425, wonach Lattichsamen („Lettice-seed“) im Vakuum nicht auskeimten, an der freien Luft hingegen schon (vgl. Hoppe, 1976, S. 265). Vgl. außerdem Homburg, 1730 (vorgetragen 1693).

habe, nachdem um ihren Stamm ein Steinhäufen errichtet worden sei, der bis zu den Ästen gereicht habe.⁶²

Die Pflanze nimmt nach De la Baisse auf zweierlei Wegen Luft auf. Zum einen gelange durch die über die Wurzeln aufgenommene Nahrung Luft in die Pflanze. In der Pflanze angekommen, trenne sich dieses Gemisch sehr bald und werde in unterschiedlichen Leitungsbahnen weitertransportiert, wobei der Transport der Luft in den von Malpighi beschriebenen Tracheen stattfinde. Die Tracheen gehen nach De la Baisse bis zum Mark und transportieren nicht nur die über die Wurzeln aufgenommene Luft dorthin, sondern leiten auch von der Oberfläche des Stammes aus Luft in das Mark. Das Mark, das ja auch aus einer schwammigen Substanz bestehe, besitze dieselbe Funktion wie die Lungen der Tiere. Der verdaut Saft, der sich von oben aus im Mark verteile, erfahre im Mark, wo er sich mit Luft vermische, eine ähnliche Verarbeitung wie das Blut in den Lungen der Tiere. De la Baisse geht sogar so weit, zu behaupten, in denjenigen Pflanzen, in denen das Mark zwischen einem oberen und einem unteren „Knoten“ („noeud“)⁶³ eingeschlossen sei, entspreche der obere Knoten dem rechten Herzventrikel und der untere dem linken.⁶⁴ Auch ein Ausatmen gebe es bei den Pflanzen. Dies finde zwischen den jungen Blättern in den Knospen am Ende der Zweige sowie in den Blüten statt und diene dazu, die Knospen zu entfalten.⁶⁵

4.2 Charles Bonnet (1720–1793)

Einen Meilenstein in der weiteren Entwicklung der Pflanzenphysiologie stellen Charles Bonnets „Recherches sur l’usage des feuilles dans les plantes“ und Duhamel du Monceaus „Physique des Arbres“ dar. In beiden Werken wird auch die Saftkreislauflehre diskutiert. Während sich Bonnet hauptsächlich mit den Argumenten De la Baises auseinandersetzt, dessen Experimente mit gefärbtem Wasser einen direkten Bezug zu seinen eigenen Arbeiten hatten, behandelt Duhamel du Monceau die Frage eines Saftkreislaufs viel genereller.

Bonnets bevorzugtes Studienobjekt waren ursprünglich die Insekten, doch deren Untersuchung habe seine Augen derart angestrengt, daß er sich anderen Studienobjekten zuwenden mußte. So kam Bonnet zur „Physique des Plantes“, die zwar ein „sujet moins animé, moins fécond en découvertes“ sei, dafür aber von allgemeinerem Nutzen. Auf diesem Gebiet interessierte er sich vor allem für die Kultivierung von Pflanzen in anderen Medien als Erde, etwa in Moos, sowie für die Funktion der Blätter.⁶⁶

⁶²De la Baisse, 1733, S. 68–69.

⁶³Die Stellen der Sproßachse, an denen die Blätter ansitzen, werden als „Knoten“ bezeichnet.

⁶⁴De la Baisse, 1733, S. 64–65.

⁶⁵De la Baisse, 1733, S. 66–67.

⁶⁶Bonnet, 1754, S. III–IV.

In seinen „Recherches sur l’usage des feuilles dans les plantes“, die 1754 erschienen, untersucht Bonnet experimentell die Aufnahme von Wasser und Luft durch die Blätter sowie ihre Transpiration, ferner die Bewegungen von Blättern und anderen Pflanzenteilen.

Anregungen zu seinen Experimenten erhielt Bonnet u. a. von Calandrini⁶⁷. Da die Unterseite der Blätter von der Oberseite meistens verschieden sei und die Erfahrung zeige, daß der Tau („Rosée“) von der Erdoberfläche aufsteige, habe Calandrini angeregt, zu untersuchen, ob hauptsächlich die Blattunterseite dazu bestimmt sei, diesen Wasserdampf aufzunehmen und in das Innere der Pflanze zu leiten.⁶⁸ Um diese Frage experimentell zu klären, legte Bonnet Blätter verschiedener Kräuter, Bäume und Sträucher⁶⁹ mit ihrer Unter- oder Oberseite auf eine Wasseroberfläche, ohne daß Blattstiel und Blattrand eintauchten. Weitere Blätter derselben Arten tauchte er nur mit dem Blattstiel ein. Um die Aussagekraft seiner Versuche zu erhöhen, verwendete Bonnet grundsätzlich mehrere Blätter ein und derselben Art, wobei er darauf achtete, daß die Blätter ein frisches Aussehen und möglichst annähernd dieselbe Größe besaßen.⁷⁰

Die Versuche ergaben folgende Ergebnisse:⁷¹ Die Blätter von sechs Krautarten blieben unabhängig davon, ob sie mit ihrer Ober- oder Unterseite das Wasser berührten, gleich lang frisch. Bei den Blättern von weiteren sechs Arten erschien die Oberseite besser geeignet, Wasser aufzunehmen, als die Unterseite, während dies bei den Blättern der *Belle de Nuit*⁷² und der Melisse umgekehrt zu sein schien. In den Versuchen mit Blättern von 16 Baum- und Straucharten⁷³ erwiesen sich nur beim Flieder („Lilac“) und bei der Espe („Tremble“) Blattober- und -unterseite als in gleichem Ausmaß fähig, Wasser einzusaugen. Bei allen anderen Arten sog die Blattunterseite das Wasser besser ein als die -oberseite. Sämtliche Experimente wurden an Blättern ausgeführt, die ihre Endgröße ganz oder fast erreicht hatten.

Während Bonnet seinen Versuchen an Blättern von Kräutern eine ungefähr gleich stark ausgeprägte Disposition beider Blattseiten zur Feuchtigkeitsaufnahme entnahm, erwies sich bei Blättern von Bäumen in der Regel die Unterseite stärker zur Aufnahme von Feuchtigkeit disponiert. Bonnet führt diesen Unterschied auf eine Verschiedenheit des Blattgewebes zurück. Im übrigen sei diese Einrichtung sehr sinnvoll, da die Kräuter aufgrund ihrer geringen Wuchshöhe von allen Seiten den aufsteigenden Tau aufnehmen könnten, während sich die Baumwipfel in Höhen befänden, in die nur wenig Tau aufsteige, so daß es zweckmäßig

⁶⁷ „Ci-devant Professeur de Mathématiques & de Philosophie à Genève; aujourd’hui Conseiller d’Etat, & Trésorier Général de cette République“ (Bonnet, 1754, S. V, Fußn.).

⁶⁸ Bonnet, 1754, S. 2–3.

⁶⁹ Es handelte sich insgesamt um 14 verschiedene Pflanzenarten (s. Bonnet, 1754, S. 8).

⁷⁰ Siehe Bonnet, 1754, S. 5.

⁷¹ Bonnet, 1754, S. 8–9.

⁷² *Mirabilis jalapa*, Wunderblume

⁷³ Bonnet, 1754, S. 14–17.

sei, daß die Blattunterseite eine große Disposition zur Aufnahme dieser Feuchtigkeit besitze.⁷⁴

Im Anschluß an Hales betrachtete Bonnet die Blätter als „le principal agent de l’ascension de la Sève, & de sa transpiration hors de la Plante“.⁷⁵ Da die Blattoberseite der Einwirkung der Sonnenstrahlen und der Luft stärker ausgesetzt sei als die Unterseite und ferner die in der Regel glatte Blattoberseite aufgrund des Fehlens von Haaren und Unebenheiten („aspérités“), die ein Transpirationshindernis darstellen könnten, die Evaporation des Safts deutlich erleichtere, erwartete Bonnet, daß sich die Transpiration hauptsächlich an der Blattoberseite abspielt.⁷⁶ Doch wider Erwarten erwies sich die Unterseite von Blättern sowohl von Kräutern als auch Bäumen in der Regel als besser geeignet zur Transpiration als die Oberseite,⁷⁷ so daß Bonnet die Hauptfunktion der Oberseite im Schutz sieht, den sie der Unterseite gewähre.⁷⁸

Da bei einigen Blättern, die mit ihrer Unter- oder Oberseite auf dem Wasser lagen, die Blattränder frisch blieben, obwohl diese selbst nicht eintauchten, schloß Bonnet auf „une étroite communication entre toutes les parties de la Feuille“.⁷⁹

⁷⁴Bonnet, 1754, S. 49–51.

⁷⁵Bonnet, 1754, S. 53; s. a. S. 1–2.

⁷⁶Bonnet, 1754, S. 53.

⁷⁷Bonnet tauchte Blätter verschiedener Holz- und Krautpflanzen, deren Ober-, Unter- bzw. beide Seiten er mit Olivenöl bedeckte, mit ihren Stielen in Wasser und verglich die Mengen aufgenommenen Wassers. Als Kontrollobjekte dienten Blätter ohne Ölbedeckung. Wider Erwarten transpirierten die meisten Blätter mehr, wenn ihre Oberseite, als wenn ihre Unterseite mit Öl bedeckt war. Vor Bonnet hatte bereits Guettard, der im Anschluß an Hales zahlreiche Experimente zur Transpiration der Pflanzen anstellte (Guettard, 1748, 1749), untersucht, ob die Blattunter- oder -oberseite stärker transpiriert. Um einige Unsicherheitsfaktoren der Halesschen Experimente auszuschließen, beließ Guettard die zu untersuchenden Zweige an den Sträuchern und Bäumen und schloß sie in einen dreihälsigen Glasballon („récipient de Glauber“) ein. Das transpirierte Wasser kondensierte innen an den Wänden des Glasballons und wurde in einem anderen Gefäß, das als Rezipient diente, aufgefangen. Der Rezipient befand sich in der Erde, um möglichst zu verhindern, daß durch Einwirkung der Sonnenstrahlen die aufgefangene Flüssigkeit erneut verdunstet. Da Guettard festgestellt hatte, daß Pflanzen stärker transpirieren, wenn sie der direkten Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, erwartete auch er, daß die stärker exponierte Blattoberseite auch stärker transpiriert als die Unterseite. Seine an den Blättern des weißen Kornelbaums („cornouiller blanc“) mit „verniss à l’esprit de vin“ durchgeführten Versuche bestätigten seine Vermutung, während entsprechende Experimente an den Blättern eines Stachelbeerstrauchs („groseiller épineux“) auf keine signifikant stärkere Transpiration der Blattoberseite deuteten (Guettard, 1748, S. 847–850). Experimente mit Leinölfirnis an Granatapfelblättern ergaben wieder eine höhere Transpirationsrate der Blattoberseite als der Blattunterseite (Guettard, 1749, S. 421–422). Alles in allem kam Guettard daher zu dem Schluß, daß die Oberseite der Blätter stärker transpiriere als die Unterseite (Guettard, 1749, S. 382–383, 421–422). Als störend erwies sich bei seinen Experimenten, daß die Blätter durch die verwendeten Lacke z. T. schweren Schaden nahmen und sich rasch verfärbten.

⁷⁸Bonnet, 1754, S. 54–61.

⁷⁹Bonnet, 1754, S. 19.

Die Gefäße des Blattes seien netzartig miteinander verbunden⁸⁰ und tauschten untereinander die Säfte aus, die von den benachbarten Blattporen absorbiert und an sie weitergeleitet würden.

Die Aufnahme von Feuchtigkeit durch die Blätter und die enge Verbindung zwischen den Blättern und den übrigen Teilen der Pflanze, wodurch die aufgenommenen Stoffe über die gesamte Pflanze verteilt werden, veranlaßten Bonnet zu seinem berühmten Ausspruch, daß „les Végétaux sont plantés dans l’Air, à peu près, comme ils le sont dans la Terre“.⁸¹ So, wie die Wurzeln aus der Erde Nährstoffe aufnahmen, so seien die Blätter „Racines Aériennes“, die es den Pflanzen ermöglichten, „Dämpfe“ („vapeurs“) und „Ausdünstungen“ („exhalaisons“) aus der Luft aufzunehmen. Die Luft fungiere aber nicht nur als Reservoir für diese Dünste, sondern werde auch selbst, wie Hales gezeigt habe, in „elastischer“ (d. h. gasförmiger) Form aufgenommen und unter Verlust ihrer „Elastizität“ inkorporiert, diene also auch selbst zur Ernährung der Pflanzen.⁸² Daher erachtet es Bonnet für wünschenswert, einen exakten, quantitativen Vergleich zwischen der durch die Wurzeln und der durch die Blätter aufgenommenen Menge an Nahrung anzustellen, wobei er es durchaus für möglich hält, daß die Pflanzen sich zu gleichen Anteilen aus der Luft und aus der Erde ernähren.⁸³

Um die Route des Saftes in der Pflanze von den Wurzeln bis zu den Blättern festzustellen, wandte Bonnet die Methode der „injections naturelles“ an, d. h., er ließ Pflanzen oder Pflanzenteile eine gefärbte Lösung aufsaugen. Von diesem Verfahren, das er nicht genug anpreisen konnte, versprach er sich große Erkenntnisgewinne. Die Bezeichnung „injection naturelle“ diente Bonnet zur Abgrenzung gegenüber der in der Tieranatomie mit Hilfe von Klistieren praktizierten Injektion gefärbter Flüssigkeiten zur Gefäßdarstellung. Da die Pflanzen die Flüssigkeit ohne weitere Hilfsmittel selbst aufsaugen, betrachtete er diese Form der „Injektion“ als „natürlich“. Die Anregung zu dieser Methode erhielt Bonnet von Duhamel du Monceau, der sich mit diesem Verfahren Klarheit über die Art des Knochenwachstums verschaffen wollte⁸⁴. Da sich die von Duhamel du Monceau verwendete Krapprotlösung nicht genug vom Grün der Pflanzen abhob, verwen-

⁸⁰Damit ist die netzartige Blattaderung gemeint, die nach Zerstörung des Blattparenchyms durch Mazeration oder Insektenfraß übrigbleibt.

⁸¹Bonnet, 1754, S. 47.

⁸²Bonnet, 1754, S. 66.

⁸³Bonnet, 1754, S. 66. Bonnets berühmte Experimente mit in Wasser eingetauchten Blättern, an deren Oberfläche unter Lichteinwirkung Luftblasen auftraten (hierbei handelte es sich um die Bildung von Sauerstoffgas im Rahmen des Photosyntheseprozesses), sowie seine Deutung dieses Phänomens sollen hier nicht behandelt werden, da diese Versuche einschließlich ihrer Wirkungsgeschichte in der Sekundärliteratur bereits ausreichend Berücksichtigung fanden (vgl. Kottler, 1973, S. 114–181) und sie zudem für Bonnets Einstellung zur Saftkreislauftheorie nicht relevant sind.

⁸⁴Siehe vor allem Duhamel du Monceau, 1743 [präsentiert 1739].

dete Bonnet zum Teil künstlich etiolierte, also farblose Pflanzen. Ferner stand Bonnet natürlich unter dem Eindruck der Arbeit De la Baisses.⁸⁵

Durch seine eigenen Injektionsexperimente an krautigen und Holzpflanzen konnte Bonnet das wesentliche Ergebnis De la Baisses bestätigen, daß der „Saft“ nur im Holzteil bzw. bei krautigen Pflanzen in den „Leitbündeln“⁸⁶ aufsteige, nicht jedoch in der Rinde bzw. dem Bast oder dem Mark.⁸⁷ Vom modernen Standpunkt aus betrachtet täuschte er sich allerdings, wie De la Baisse, in der Art der Gefäße, in denen der Saftaufstieg erfolgt, indem er behauptete, der Safttransport finde in den „fibres ligneuses“⁸⁸ statt. Wie sämtliche Pflanzenphysiologen seiner Zeit betrachtete er die Tracheen, die in Wirklichkeit Wasserleitungsbahnen darstellen, als luftführend und bezeichnete sie daher als Lungen („poumons“) der Pflanzen.⁸⁹

Die Erkenntnis, daß der von den Wurzeln aufgenommene „Saft“ nur im Holzteil aufsteigt, vermochte Bonnet durch weitere Versuche zu bekräftigen, in denen er nachwies, daß über die Außenfläche der Rinde eine gefärbte Lösung nicht in das Innere einzudringen vermag und daß eine Entfernung der Rinde nichts an der Geschwindigkeit ändert, mit der die Farblösung im Holz eines Astes aufsteigt.⁹⁰ Gestützt auf seine eigenen und De la Baisses experimentelle Befunde lehnte Bonnet die Ansicht Stephen Hales', wonach der Saft sowohl in der Rinde als auch im Holz aufsteige, ab.⁹¹ Dasselbe gilt für Hales' Ansicht, daß es keinen absteigenden Saft gebe. Wie De la Baisse stellt sich Bonnet auf den Standpunkt, daß der Saft in der Rinde absteige. Die von Hales gegen einen solchen Saftabstieg angeführten Experimente⁹² betrachtet er als weniger aussagekräftig als die von ihm und De la

⁸⁵Siehe zu diesem Absatz Bonnet, 1754, S. 64–66.

⁸⁶Bei mit Tinte durchgeführten Injektionsexperimenten an etiolierten Bohnen („Haricots“) stellte Bonnet in den Stengeln schwarz gefärbte „Paquets de Fibres Ligneuses, de Fibres destinées à conduire le Suc nourricier“ fest, die er als „Bündel“ („Faisceaux“) bezeichnete. Diese Gefäße bzw. Gefäßbündel, die er bis zur Unterseite der Blätter verfolgen konnte, untersuchte er auch mikroskopisch. (Bonnet, 1754, S. 248–249, 252–254.) Offenbar hatte er den Xylemteil der Leitbündel vor Augen, doch ist jeder weitere Versuch einer Identifizierung der „fibres ligneuses“ mit bestimmten Strukturelementen der Leitbündel aussichtslos, da Bonnets Beschreibungen zu vage und die Zeichnungen zu ungenau sind.

⁸⁷Bonnet, 1754, S. 242–265, 275.

⁸⁸Bonnet unterscheidet generell drei Arten von „Gefäßen“ in den Pflanzen: Tracheen („trachées“), „Holzfasern“ („fibres ligneuses“) und „Schläuche“ („utricules“, d. h. Parenchymzellen) (1754, S. 136). Der Begriff „Holzfasern“ darf hier natürlich nicht rein wörtlich genommen werden, denn er ist so etwas wie ein Sammelbegriff für Strukturelemente, die weder Parenchymzellen noch Tracheen darstellen, worunter auch sklerenchymatische Elemente fallen. Auch der Begriff „Trachee“ ist nicht eindeutig, denn er wurde bis in das 19. Jahrhundert hinein als eine Art Synonym für Spiralgefäße gebraucht. Außer Spiralgefäßen gibt es aber auch noch andere Arten von Tracheen.

⁸⁹Bonnet, 1754, S. 136–138.

⁹⁰Bonnet, 1754, S. 263–265.

⁹¹Bonnet, 1754, S. 283–284.

⁹²Hales, 1969 [1727], S. 73–74 (s. o.).

Baisse gewissermaßen durch direkte Beobachtung der Saftbewegung gewonnenen Ergebnisse.⁹³

Auch Bonnet nimmt, wie De la Baisse, eine Verbindung zwischen dem aufsteigenden und absteigenden Saft an.⁹⁴ Diese Verbindung finde in den Blüten und Blättern statt, in denen die Enden der aus dem Holz stammenden Gefäße mit den Anfängen der Rindengefäße Anastomosen bildeten. Ein unmittelbares Übertreten des Saftes im Stamm und in den Ästen von der Holz- in die Rindenschicht konnte Bonnet in seinen Injektionsexperimenten nicht feststellen.⁹⁵

Bonnet stimmt zwar in einigen bedeutenden Punkten mit De la Baisse überein, doch trifft dies nicht auf den Saftkreislauf zu. Aufgrund der Ausführungen Hales', auf die er verweist, ist Bonnet davon überzeugt, daß es keinen solchen Saftkreislauf gebe.⁹⁶ Seine eigenen Argumente sind zum großen Teil reine *a posteriori*-Erwägungen, die wohl angestellt wurden, nachdem er seine Entscheidung gegen einen Saftkreislauf bereits getroffen hatte. Sie dienen damit nur noch zur weiteren Verdeutlichung und Rechtfertigung des eigenen Standpunkts, jedoch scheinen sie in der Entscheidungsfindung selbst keine Rolle gespielt zu haben. Wenn etwa Bonnet gegen das Vorkommen eines Saftkreislaufs anführt,⁹⁷ es gebe in den Pflanzen keine den Arterien und Venen entsprechenden Leitungsbahnen, so ist dies natürlich korrekt, letztlich aber auch nur eine bloße Behauptung, denn Bonnet stellte ebensowenig wie andere Physiologen detaillierte pflanzenanatomische Untersuchungen an, die ihm ein fundiertes Urteil erlaubt hätten. Sowohl die Befürworter wie auch die Gegner der Saftkreislauftheorie konnten gewissermaßen nach Belieben den von ihnen nur grob unterschiedenen Fasern und Gefäßen die verschiedensten Funktionen und Eigenschaften zuweisen, wie sie ihrem jeweiligen Standpunkt dienlich waren.⁹⁸ Ebenso leicht ließen sich Analogieschlüsse zu den Verhältnissen im Tierreich von beiden Seiten verwenden. Denjenigen, die den Saftkreislauf als Entsprechung zum Blutkreislauf der höheren Tiere betrachteten und aus dieser Analogie ein Argument für sein Vorkommen ableiteten, konnte Bonnet entgegenhalten, daß es auch Tiere ohne Kreislauf gebe.⁹⁹

Ein interessanter Einwand gegen die Saftkreislauflehre stammt aus Bonnets eigenen Forschungen. So gibt er zu bedenken,¹⁰⁰ daß die bisher als starke Beweise für einen Saftkreislauf angeführten „Phénomènes Botaniques“¹⁰¹ nicht zwingend seien und sich alle diese Erscheinungen zwanglos damit erklären ließen, daß eine

⁹³Bonnet, 1754, S. 280–284.

⁹⁴Bonnet, 1754, S. 280–281.

⁹⁵Bonnet, 1754, S. 281. Vgl. dagegen De la Baisse, 1733, S. 34–36.

⁹⁶Bonnet, 1754, S. 269, 285–286.

⁹⁷Bonnet, 1754, S. 286–287.

⁹⁸Vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 317.

⁹⁹Bonnet, 1754, S. 288–289; vgl. Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 458–460.

¹⁰⁰Bonnet, 1754, S. 288.

¹⁰¹Bonnet nennt diese Erscheinungen nicht, es ist aber klar, welche er meint. Hierzu zählen das Frischbleiben von einem abgeschnittenen, verzweigten Ast auch dann, wenn nur ein Zweig mit Wasser in Berührung kommt, das Gedeihen umgekehrt eingepflanzter Stecklinge etc.

enge Verbindung und ein reger Austausch zwischen den verschiedenen Teilen der Pflanze bestehe. Gerade diese enge Verbindung wies Bonnet durch eigene Experimente nach oder leitete sie zumindest daraus ab (s. o.). Alle Teile der Pflanze seien untereinander im Zustand der „succion“. Die von einem Teil aufgenommene Nahrung werde an andere weitergeleitet, die Blätter ernährten sich gegenseitig, und die Wurzel nehme Saft aus dem Stamm auf wie auch umgekehrt der Stamm aus der Wurzel. Mit einem solchen „commerce mutuel“¹⁰² lasse sich auch der Austausch guter und schlechter Eigenschaften zwischen Unterlage und Pfropfreis erklären, der ansonsten als Beweis für einen Saftkreislauf angeführt werde.

Bonnet zieht es vor,¹⁰³ eine Mittelstellung zwischen den Ansichten Hales' und De la Baisses einzunehmen. So gehe ein Teil des Nährsaftes, der in den „fibres ligneuses“ aufsteige, über die Blätter und Blüten in die Rinde über (s. o.) und steige von dort wieder zur Wurzel hinab, ohne daß es jedoch einen echten Kreislauf gebe, d. h., Bonnet geht nicht davon aus, daß der aus der Rinde kommende und in der Wurzel angelangte Saft erneut aufsteigt.

Sein Zugeständnis an Hales besteht darin, daß er in den „fibres ligneuses“ eine alternierende Bewegung des Saftes annimmt, die temperaturabhängig sei.¹⁰⁴ Wenn in der Nacht keine Erwärmung der Blätter und der in den Tracheen enthaltenen Luft mehr stattfinde und demnach die treibenden Kräfte für den Saftaufstieg ausfielen,¹⁰⁵ ziehe sich der Saft in Richtung auf die Wurzeln zurück. Daraufhin werde der vom Boden aufsteigende Tau über die Unterseite der Blätter, an der er kondensiere, aufgenommen und über die Äste in der ganzen Pflanze verteilt.¹⁰⁶

Dadurch, daß sich ein Teil des in den „fibres ligneuses“ enthaltenen Saftes auf- und abbewegt, durch dieses wiederholte „balancement“, erfahre der „rohe

¹⁰²Bonnet, 1754, S. 288. Vielleicht wurde Bonnet zu seinem Konzept einer „étroite communication entre toutes les parties d'une Plante“ und eines „commerce mutuel“ auch durch die besonderen politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse der Republik Genf angeregt.

¹⁰³Bonnet, 1754, S. 289–290.

¹⁰⁴Bonnet, 1754, S. 61–62, 287–288, 290. Vgl. Hales, 1969 [1727], S. 78–79, 84 (s. o.).

¹⁰⁵Zusätzlich zur Transpiration der Blätter als Hauptursache des Saftaufstiegs (s. o.) nahm Bonnet eine unterstützende Wirkung von seiten der Tracheen an. Zwar führt er die Wirkung der Tracheen hier nicht näher aus, doch kann man davon ausgehen, daß er, wie so viele andere Autoren, annahm, daß die Luft, die man sich in den Tracheen enthalten dachte, sich bei Erwärmung ausdehnt und den in den benachbarten „fibres ligneuses“ enthaltenen Saft nach oben preßt. Einen solchen Mechanismus beschreibt Bonnet in seiner „Contemplation de la nature“ (Bonnet, 1781, Bd. 7, S. 319). Kapillarkräfte als Ursache des Saftaufstiegs lehnt Bonnet aufgrund von Injektionsexperimenten an getrockneten Zweigen von Rosen- und Holundersträuchern sowie Aprikosen- und Pfirsichbäumen ab (Bonnet, 1754, S. 266–267). Während diese nämlich im grünen Zustand rasch Tinte aufsaugten, wiesen sie im trockenen Zustand keinerlei Färbung auf. Bonnet setzte offenbar voraus, daß sich, wäre die Kapillarität für den Saftaufstieg verantwortlich, kein Unterschied zwischen dem Verhalten frischer und trockener Zweige hätte ergeben dürfen. Den Einwand, die Öffnungen der Gefäße hätten sich durch den Austrocknungsprozeß geschlossen, läßt Bonnet nicht gelten, denn bei den Rosen seien die Gefäßöffnungen nach wie vor so weit, daß man sie mit bloßem Auge sehen könne.

¹⁰⁶Bonnet, 1754, S. 61–62.

Saft“ („Suc grossier“) bereits eine Art von Verarbeitung. Die Verarbeitung des Saftes werde in den feineren Gefäßen („Vaisseaux plus déliés“) und den Parenchymzellen („Utricules“) vollendet, während der überflüssige Saft über die Blätter verdunste.¹⁰⁷

Später, in seiner „Contemplation de la Nature“, vertritt Bonnet nur noch die Vorstellung eines temperaturabhängigen „balancemen[t]“ des Saftes in den „fibres ligneuses“, nach Art des Auf- und Absteigens der Flüssigkeit in einem Thermometer. Ein Absteigen eines Teils des Safts in separaten Gefäßen der Rinde will er dagegen nun nicht mehr annehmen.¹⁰⁸ Bei näherer Betrachtung dieser späteren Ausführungen Bonnets gewinnt man den Eindruck, er schreckte inzwischen – genauso wie einst Hales – vor jeglichem Zugeständnis eines absteigenden Saftes in separaten Gefäßen zurück, um sich auf gar keinen Fall auch nur im entferntesten der Saftkreislauflehre zu nähern, obwohl, wie allgemein erkannt worden war,¹⁰⁹ aus der Existenz eines absteigenden Saftes noch lange nicht auf einen echten Saftkreislauf geschlossen werden konnte.

4.3 Duhamel du Monceau und seine „Physique des Arbres“

Unzweifelhaft bildet Duhamel du Monceaus „Physique des Arbres“ den Höhepunkt pflanzenphysiologischer Forschung in der Mitte des 18. Jahrhunderts. Kein anderes Werk kann ein vergleichbares Repertoire an experimentellen Befunden und Beobachtungen aufweisen wie dieses Handbuch, das nicht nur durch aufmerksames und kritisches Sammeln von Daten aus der Fachliteratur entstand, sondern auch Duhamels langjährige Erfahrung aus eigener Forschungstätigkeit bezeugt.

Duhamel du Monceau¹¹⁰ (1700–1782) behandelt in den beiden Bänden seiner „Physique des Arbres“ sämtliche relevanten Fragestellungen einer an den Lebensprozessen der Holzpflanzen interessierten Wissenschaft: Anatomie der Stämme, Äste und Wurzeln der Bäume unter funktionalem Aspekt; Aufbau, Gestalt und Funktion der Knospen, Blätter, Blüten und Früchte; Keimung der Samen; Längen- und Dickenwachstum des Stammes und der Wurzeln; Bewegungserscheinungen bei Pflanzen; die verschiedenen Arten des Pfropfens.

Das letzte Buch, das in drei Kapitel unterteilt ist, umfaßt die „économie des végétaux“, also die Pflanzenphysiologie im engeren Sinne. Zu diesem Themenkomplex zählt u. a. die Aufnahme, Zusammensetzung und weitere Verarbeitung des Nährsaftes, etwa die alte Frage, ob alle Pflanzen ein- und denselben Nährsaft aus der Erde aufnehmen und ihn erst später zu artspezifischen Produkten aufbe-

¹⁰⁷Bonnet, 1754, S. 290.

¹⁰⁸Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 444–453.

¹⁰⁹Vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 314, 325.

¹¹⁰Zu Duhamel du Monceau s. Portal et al., 1983; Gautheret et al., 1984; Viel, 1985; Dupont de Dinechin, 1999.

reiten oder ob artverschiedene Pflanzen von vornherein auch verschiedene „Säfte“ aufnehmen. Ferner zählen hierzu alle Fragen, die die Bewegung und den Transport des Saftes in der Pflanze betreffen, d.h. Ursache und Mechanismen des Saftaufstiegs, Bahn des Saftes innerhalb des Baumes, Abhängigkeit der Saftbewegung und ihrer Geschwindigkeit von der Jahreszeit. Dies alles leitet zu der weiterführenden Fragestellung über, inwieweit es in den Pflanzen nicht nur einen aufsteigenden, sondern auch einen absteigenden Saft gibt, und schließlich zu der Frage, ob in den Pflanzen ein echter Kreislauf, „une vraie circulation“, vorkommt:

„Toutes ces recherches [zum Safttransport] paroîtroient devoir nous conduire à la solution d’une grande question qui a partagé les Physiiciens: *La seve circule-t-elle ou non dans le corps des plantes?*“¹¹¹

Wie diese Formulierung Duhamels belegt, stellte auch für ihn die Frage des Saftkreislaufs „une grande question“ dar, die er übrigens gleich von Anfang an als „indécise“ bezeichnet¹¹².

Als Duhamel du Monceau 1758 seine beiden Bände zur „Physique des Arbres“ publizierte, konnte er bereits auf drei Jahrzehnte eigener intensiver und fruchtbarer Forschungstätigkeit auf den verschiedensten Gebieten zurückblicken. Zu seinen ersten wissenschaftlichen Publikationen zählt sein 1729 der Académie Royale des Sciences präsentiertes Mémoire „Recherches physiques de la cause du prompt accroissement des Plantes dans les tems de pluyes“.¹¹³ Duhamel entwickelt darin eine Theorie zum Mechanismus des Saftaufstiegs in den Pflanzen, deren wesentliche Elemente er teilweise wörtlich in seine naturgemäß viel breitere Darstellung in der „Physique des Arbres“ inkorporierte.

Ausgangspunkt für Duhamels *Mémoire* bildete seine Vermutung, daß die in der Regel vegetationshemmende Wirkung von Trockenheit und Hitze und die vegetationsfördernde Wirkung des Regens nicht allein eine Folge des Wassermangels bzw. der Wasserzufuhr sein können. Diese Vermutung stützte er auf die Beobachtung, daß Wasserpflanzen, wie z. B. Seerose („Nymphaea“) und Wasserkresse („Cresson de fontaine“), genauso wie Landpflanzen davon profitieren, wenn es regnet. So stellte Duhamel öfters mit Erstaunen fest, daß diese Pflanzen, wenn man sie abschneide, in Trockenzeiten doppelt so lange benötigten als in niederschlagsreichen Zeiten, um wieder die Wasseroberfläche zu erreichen.¹¹⁴ Durch einen Wassermangel ließ sich dieser Unterschied natürlich nicht erklären, da diese Pflanzen ja ständig von Wasser umgeben sind. Duhamel erwähnt ferner die „bekannte Erfahrung“, daß das Besprengen von Pflanzen mit Wasser, um welche Art von Wasser es sich auch handele, den Pflanzen in Zeiten schönen Wetters nicht so viel nütze wie ein warmer Regen oder selbst der Tau. Finde das „arroisement“

¹¹¹Duhamel du Monceau, 1758, Bd. I, S. 26; Hervorhebung im Original.

¹¹²Duhamel du Monceau, 1758, Bd. I, S. 27.

¹¹³Duhamel du Monceau, 1733a.

¹¹⁴Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 495–496.

dagegen bei bewölktem Himmel statt, so bewirke die Bewässerung selbst dann, wenn kein Regen falle, Wunder.¹¹⁵

Duhamel nimmt seine Beobachtungen zum Anlaß, eine Theorie zum gesamten Mechanismus der Saftaufnahme und des -aufstiegs zu entwickeln. Als erstes geht er davon aus,¹¹⁶ daß die erste „préparation“ des von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommenen „Saftes“ (d. h. Wasser mit darin gelösten Stoffen) bereits im Erdboden selbst stattfindet, indem die darin enthaltenen Flüssigkeiten die festen Bestandteile der Erde von einander trennen und in Lösung bringen. Die Sonnenwärme sowie warme, südliche Winde „verdünnten“ („raréfiant“), die Kälte der Nacht, Nordwinde sowie kalte Regengüsse „verdichteten“ („condensant“) die Flüssigkeiten, so daß die festen Bestandteile einer kontinuierlichen und wechselnden mechanischen Einwirkung unterworfen seien, was den Lösungsprozeß fördere.

Duhamel will zwar gerne mit Grew annehmen, daß der in der Erde auf eine erste Weise zubereitete Nährsaft in einer stark verdünnten, ja dampfförmigen Form in die Wurzeln eintritt, hält es aber für unwahrscheinlich, daß der Saft allein aufgrund seiner „légereté“ und seiner „force centrifuge“ bis zu den Wipfeln der Bäume aufsteigen oder gar die Kraft aufbringen könne, Blätter, Blüten und Früchte hervorzubringen und das gesamte Wachstum der Pflanze zu bewirken. Außerdem stehe durch Erfahrung fest, daß der größte Teil des Saftes als Flüssigkeit aufsteige. So trete „dans le tems de la sève“¹¹⁷ der Saft in Tropfenform aus durchschnittenen Wurzeln aus.¹¹⁸

Auf der Suche nach einem geeigneteren Mechanismus des Saftaufstiegs nimmt Duhamel Anleihen aus bereits bestehenden Vorstellungen und kombiniert sie neu.¹¹⁹ Die Saftgefäße seien in ihrem Inneren mit einer „substance médullaire“, einem „coton très fin“ versehen. Malpighi habe dies beobachtet, und auch er selbst habe diese Strukturen „ziemlich deutlich“ („assez clairement“) in den „principaux vaisseaux“ einiger Pflanzen gesehen.¹²⁰ Dieser „coton“ habe viele dazu veranlaßt, zu glauben, der Saft steige in den Pflanzen auf dieselbe Weise auf, wie Wasser in einem Stück Stoff, das mit einem Ende eintaucht. Dies sei die Ansicht Malpighis und Rays gewesen, und auch die Funktion, die Grew dem Parenchym zuschreibe, möchte Duhamel in diesem Sinne interpretieren.¹²¹ Gestützt auf die Experimente

¹¹⁵Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 496–497.

¹¹⁶Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 500–501.

¹¹⁷d. h. zu Beginn der Vegetationsperiode bzw. zur Zeit des „Blutens“ einiger Bäume im Vorfrühling

¹¹⁸Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 501–502.

¹¹⁹Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 502–503.

¹²⁰Eventuell sind die Thyllen (Füllzellen) gemeint, die in verletzte Gefäße einwachsen. Eine entsprechende Abbildung findet sich in Malpighi, 1686, Taf. IV, Fig. 21.

¹²¹Duhamel setzte sich offenbar nicht im Detail mit den Ansichten Malpighis, Rays und Grews zum Mechanismus des Saftaufstiegs auseinander. Malpighi stellte sich diesen Mechanismus ganz anders vor (s. o., Kap. 2.4), und Grew meinte mit „Bladders“ echte Parenchymzellen, die die Saftgefäße umgeben, und keine in ihnen enthaltenen.

De La Hires¹²², geht Duhamel jedoch davon aus, daß das Wasser auf diese Weise niemals große Höhen erreiche. Außerdem lasse dieser Mechanismus die zur (von Duhamel mechanisch gedachten) Entfaltung der Blätter und Blüten nötige Kraft vermissen.

Duhamel deutet daher diesen „Flaum“ („ce duvet“) in den Gefäßen auf andere Weise, nämlich als eine Art von Klappen, die zwar einen Aufstieg des Saftes ermöglichen, aber ein Zurückfließen verhindern. Die treibende Kraft der Saftbewegung sei der Wechsel aus Ausdehnung („raréfaction“) und Kondensation der Luft und der in den Saftgefäßen enthaltenen Flüssigkeiten. Wenn das Volumen dieser Flüssigkeiten zunehme, sie aber wegen der Gefäßklappen nicht nach unten ausweichen könnten, so steige der Saft notwendigerweise nach oben. Verdichte er sich dann wieder (wodurch ein Unterdruck entsteht), so treibe der äußere Luftdruck die in der schwammigen Rinde der Wurzel enthaltene Flüssigkeit in die Gefäße. Die Luft müsse deshalb, aufgrund ihrer Ausdehnung und Verdichtung, als „premier mobile de la sève“ betrachtet werden, genauso, wie das Herz durch seine Kompression und Dilatation die primäre Ursache für die Zirkulation des Blutes darstelle.¹²³

Im Falle des Blutkreislaufs nimmt Duhamel zur Kompensation der Reibungsverluste und anderer verlangsamender Faktoren noch „le battement des artères“¹²⁴, den Druck der festen Teile auf die Gefäße sowie eventuell eine Einwirkung der sich in den Lungen ausdehnenden Luft an. Auch in der Saftbewegung der Pflanzen gebe es vergleichbare Faktoren. So unterliege die in den Tracheen enthaltene Luft einem Wechsel aus Ausdehnung und Zusammenziehung. Die sich abwechselnd aufblähenden und zusammenziehenden Tracheen wirkten auf die benachbarten Saftgefäße ein, zu einer Zeit, zu der sich die in den Saftgefäßen enthaltenen Flüssigkeiten selbst ausdehnen und zusammenziehen („elles-mêmes se raréfient & se condensent“). Dadurch werde der Saft zerkleinert und verfeinert und gleichzeitig die Zirkulation des Saftes beschleunigt.¹²⁵

Der ständige Wechsel aus „raréfaction“ und „condensation“ der Luft, also die atmosphärischen Änderungen, wie sie sich bei Witterungswechseln einstellen, sei somit die Hauptursache für die Saftzubereitung in der Erde und Saftbewegung in den Pflanzen. Dieser Wechsel wirke sich bis auf den Grund von Gewässern aus

¹²²Siehe De La Hire, 1693.

¹²³Siehe zu diesem Absatz Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 503–504.

¹²⁴Gemeint ist die Ausdehnung der Arterien durch den Blutstrom, der vom Herzen in die Gefäße gepreßt wird, und die nach Erschlaffung des Herzens erfolgende Zusammenziehung der Gefäßwände aufgrund ihrer Elastizität (vgl. Eckert, 1986, S. 506).

¹²⁵Siehe zu diesem Absatz Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 504–505. Duhamels Ausführungen enthalten z. T. auch Ungereimtheiten. Da sich nämlich die in den Saftgefäßen enthaltenen Flüssigkeiten selbst („elles-mêmes“) verdünnen und verdichten sollen, hängt ihre Rarefaktion und Kondensation offenbar nicht von der Verdünnung und Verdichtung der Luft ab. Es sind somit zwei voneinander unabhängige Prozesse, was durch die Bezeichnung der Luft als „premier mobile de la sève“ (s. o.) nicht immer deutlich zum Ausdruck kommt.

und erkläre, weshalb bei unbeständigem und niederschlagsreichem Wetter nicht nur Land-, sondern auch Wasserpflanzen besser gedeihen.¹²⁶

Wie bereits bemerkt, übernahm Duhamel die in diesem Traktat entwickelten Vorstellungen im wesentlichen auch in seine „Physique des Arbres“,¹²⁷ vertritt sie dort aber nicht mehr in dieser apodiktischen Form. So betrachtet er inzwischen das Vorkommen von Klappen in den Gefäßen der Pflanzen sehr skeptisch.¹²⁸ Ferner berücksichtigt er in der „Physique des Arbres“ auch noch andere Agentien der Saftbewegung, wie die von Hales in ihrer Bedeutung für den Saftaufstieg erkannte Transpiration,¹²⁹ und hält es auch für möglich, daß die magnetische Kraft sowie die Elektrizität einen Einfluß auf die Saftbewegung ausüben¹³⁰.

Auch was Duhamels grundsätzliche Einstellung zur Frage eines Saftkreislaufs betrifft, liefert uns sein Traktat von 1729 erste Hinweise. So spricht er zwar mehrmals von einem Zirkulieren des Saftes, fühlt sich aber veranlaßt, in einer Fußnote klarzustellen, daß er eine „circulation“ des Saftes nicht für erwiesen, sondern lediglich für wahrscheinlich halte.¹³¹ Duhamels Verhalten ist ein weiteres Indiz dafür, daß zur Zeit der Abfassung seines Traktats die Vorstellung einer Saftzirkulation weit verbreitet gewesen sein muß oder zumindest von vielen für denkbar erachtet wurde.¹³²

¹²⁶Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 505–508.

¹²⁷Vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 230–238, 271–276.

¹²⁸Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 238.

¹²⁹Duhamel bestätigt zwar die Halesschen Experimente, hält es aber nicht für erwiesen, daß die Transpiration die alleinige Ursache für die Bewegung des Saftes ist. So könne man auch umgekehrt annehmen, daß die Saftbewegung die Ursache für die Transpiration darstelle. Wenn nämlich die Saftbewegung zunehme, so sollte man auch eine stärkere Transpiration erwarten, wie dies auch bei einer Beschleunigung des Blutstroms zu beobachten sei (Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 249). Ferner gibt Duhamel zu bedenken, daß sich der Saft auch in Zeiten, in denen aufgrund fehlender Beblätterung praktisch keine Transpiration stattfindet, stark bewege. Duhamel (ibid., S. 250–259) bezieht sich hier auf das „Bluten“ (im Frz. als „Tränen“ [pleurs] bezeichnet) des Weins, Ahorns und anderer Bäume im Frühjahr. Zudem nehme das „Bluten“ in dem Maße ab, wie die Transpiration nach Entwicklung der Blätter zunehme.

¹³⁰Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 276.

¹³¹Duhamel du Monceau, 1733a [präsentiert 1729], S. 505, Fußn.: „Si je me sers quelquefois du mot de *circulation* dans ce Mémoire, ce n'est pas que je la regarde comme prouvée & certaine, mais simplement comme probable.“

¹³²Vgl. auch folgende Feststellung in der *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* für das Jahr 1730 (Ausg. Amsterdam, 1733), S. 78: „Quelque mouvement que la Sève ait dans les Plantes, soit celui de circulation, soit tout autre, il faut toujours qu'elle ne demeure pas dans les Vaisseaux sans mouvement.“ Diese Äußerung findet sich in einer Zusammenfassung von Duhamels *Mémoire* desselben Jahres (Duhamel du Monceau, 1733b [präsentiert 1730]) über die für ein Gelingen des Pfropfens notwendigen Entsprechungen zwischen Unterlage und Pfropfreis. Eine Saftzirkulation wird also durchaus als möglich angesehen. Duhamel selbst diskutiert im dazugehörigen *Mémoire* die Saftkreislauflehre nicht, und der Zusammenhang erfordert dies auch nicht. Er erwähnt nur einmal kurz den „système de la circulation“ (Theorie der Zirkulation) als Vorstellung, wonach der Saft zu den Wurzeln zurückkehre. Für seine spezifische Fragestellung berücksichtigt er beide Möglichkeiten, sowohl die einer Rückkehr des Saftes zu den Wurzeln als auch das Ausbleiben eines solchen Rückflusses. An Hand seiner knappen Äußerungen läßt

Während Duhamel in seinen weiteren Aufsätzen botanischen Inhalts, die in den *Mémoires* der Académie Royale des Sciences veröffentlicht wurden, nicht mehr explizit auf die Möglichkeit eines Saftkreislaufs zu sprechen kommt, widmet er, wie bereits erwähnt, diesem Problem in seiner „Physique des Arbres“ eine ausführliche Diskussion, die sehr ausgewogen ist. Duhamel du Monceau ist, wie dies überhaupt für ihn typisch ist, auch in dieser Streitfrage sehr bemüht, sich an die Fakten zu halten, und es ist kein Anzeichen von Voreingenommenheit seinerseits zu verspüren. Duhamel erweist sich in dieser Kontroverse einmal mehr als ein Forscher, der im Stande ist, sich in einer Situation, in der das aus Beobachtung und Experiment gewonnene Datenmaterial für eine Entscheidung nicht ausreicht, zurückzuhalten und sich nicht auf voreilige Schlüsse und Theorienbildung einzulassen. Es ist seine generelle Skepsis gegenüber den „systèmes“, den großen Theorien, die ihn davor bewahrt, sich vorschnell auf eine bestimmte Seite zu schlagen.¹³³

Zu den Anhängern eines Saftkreislaufs zählt Duhamel Malpighi, Major, Parent, Mariotte und De La Hire, unter den Gegnern erwähnt er Dodart, Duclos, Magnol, Hales und Bonnet.¹³⁴ Es ist anzunehmen, daß er Majors Arbeit nicht selbst kannte, sondern von diesem „Médecin de Hambourg“ und seiner Dissertation „De planta monstruosa Gottorpiensi“ nur aus dem Vorwort von Perraults Monographie zum Saftkreislauf erfuhr. Desgleichen ist wahrscheinlich, daß Duhamel die Behauptung, Malpighi habe einen Saftkreislauf angenommen, nicht Malpighis Werken selbst, sondern der *Histoire de l'Académie royale des sciences* für das Jahr 1709¹³⁵ entnahm. Bis jetzt ließ sich jedenfalls in Malpighis Werken kein entsprechender Hinweis finden.¹³⁶

Als erstes stellt Duhamel klar, daß es sich nur um die Frage handeln könne, ob es eine „véritable circulation“ gebe, bei der der absteigende Saft sich mit dem von der Wurzel aufgenommenen vermische und erneut aufsteige, es sich also um einen geschlossenen Kreislauf handele.¹³⁷ Bloße Bewegungen der in den Pflanzen enthaltenen Flüssigkeiten in unterschiedliche Richtungen nähmen auch die Gegner eines Saftkreislaufs an.

Duhamel erkennt im Grunde genommen keines der zahlreichen Argumente zugunsten eines Saftkreislaufs als überzeugend an. So hält er es zwar für erwiesen, daß der von den Wurzeln aufgenommene rohe „Saft“ in den Pflanzen einer Verarbeitung unterworfen werde,¹³⁸ nicht aber, daß dieser Verarbeitungsprozeß,

sich leider nicht erschließen, ob für ihn der Begriff „système de la circulation“ einen echten, geschlossenen Kreislauf bedeutet oder lediglich das Vorkommen eines absteigenden Saftes.

¹³³Siehe zu dieser Eigenschaft Duhamels auch Viel, 1985.

¹³⁴Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 313.

¹³⁵Ausg. Amsterdam, 1711, S. 56.

¹³⁶Siehe oben, Kap. 2.4.

¹³⁷Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 313–315.

¹³⁸Magnol, der die Saftkreislauflehre kompromißlos bekämpfte, versuchte nachzuweisen, daß in den Pflanzen keine umfangreiche Verarbeitung des aufgenommenen Saftes stattfinde. Auf diese Weise wollte er einem der Hauptargumente der Befürworter eines Saftkreislaufs, wonach der

über dessen Verlauf man so gut wie nichts wisse, unbedingt einen Kreislauf des Saftes erfordere.¹³⁹ Zwar nehme man unterschiedliche Arten von Gefäßen in den Pflanzen wahr, doch lasse sich über deren Funktion letztlich nichts Bestimmtes aussagen. Duhamel hat hier klar erkannt, daß den Pflanzengefäßen willkürlich Funktionen zugeschrieben werden konnten und auch wurden, je nachdem, welche physiologische Theorie man gerade vertrat.

Auch die zahlreichen Experimente, die die Möglichkeit einer Umkehrung der Safttransportrichtung zeigten, sowie die Versuche, die darauf hindeuteten, daß es auch einen absteigenden Saft gebe, bewiesen eben nicht, daß es auch eine „véritable circulation“ gebe.¹⁴⁰ Abgesehen davon waren sich bereits die Gegner der Saftkreislauflehre uneins, ob der aufsteigende und der absteigende Saft jeweils eigene Gefäße besitzen, wie dies etwa Dodart angenommen habe, oder ob der Saft in ein und denselben Gefäßen eine alternierende Bewegung, „un mouvement de balancement“, aufweise, wie Hales meine.¹⁴¹ Eine Verbindung zwischen auf- und absteigendem Saft, wie sie von De la Baisse (s. o.) und Bonnet aufgrund von Injektionsexperimenten behauptet worden sei, erkennt Duhamel an, auch wenn ihm dieser Nachweis in seinen eigenen Färbungsexperimenten nicht gelungen sei.¹⁴²

hohe Grad der Saftverarbeitung wegen der dafür erforderlichen Zeit und Prozesse nur durch einen Kreislauf desselben denkbar sei, die Spitze nehmen. Magnol stellte den Stengel einer blühenden Tuberose eine Nacht lang in den Saft von *Solanum racemosum*, der mit ein wenig Wasser verdünnt war. Die Tuberose verfärbte sich durch diesen „lackfarbenen“ („couleur de laque“; wahrscheinlich ist damit eine rötliche Färbung gemeint) Saft rosa. Magnol war der Ansicht, der aufgesaugte Saft, der diese Verfärbung hervorgerufen und somit („par conséquent“) die Pflanze „très-intimement“ ernährt habe, sei keiner starken Veränderung unterlegen (*Histoire* der Académie für das Jahr 1709, Ausg. Amsterdam 1711, S. 60). Duhamel hält diese Argumentation natürlich nicht für stichhaltig und beruft sich hierbei auf seine eigenen Experimente, in denen sich nach Verfütterung von „Garence“ (Färberröte) die Knochen verschiedener Tiere rot verfärbten (s. v. a. Duhamel du Monceau, 1743 [präsentiert 1739] u. 1747 [präsentiert 1742]). Genaugogut könne man nämlich behaupten, der Chylus mache keine Veränderung im Körper dieser Tiere durch (was natürlich unsinnig ist), da die Farbe der „Garence“ bis zu den Knochen gelange (Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 323).

¹³⁹Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 315–318, 323.

¹⁴⁰Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 318–319.

¹⁴¹Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 314, 325.

¹⁴²Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 325–326. Genau genommen nahm Bonnet zwar eine „étroite communication“ zwischen beiden Säften an (s. o. [Bonnet, 1754, S. 280–281]), doch ist der von Duhamel behauptete Zusammenhang mit Injektionsexperimenten bei Bonnet nicht ganz so deutlich wie bei De la Baisse. Duhamel schreibt (1758, Bd. II, S. 325): „... M. de la Baisse prouve qu'il y a une communication entre le suc montant & le suc descendant, en assurant qu'il a vu le suc propre prendre une couleur violette dans des Thyrimales qui avoient pompé la teinture du *Phytolacca*: M. Bonnet dit avoir entrevu la même chose dans des feves qui avoient pompé pendant quelques jours la teinture de Garence; ces feves avoient contracté extérieurement une couleur de Lilas qui paroissoit plus foncée vers le sommet de leur tige que vers le bas.“ Wahrscheinlich bezog sich Duhamel auf die folgende Äußerung Bonnets (1754, S. 244): „Des Fèves laissées 8 jours dans la *Garance* s'y sont fort colorées. Toutes les Racines y ont pris une teinte de Rouge très foncée, & principalement à leurs extrémités. La partie supérieure de la Tige, celle qui n'a point trempé dans l'Infusion, est devenuë d'un assez beau

Duhamel hält es ferner nicht für überzeugend, wenn die Anhänger der Saftkreislauflehre die Schäden, die eine Pflanze in ihrer Gesamtheit erleidet, wenn Teile von ihr etwa durch Verbiß oder Frost in Mitleidenschaft gezogen werden, mit Hilfe eines Saftkreislaufs erklären wollen,¹⁴³ durch den sich der verderbte Saft über den gesamten Pflanzenkörper ausbreite. Zum einen beobachtete man oftmals eine Erholung der Pflanzen, auch ohne daß man die betroffenen Teile entferne, zum anderen ließen sich die Schäden auch leicht auf andere Weise erklären, etwa durch eine Unterbrechung der Transpiration.¹⁴⁴ Genauso leicht fällt es Duhamel, weitere von Perrault im Sinne der Saftkreislauflehre interpretierte Phänomene, wie die Schwächung von Bäumen durch Mistel- und Moosbefall sowie durch Entfernung der Blätter,¹⁴⁵ ohne Zugrundelegung eines Saftkreislaufs zu deuten.¹⁴⁶

Duhamel lehnt nicht nur sämtliche Argumente zugunsten eines Saftkreislaufs als nicht beweiskräftig ab, sondern er fällt dieses Urteil auch über die Argumente, mit denen die Gegenseite die Nichtexistenz eines solchen Kreislaufs definitiv beweisen wollte. Scharfsinnig widerlegt er z. B. einen von Hales gegen den Saftkreislauf vorgebrachten Einwand mit dessen eigenen Ansichten.¹⁴⁷ Hales' Einwand,

Lilac.“ Wie man sieht, ist diese Feststellung Bonnets nicht ohne weiteres mit den Äußerungen De la Baisses gleichzusetzen, sondern wurde von Duhamel in diesem Sinne interpretiert. Dies ändert natürlich nichts an der Tatsache, daß Bonnet, wie bereits erwähnt, aufgrund anderer Überlegungen von einer Verbindung zwischen auf- und absteigendem Saft überzeugt war (s. o.).

¹⁴³Siehe Perrault, 1721 [1680], S. 80.

¹⁴⁴Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 319–320.

¹⁴⁵Perrault, 1721 [1680], S. 80–83.

¹⁴⁶Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 320–321. Wie gewissenhaft und unvoreingenommen Duhamel die Ausführungen Perraults studierte, zeigt sich daran, daß er bei einem der Experimente Perraults zugibt, es könnte beweiskräftig sein, vorausgesetzt, es werde mit der nötigen Sorgfalt ausgeführt (Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 322). Es handelt sich um folgenden Versuch (s. Perrault, 1721 [1680], S. 86–87): Perrault riß einige Exemplare einer nicht näher bezeichneten Pflanzenart aus, schnitt einigen davon die Wurzel ab und verschloß die Wundfläche mit Wachs, um zu verhindern, daß an dieser Stelle Flüssigkeit austritt, während er die anderen intakt ließ. Er beobachtete, daß erstere viel schneller austrockneten als letztere und führte dies darauf zurück, daß sich in den intakten Exemplaren der Saftkreislauf habe aufrechterhalten können, während er in den anderen durch Entfernung der Wurzel unterbrochen worden sei. Dagegen lasse sich auch nicht einwenden, in den intakt belassenen Pflanzen habe die Wurzel den in ihr enthaltenen Saft dem Rest der Pflanze zur Verfügung gestellt, denn in diesem Fall hätte die Wurzel früher austrocknen müssen als der Rest der Pflanze, was aber nicht geschehen sei. Duhamel gibt zu bedenken, es sei nicht einfach, diesen Versuch mit der nötigen Exaktheit auszuführen. Die Pflanzen müßten dieselbe Masse haben und die Blätter dieselbe Oberfläche, damit das Ausmaß der Transpiration gleich sei.

¹⁴⁷Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 324. Hales (1769 [1727], S. 80) erachtete es als ein „very considerable argument against a circulation“, daß eine auf eine gewöhnliche Eiche („English Oak“) gepfropfte immergrüne Eiche („Ilex“) nach wie vor im Winter ihre Blätter behalte, wofür doch im Falle einer „free uniform circulation“ des Saftes durch Pfropfreis und Unterlage kein Grund bestehe. Diese Überlegung ist natürlich nur stichhaltig, wenn man davon ausgeht, daß es durch den Saftaustausch auch zu einer Übertragung der Eigenschaften kommt. Nun sei Hales selbst aber der Ansicht, wie Duhamel betont, daß unter bestimmten Umständen der Saft eine retrograde bzw. alternierende Bewegung aufweise. Dies würde bedeuten, daß der Saft des Reises

im Falle eines Saftkreislaufs wäre angesichts der großen Menge an transpirierter Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Saftbewegung sehr hoch,¹⁴⁸ erachtet er natürlich auch nur als eine „raison de convenance“.¹⁴⁹

Nach seiner ausführlichen Besprechung des Für und Wider der Saftkreislauftheorie gibt Duhamel folgendes Resumée ab:

„Je crois donc le retour des liqueurs vers les racines bien prouvé; mais je n’ai garde d’en conclure affirmativement la circulation de la seve. Il me paroît que toutes les preuves qu’on a apportées pour établir cette circulation sont insuffisantes; je ne vois pas que les raisons qu’on allegue pour prouver qu’elle n’existe point soient assez fortes; ainsi je conclurai qu’il ne faut pas encore regarder cette question comme décidée, mais qu’il faut faire de nouveaux efforts pour pouvoir parvenir à l’éclaircir d’une maniere bien évidente.“¹⁵⁰

So sah sich Duhamel du Monceau nach einer ausgewogenen Diskussion der Argumente für und gegen einen Saftkreislauf aus Mangel an aussagekräftigen Beobachtungsdaten außerstande, in dieser komplizierten Frage ein endgültiges Urteil zu treffen. Diese Haltung Duhamels hätte umso mehr Wirkung entfalten müssen, als er über einen Erfahrungsschatz auf dem Gebiet der „œconomie végétale“ verfügte, wie ihn sonst kaum ein anderer besaß. Doch keiner der nachfolgenden Autoren würdigte die Ausgewogenheit des Duhamelschen Urteils.

gelegentlich in die Unterlage hinabsteige, während der Saft der Unterlage manchmal in das Reis aufsteige. Da trotzdem Unterlage und Reis ihre Laubfalleigenschaften behielten, müßten diese Eigenschaften demnach von den festen Teilen und nicht vom Saft abhängen, d. h. sie sind nicht geeignet, um eine Aussage über die Saftbewegung zu treffen. Würde Hales annehmen, diese Eigenschaften hingen vom Saft ab, so würde er mit seinem oben genannten Argument nicht nur die Saftkreislauflehre, sondern auch seine eigene Ansicht von der alternierenden Saftbewegung widerlegen.

¹⁴⁸Siehe oben, S. 64.

¹⁴⁹Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 324.

¹⁵⁰Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 326.

5. Die Saftkreislauflehre im deutschsprachigen Raum in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts

Wie in England und Frankreich wurde auch im deutschsprachigen Raum in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Saftkreislauflehre aufgegriffen. Als Anhänger dieser Theorie konnten der Gießener Professor für Physik und später Medizin Johann Melchior Verdries (1679–1736) sowie sein Schüler Johann Christoph Schmidt nachgewiesen werden. Undeutlicher ist die Situation bei Christian Wolff (1679–1754) und seinem Schüler Philipp Thümmig (1697–1728). Thümmig stützt sich bei seiner Erklärung der vegetativen Vermehrung durch Blattstecklinge auf die Annahme eines Saftkreislaufs, doch sind seine Ausführungen nicht detailliert genug, um mit Gewißheit feststellen zu können, ob er von einem echten Saftkreislauf ausging, bei dem der zu den Wurzeln zurückgekehrte Saft oder Teile davon erneut aufsteigen. Wolff selbst scheint letztendlich keine echte Zirkulation angenommen zu haben, auch wenn er sich sehr positiv über die Arbeiten Majors, Mariottes und Perraults äußert. Wegen seines großen Einflusses als einer der führenden Protagonisten der deutschen Aufklärung und seines engen Verhältnisses zu Thümmig werden auch Wolffs pflanzenphysiologische Vorstellungen ausführlich behandelt.

5.1 Johann Melchior Verdries (1679–1736)

Johann Melchior Verdries¹ ist der erste nachweisbare Vertreter der Saftkreislauflehre im deutschen Sprachraum nach Johann Daniel Major. Die Schrift, in der er diese Ansicht wahrscheinlich zum ersten Mal vertritt, ist dem Titel nach eine Dissertation von Johannes Christoph Franck aus Bremen, der 1707 unter Ver-

¹Verdries studierte in Gießen, Jena und Halle Medizin. Nach seiner Ernennung zum Lizenziaten der Medizin 1702 in Gießen begab er sich auf eine Studienreise nach Sachsen, Berlin und Holland. 1707 wurde er zum a. o., 1710 zum o. Prof. für Physik an der Universität Gießen ernannt. 1720 wurde er o. Prof. der Medizin an derselben Universität. (Siehe *Deutsche Biographische Enzyklopädie*, hrsg. v. Walther Killy u. Rudolf Vierhaus, Bd. 10, München: K. G. Saur, 1999, S. 195.) Zu detaillierten Informationen über Verdries' Leben und Werk s. Strieder, 1812, S. 289–295 (*Deutsches biographisches Archiv*, I, Mikrofiche 1304, Aufnahme 373–379).

dries' Vorsitz an der Universität Gießen über den Kreislauf des Nährsaftes in den Pflanzen disputierte. Den Gepflogenheiten der Zeit entsprechend können jedoch die von Franck vertretenen Ansichten dem Praeses, also Verdries, zugeordnet werden. Außerdem bezeichnete Verdries selbst an anderer Stelle diese Dissertation als seine eigene.²

In der Vorrede gibt sich der Autor nach der üblichen Desavouierung konkurrierender philosophischer Systeme als Cartesianer zu erkennen, auch wenn er Descartes nicht namentlich erwähnt. So möchte Verdries das Pflanzenleben allein durch die „kunstgerechte Anordnung der Materie“ („*materiae concinna dispositione*“) und eine „passende Bewegung“ („*motu convenienti*“), also mechanistisch, erklären. Das Pflanzenleben hänge von einer kontinuierlichen Zirkulation flüssiger, der Konsistenz und Mischung nach passender Teile durch die gebührend angeordneten festen Teile ab:

„*Vitam plantarum tantum expendamus: Quid non ad illam explicandam commentum sunt Philosophi? cum, si rem curatius examinemus, solius materiae concinna dispositione & motu convenienti totum absolvatur negotium. Videlicet, si Naturam loquentem audiamus, Vita plantarum dependet a continuo partium fluidarum, quoad consistentiam atque mixtionem legitime se habentium, per solidas, rite coordinatas & dispositas, in circulum motu.*“³

Unter „*circuitus*“ bzw. „*circulatio*“ des Nährsaftes („*succus nutritius*“) versteht Verdries eine Bewegung („*motus*“), „*quo succus plantarum nutritius a principio, radicibus, ad extrema, ramorum divaricationes, folia, flores & fructus, & ab his, flexo itinere, ad illud rursus, circumfertur.*“⁴ Verdries postuliert somit einen echten, geschlossenen Kreislauf des Nährsaftes. Unter „Nährsaft“ versteht er den wässrigen Saft, der die „Röhren“ („*tubuli*“), Poren, Höhlungen und Interstitien der Pflanzen anfülle und als Transportmittel für die Nährstoffe („*partes alibiles*“) diene. Die Nährstoffe seien bereits im Regenwasser enthalten oder stammten aus dem Erdboden. Das mit ihnen angereicherte Wasser werde in die Wurzeln hineingetrieben („*intrudere*“), in „*fistulae*“ und „*fibrae*“ weitergeleitet und setze die gelösten Teilchen an den passenden Stellen ab. In den Blättern angelangt, werde das Wasser zum Teil transpiriert, zum Teil kehre es, inzwischen durch Verlust der aktiveren Teilchen „*roher*“ („*crudior*“) geworden und „*geschwächt*“ („*effoeta*“),

²Siehe Verdries, 1720, S. 608, 610.

³Prooemium, [S. 3]. Vgl. S. 29–30.

⁴Verdries, 1707, S. 2; vgl. Verdries' Definition der Pflanze in seinem „*Conspectus philosophiae naturalis*“ (Verdries, 1720, S. 605–606, Hervorhebung nicht im Original): „*Plantae sunt corpora organica, sive machinae hydraulico-pneumaticae, vario partium organicarum sapientissime coordinatarum & juncturarum apparatu constantes, terrae radicibus suis infixae, atque succo vitali, cujus continuo in orbem redeuntis influxu, actiones, tum individui, tum speciei conservationi dicatae absolvuntur, animatae; ab initio mundi creatae, & hodiernum adhuc, vi benedictionis Divinae, ex seminibus provenientes.*“

durch andere Leitungsbahnen zu den Wurzeln zurück, um dort von neuem verarbeitet und mit einem neuen Vorrat an Nährstoffen versehen zu werden sowie erneut aufzusteigen.⁵ Das Wasser diene zwar dazu, die Teile der Pflanze anzufüllen und auf diese Weise auszudehnen („distendere“) und sie zu benetzen, und ohne Wasser sei bekanntlich keine Landwirtschaft möglich, doch fungiere es in der Hauptsache als Lösungs- und Transportmittel für die eigentlichen Nährstoffe, ohne jedoch selbst in die pflanzliche Substanz inkorporiert zu werden.⁶ Die Ansicht derjenigen (u. a. Francis Bacon, Robert Boyle, Van Helmont), die die gesamte pflanzliche Substanz, ja auch die sonstigen Körper aus Wasser entstanden sein lassen,⁷ lehnt er entschieden ab und betont statt dessen die aus der täglichen Erfahrung bekannte vegetationsfördernde Rolle der Dünger sowie die Abhängigkeit vieler Pflanzen von den Bodenverhältnissen. Letzteres wäre ja nicht zu erwarten, wenn Wasser allein für das Gedeihen der Pflanzen verantwortlich wäre. Des weiteren verweist Verdries auf die Experimente Woodwards.⁸

Auch die Luft betrachtet Verdries, abgesehen davon, daß sie für die Atmung der Pflanzen nötig sei,⁹ zwar als Transportmittel für darin enthaltene Stoffe, nicht jedoch als Nahrungsmittel *per se*. Zwar habe Senguerd experimentell die lebenswichtige Rolle der Luft für das Gedeihen der Pflanzen und ihre Keimung nachgewiesen¹⁰ und gebe es bekannte Beispiele für Pflanzen, die allein an der Luft gedeihen, doch gelte es zu bedenken, daß zu wenig zwischen der Luft selbst und den in ihr enthaltenen Stoffen unterschieden werde.¹¹ Verdries verwirft auf diese Weise die Möglichkeit, daß die gasförmige „Luft“ als solche in die Pflanzen inkorporiert und zum Aufbau ihrer Substanz verwendet wird, und schreibt ihr lediglich die Funktion als Vehikel für die eigentlichen Nährstoffe zu. Seine Ausführungen sind ein illustratives Beispiel dafür, wie sich experimentelle Befunde je nach verfolgter Intention deuten lassen.

In seiner „Entdeckungsgeschichte“ des Saftkreislaufs erwähnt Verdries neben Major auch Perrault und Mariotte. Allerdings nennt er nur von ersterem die

⁵Verdries, 1707, S. 2–3, 7, 22–23.

⁶Verdries, 1707, S. 3.

⁷Siehe Kap. 3.1.

⁸Verdries, 1707, S. 4–5.

⁹Vgl. Verdries, 1707, S. 26.

¹⁰Verdries bezieht sich auf folgende Äußerung Senguerds (Senguerdus, 1685, S. 377): „De hac veritate [daß die Pflanzen Luft benötigen] certiores nos reddidit nasturtii hortensis semen, quod, etiamsi sub dio levi excrescat negotio, nullam tamen subibat vicissitudinem, neque Plantae rudimentum efferebat, cum terrae rite praeparatae, ac impositae recipienti e quo crassiorem exantlabam aerem, illud comitterem, quamvis plurimos dies in loco calidiore illa detinerem.“ Senguerd zeigte demnach, daß unter Luftausschluß die Samen der Kresse, die ansonsten schon unter freiem Himmel auskeimen, nicht zur Keimung gelangen.

¹¹Verdries, 1707, S. 6.

entsprechende Schrift mit Titel, während er sich Perrault und Mariotte betreffend mit Jean Baptiste Duhamels Bericht¹² begnügt.¹³

In seiner Argumentation zugunsten eines Saftkreislaufs in den Pflanzen stützt sich Verdries als erstes auf Analogien zwischen dem Pflanzen- und Tierreich. Unter Berufung auf Malpighi, Grew und andere Naturforscher konstatiert er zwischen den Eiern von Tieren und den Pflanzensamen zahlreiche Entsprechungen sowohl in bezug auf Aufbau als auch Bildungsweise.¹⁴ Aber auch hinsichtlich der wesentlichen Strukturelemente der ausgewachsenen Pflanzen stellt Verdries Entsprechungen zwischen pflanzlichen und tierischen Körpern fest. Wie der Tierkörper, so stelle auch der Pflanzenkörper mit seinen flüssigkeits- und luftführenden Gefäßen eine „machina hydraulico-pneumatica“ dar.¹⁵

Um nicht nur auf solche rein theoretischen Argumentationen angewiesen zu sein – auch der übliche Verweis auf die Notwendigkeit eines Saftkreislaufs, damit der Verarbeitung des Safts genügend Zeit zur Verfügung steht, fehlt natürlich nicht –, bemüht sich Verdries, seine Ansicht auch durch Experimente zu untermauern. Im Großen und Ganzen beschränkt er sich jedoch auf eine Zusammenstellung der üblichen Versuche, die zeigen, daß Wasser, auch wenn es nur an einer Stelle aufgenommen wird, prinzipiell über die gesamte Pflanze verteilt werden kann bzw. wird und der Nährsaft seine normale Bewegungsrichtung auch umzukehren vermag.¹⁶

In seinen eigenen Experimenten geht Verdries der Frage nach, inwiefern sich aufsteigender und absteigender Saft unterscheiden und ob die Gefäße Klappen aufweisen, die einen Safttransport nur in einer Richtung erlauben. Als erstes kritisiert er J. B. Duhamels Bericht, wonach in einem Zweigstück einer Ulme und anderer Baumarten, an dessen Enden Trichter aus Wachs zum Einfüllen von Flüssigkeiten angebracht worden seien, Wasser nur vom natürlichen oberen Ende nach unten und „spiritus vini“ (Alkohol) nur von unten nach oben durchgelaufen

¹²J. B. Duhamel, 1700a, S. 67–70.

¹³Verdries, 1707, S. 8–9.

¹⁴Verdries, 1707, S. 9–12.

¹⁵Verdries, 1707, S. 12–13; vgl. Verdries' Definition der Pflanze in seinem „*Conspectus philosophiae naturalis*“ (Verdries, 1720, S. 605–606; s. o., Fußn. 4). Verdries spezifiziert die „Analogie“ im Aufbau von Tier- und Pflanzenkörpern noch näher (1707, S. 12–13): „Deinde, prout in animalibus, ita etiam in vegetabilibus vasa detexit curiosorum industria aere distenta, item alia quae deferendo, alia quae excoquendo alimento, alia quae peculiari succo colligendo inserviunt. Scilicet, sicuti animalium, ita quoque plantarum corpus exhibet machinam hydraulico-]pneumaticam, & planta nihil aliud est, quam fasciculus fibrarum lignearum & fistulosarum in retis formam contextarum, quarum interstitia utriculi vasculis suis instructi replent. Observamus hic varios generis canaliculos venas & arterias aemulantes, utriculos, totidem corcula vel viscera referentes, plurimas tracheas sive aeris receptacula, pulmonum vices, veluti in imperfectioribus animalibus fieri assolet, sustinentia, & tandem peculiaria vascula peculiare humores, lac v. g. resinose quoddam liquidum vel alius generis liquorem, prout in animalibus de vasculis chyloferis, lymphaticis, adiposis constat, continentia.“

¹⁶Verdries, 1707, S. 14–17.

sei.¹⁷ Aus seiner eigenen experimentellen Erfahrung will Verdries keine solchen Unterschiede festgestellt haben, vielmehr hätten sich die Zweige verschiedener Bäume als in beiden Richtungen gleichermaßen durchlässig erwiesen.¹⁸

Verdries griff eine Anregung von Senguerd¹⁹ auf und setzte bei seinen Versuchen zur Permeabilität der Pflanzengefäße auch eine Vakuumpumpe ein, was den Flüssigkeitsdurchtritt beschleunigte. Senguerd war wohl selbst ein Vertreter der Saftkreislauflehre, allerdings nahm er, wie Verdries hervorhebt,²⁰ nicht für alle Pflanzen eine Zirkulation des Saftes an.²¹ Nach der Art der Beschreibung zu schließen²² führte Senguerd selbst seine vorgeschlagenen Experimente nicht aus.

Bei Verdries' Vakuumexperimenten²³ befand sich ein Zweig („ramulus“) mit einem Ende im Rezipienten, aus dem die Luft abgepumpt wurde, während das andere Ende in einen Trichter mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit ragte und von dieser völlig bedeckt war. Der Übergang zwischen Rezipienten und Trichter wurde luftdicht verschlossen. In Folge des Abpumpens der Luft im Rezipienten und des dadurch entstehenden Unterdrucks wurde Wasser unter Einwirkung des äußeren Luftdrucks durch den Zweig getrieben und tröpfelte in den Rezipienten. Das Ergebnis des Experiments sei unabhängig davon, welches Ende des Zweiges

¹⁷Verdries (1707, S. 19) nennt als Quelle J. B. Duhamels „Philosophia vetus et nova“ (vgl. J. B. Duhamel, 1700b, S. 329–330). Inhaltlich derselbe Bericht findet sich auch in der *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* für das Jahr 1709 (Ausg. Amsterdam, 1711, S. 61–62). Bei den beschriebenen Versuchen handelt es sich um Experimente Perraults (vgl. Perrault, 1721 [1680], S. 101–102). Ähnliche Experimente zur Durchlässigkeit von Zweigen für Quecksilber und Wasser wurden bereits 1671 an der Royal Society ausgeführt (s. o., S. 19).

¹⁸Verdries, 1707, S. 19.

¹⁹Senguerdus, 1685, S. 389–391.

²⁰Verdries, 1707, S. 18.

²¹Vgl. Senguerdus, 1685, S. 388–389 (Hervorhebung nicht im Original): „Quum autem probabile sit nutritivum succum in nonnullis Plantis, non modo a radice sursum deferri, sed & aliquam ejusdem portionem, a subsequente mole propulsum, per alios earundem Plantarum tubulos, versus radicem relabi; in aliis autem materiam nutritiam sursum tantum, non vero deorsum procedere; in hisce Plantarum tubulis admittendae videntur valvulae quae sursum, non autem deorsum inclinari possunt, quaeque circularem materiae nutritiae motum avertunt; in illis vero Plantis necessum est plurimos dari tubulos, dotatos valvulis materiam adsurgentem, non vero eam quae ad radicem reditum moliretur, transmittentibus; ac praeter hosce, nonnullos quoque ductus instructos valvulis, quae deorsum inflecti possunt, & materiae descendentis transitum concedunt; [...]“. Aus der hervorgehobenen Passage, wonach in den Pflanzen, deren Saft nur auf-, aber nicht absteigt, Klappen in den Gefäßen den Saftabstieg und damit einen *circularis materiae nutritiae motus* verhindern, läßt sich im Umkehrschluß folgern, daß Senguerd offenbar für diejenigen Pflanzen, in denen der Saft sowohl auf- als auch absteigt, einen Saftkreislauf annahm. Das gleichzeitige Vorkommen eines auf- und absteigenden Saftes scheint ihm für eine solche Annahme zu genügen, ohne daß er näher auf die Frage einging, ob der abgestiegene Saft erneut aufsteigt und es sich somit um einen echten Kreislauf handelt. Die erste Auflage der „Philosophia naturalis“ Senguerds von 1681 enthält übrigens keine Äußerungen zum Thema Saftkreislauf.

²²Senguerd spricht im Futur und verwendet Konditionalsätze.

²³Verdries, 1707, S. 19–21.

sich im Rezipienten befunden habe, dasselbe gewesen.²⁴ Ein solches Ergebnis läßt jedoch, wie bereits Senguerd erkannte,²⁵ keine eindeutige Klärung der Frage, ob die Gefäße der Pflanzen Klappen aufweisen, zu. Deshalb bleibt auch Verdries nichts anderes übrig, als – passend zu seiner Vorstellung von der Saftbewegung in den Pflanzen – zu postulieren, die Gefäße für den Saftauf- und -abstieg ließen eine Bewegung des Saftes nur nach einer Richtung hin zu, ohne jedoch deshalb zwangsläufig mit Klappen ausgestattet sein zu müssen. Die einzigen von Verdries selbst durchgeführten Experimente brachten somit kaum einen Erkenntnisgewinn.

5.1.1 Mechanismus des Saftkreislaufs nach Verdries

Wie bereits erwähnt, will Verdries die Lebensvorgänge der Pflanzen allein unter Zugrundelegung der beiden Prinzipien Materie und Bewegung erklären. In die Wurzeln dringe über deren Härchen, die entsprechende Poren aufwiesen, die mit verschiedenen salzigen, schwefligen und erdigen Stoffen (die als Nährstoffe zu betrachten sind) angereicherte umgebende Flüssigkeit ein. Treibende Kraft hierfür sei der ständige Druck und „Impetus“ des „Äthers“ und der Luft²⁶ sowie die Umgebungswärme.²⁷ Der Impetus des Äthers sei von Gott verliehen, was Verdries zum Anlaß für physikotheologische Erwägungen nimmt.²⁸ Aufgrund seines Impetus sei der Äther, eine äußerst subtile Materie,²⁹ nicht nur selbst ständig in Bewegung, sondern auch in der Lage, beständig andere Körper in Bewegung zu versetzen und so auch den „Saft“, der die Wurzeln umgebe, in diese hineinzutreiben.³⁰ Neben der Wasseraufnahme durch die Wurzeln nennt Verdries die Absorption von Luftfeuchtigkeit durch die Blätter.³¹

Ähnlich wie Malpighi erklärt auch Verdries den Aufstieg des Saftes mit Hilfe einer durch Erwärmung bedingten Expansion der angeblich in den Tracheen enthaltenen Luft, wodurch die benachbarten, den Saft enthaltenden „fistulae“ bzw. „fibrae lignae“ und „utriculi“ (das Parenchym) gedrückt und der Saft auf diese

²⁴Verdries erwähnt in seiner Versuchsbeschreibung nicht, ob der Zweig Blätter trug. Seine Abbildung des Versuchsaufbaus (nach S. 1) zeigt allerdings einen beblätterten Zweig. Ähnliche Versuche wie Verdries führte Johann Jakob Waldschmidt (1644–1689) aus, wie aus einer Gesprächsnotiz Leibniz' vom 27. Oktober (6. November) 1687 hervorgeht (s. Leibniz, 1995, S. 361–362).

²⁵Senguerdus, 1685, S. 391.

²⁶Zur Vorstellung, daß die Luft Erdteilchen in die Poren der Wurzeln treibt, s. a. Senguerdus, 1685, S. 376–377. Da Verdries auch sonst einige Anregungen aus Senguerd übernommen hat, ist es denkbar, daß er auch in diesem Punkt von ihm beeinflusst wurde. Verdries hörte in Leiden Senguerds physikalische Vorlesungen (Strieder, 1812, S. 290).

²⁷Verdries, 1707, S. 21–22, 23.

²⁸Verdries, 1707, S. 24–25.

²⁹Zu den verschiedenen Äthertheorien zur Zeit Verdries', auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, s. Whittaker, 1951–1953, Bd. 1, Kap. 1; Randles, 1999.

³⁰Verdries, 1707, S. 25–26.

³¹Verdries, 1707, S. 17–18.

Weise weitergetrieben werde.³² Die Luft nähmen die Pflanzen aus der Erde auf.³³ Neben ihrer Rolle in der Saftbewegung diene die aufgenommene Luft dazu, dem äußeren Luftdruck ein Gegengewicht entgegenzustellen sowie durch ihre elastischen und aktiven Teilchen die Textur viskoser Pflanzensäfte aufzubrechen und sie auf diese Weise zu verflüssigen.³⁴

Während seines Umlaufs würden die Partikel des Saftes durch den Druck der Spiralgefäße (Tracheen) und das Zusammenstoßen mit anderen Teilchen auf mechanische Weise zerkleinert und in ihrer Gestalt verändert. Diese Verarbeitung des Saftes erfolge ohne Einwirkung eines „Ferments“.³⁵ Verdries postuliert somit eine rein „physikalische“, keine „chemische“ Verarbeitung („Fermentation“) des Saftes.³⁶ Aus den verarbeiteten Saftpartikeln entnahmen die verschiedenen Teile der Pflanze durch eine „vis peculiaris dispositionis mechanicae“ die für sie geeigneten Partikel und inkorporierten sie.³⁷

Diese rein mechanistischen Erklärungen des Flüssigkeitseintritts in die Wurzeln sowie der Saftbewegung und -verarbeitung setzt Verdries anderen konkurrierenden Konzepten entgegen. So lehnt er die aristotelisch-scholastische Vorstellung einer „anima vegetativa“, die aufgrund ihrer verschiedenen „facultates“ die Flüssigkeitsaufnahme, Saftverarbeitung und überhaupt sämtliche Lebensvorgänge regele, strikt ab.³⁸ Nehme man eine Pflanzenseele an, so müsse man auch anderen wasseranziehenden Substanzen wie Wolltuchfetzen und Schwämmen eine ähnliche Seele zuschreiben.³⁹ Im übrigen sei eine mit einem die Wasseraufnahme bewerkstellenden Anziehungsvermögen („*facultas attractrix*“) ausgestattete Pflanzenseele schon deshalb abzulehnen, da Burcherus de Volder⁴⁰ (1643–1709) und Jacob Bernoulli⁴¹ [I] (1654–1705) die Nichtigkeit des Konzepts der Anziehung sowohl in natürlichen als auch künstlichen Dingen gezeigt hätten.⁴² Verdries erweist sich somit einmal mehr als Antinewtonianer.

In seinem „*Conspectus philosophiae naturalis*“, der 13 Jahre nach seiner hier behandelten Dissertation erschien, vertritt Verdries mit den bereits bekannten Argumenten nach wie vor die Vorstellung eines Saftkreislaufs.⁴³ Ein direkter Einfluß läßt sich auf seinen Schüler Johann Christoph Schmidt aus Schweinfurt nach-

³²Verdries, 1707, S. 22, 26–27.

³³Verdries, 1707, S. 26.

³⁴Verdries, 1707, S. 26–27.

³⁵Verdries, 1707, S. 21–22.

³⁶Vgl. Verdries, 1707, S. 14.

³⁷Verdries, 1707, S. 22.

³⁸Verdries, 1707, S. 23–24, 30.

³⁹Verdries, 1707, S. 23–24.

⁴⁰Verdries bezieht sich auf Volders „*Quaestiones academicae de aeris gravitate*“ (1681).

⁴¹Siehe Bernoulli, 1683.

⁴²Verdries, 1707, S. 23.

⁴³Siehe Verdries, 1720, S. 605–608.

weisen.⁴⁴ Schmidts medizinische Inauguraldissertation an der Universität Basel über die Analogie zwischen dem Tier- und dem Pflanzenreich enthält auch eine Darstellung des Saftkreislaufs, in der er in allen Punkten seinem Lehrer Verdries folgt.⁴⁵

Man könnte vermuten, daß das von Verdries verwendete mechanische Analogon, wonach Pflanzen hydraulisch-pneumatische Maschinen seien, in deren Gefäßen Flüssigkeiten und Luft geleitet würden, gleichsam zwangsläufig zur Annahme eines geschlossenen Saftkreislaufs führte, da man sich auf diese Weise die Flüssigkeitsbewegungen leichter vorstellen kann. Das Beispiel Bernhard Feldmanns (1701–1777)⁴⁶ zeigt jedoch das Gegenteil. Auch er betrachtet in seiner medizinischen Inauguraldissertation Pflanzen und Tiere als hydraulische Maschinen,⁴⁷ doch lehnt er dennoch einen Saftkreislauf ab⁴⁸.

5.2 Christian Wolff (1679–1754)

5.2.1 Die Ernährung der Pflanzen nach Wolff

Wolff ist der Ansicht, die Nahrung der Pflanzen sei generell einheitlich. Der Vorstellung, eine jede Pflanze entnehme dem Boden nur die für sie spezifische Nahrung, hält er die Erfahrungen beim Pfropfen und Okulieren entgegen:

„Denn wenn man auf einen Pflaumen=Stamm Abricosen und Pfersichen pffoß; so steigt der Nahrungs=Safft durch die Wurtzeln und den Stamm des Pflaum=Baumes in den Abricosen= und Pfersichen=Reiß, und dessen ungeachtet bekommt derselbe solche Nahrung, die ihm gehöret.“⁴⁹

Würde die vom Pfropfreis verschiedene Unterlage nur die für sie spezifischen Nahrungsstoffe aufnehmen, so könnte das Pfropfreis, das ja keinen eigenen Kontakt zum Boden hat, nicht gedeihen. Es ist dies ein altes Argument, das z. B. bereits Mariotte anführt.⁵⁰

⁴⁴Über den Lebenslauf Schmidts ist nichts weiter bekannt. Schmidt selbst bezeichnete Verdries als seinen „patronus“ und „praeceptor“ (s. Schmidt, 1721, S. 3).

⁴⁵Siehe Schmidt, 1721, S. 8, 11–12.

⁴⁶Feldmann studierte in Berlin, Halle und Leiden Medizin und wurde 1733 Stadtphysicus in Neu-Ruppin. 1738 wurde er zum Physicus des Ruppinschen Kreises ernannt und 1770 zum dritten Bürgermeister der Stadt Ruppin gewählt. (Jöcher/Adelung, Bd. 2, Sp. 1038–1039.)

⁴⁷„Sunt [gemeint sind die Pflanzen und Tiere] Hydraulico-organica, id est machinae, quarum organa diversa conflata sunt ex vasis liquido repletis; id necesse erat ad nutritionem organorum ordinate perficiendam, ut particulae nutritives omni puncto applicari possint servata organi priori structura“ (Feldmann, 1732, S. 18).

⁴⁸Feldmann, 1732, S. 23.

⁴⁹Wolff, 1723, S. 613–614.

⁵⁰Vgl. Mariotte, 1672, S. 123; Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 126.

Natürlich referiert Wolff auch die Versuche Van Helmonts, Boyles und Woodwards zur Frage der Pflanzenernährung. Zwar ist er, wie sich später zeigt, der Ansicht, daß die Pflanzen ihre Substanz nicht nur aus reinem Wasser aufbauen, doch hält er auch Woodwards Experimente für nicht völlig eindeutig. So kritisiert er z. B., daß das stärkere Wachstum bei gleichzeitiger geringerer Wasseraufnahme einer „Spear mint“, die in mit Gartenerde versetztem Wasser stand, gegenüber einer „Spear mint“, die in unbehandeltem Wasser stand, nicht zwangsläufig bedeuten müsse, daß die hinzugefügte Erde von der Pflanze auch aufgenommen worden sei. Genausogut könne etwas in der Gartenerde enthalten gewesen sein, das vom Wasser gelöst worden sei und die Zubereitung des Nahrungssaftes in der Pflanze gefördert habe. Um eine Aufnahme der Gartenerde zu belegen, hätte Woodward nach dem Versuch das Wasser eindampfen und die übriggebliebene Erde wiegen müssen.⁵¹

Da die verschiedenen Pflanzen verschiedene Inhaltsstoffe aufwiesen, „eine jede Pflanze ihr besonderes Saltz und ihr besonderes Oele hat“, auf der anderen Seite aber alle Pflanzen dieselben Stoffe aufnehmen sollen, bleibt Wolff nur die Schlußfolgerung übrig, daß die betreffenden „Oele und Saltze“ „erst in der Pflanze erzeugt, keinesweges aber hinein gebracht“ werden.⁵² Dennoch bedürfe es zur Erzeugung der spezifischen Öle und Salze in der Pflanze der „saltzige[n], sonderlich salpetriche[n], und oelichte[n] Theilgen“ der Erde bzw. entsprechender Ausdünstungen in der Luft, die von den Pflanzen aufgenommen würden.⁵³

Die spezifische Verarbeitung des von den Pflanzen aufgenommenen Wassers (stets nicht als reines, sondern mit verschiedenen Nährstoffen versehenes Wasser zu verstehen) geschehe nicht in den Gefäßen („Röhren“), denn in diesen steige „der Safft bloß in die Höhe, oder hernieder“.⁵⁴ Damit lehnt Wolff die gängige Vorstellung ab, daß der Saft durch mechanische Anpassung seiner Partikel an die verschieden gestalteten „Poren“ bzw. Gefäße der einzelnen pflanzlichen Gewebe für die Ernährung derselben und die Produktion spezifischer Inhaltsstoffe umgestaltet wird.⁵⁵ Den Gefäßen kommt somit nur eine reine Transportfunktion zu. Die eigentliche Saftverarbeitung geschehe in den „Bläßlein oder so genannten utriculi“ (d. h. dem Parenchym) der Rinde und der Blätter.⁵⁶

Die Rolle der Rinde in der Ernährung der Pflanzen zeige sich daran, daß „gleich nach Johannis“ (24. 6.) geringelte einjährige Zweige oberhalb der Stelle

⁵¹Wolff, 1723, S. 622–624.

⁵²Wolff, 1723, S. 625, 629.

⁵³Wolff, 1723, S. 625; s. a. Wolff, 1719, S. 9.

⁵⁴Wolff, 1723, S. 629.

⁵⁵Vgl. Mariotte, 1672, S. 122–124 (Mariotte gibt hier z. T. die Ansichten der Cartesianer wieder); Mariotte, 1740 [urspr. 1679], S. 130, 141, 143.

⁵⁶Wolff, 1723, S. 629; vgl. Wolff, 1730, S. 640–641 (§227), 682–686, 713–715. Wolff ist in diesem Punkt von Malpighi beeinflusst, auf den er gelegentlich explizit verweist (s. Wolff, 1730, S. 640–641).

der Abschälung verdorrt seien.⁵⁷ Aus der Ernährungsfunktion der Rinde schließt Wolff aufgrund des ähnlichen Aufbaus auf eine entsprechende Funktion der Blätter: „Weil auch die Blätter viel von dieser bläsichten Materie haben; so siehet man, daß auch in ihnen die Werckstat ist, darinnen der Nahrungs=Safft zubereitet wird.“ Wie die Verarbeitung des „Nahrungs=Safftes“ abläuft, lasse sich „zur Zeit nicht genauer bestimmen“, sie geschehe aber nach Vorgängen, wie sie von der „Chymie“ her bekannt seien. Wolff scheint somit für die Saftzubereitung keine von den im chemischen Laboratorium beobachtbaren prinzipiell verschiedenen Vorgänge anzunehmen.⁵⁸ Es bleibt noch zu ergänzen, daß Wolff später auch noch dem Mark⁵⁹ und besonders den Wurzeln einen Anteil an der Zubereitung des Nahrungssaftes zuspricht⁶⁰.

Aus der „schwammichten Materie der Rinde“ gelange der Nahrungssaft über „Röhrlein“ „in die Röhren des Holtzes und selbst in das Marck“. Ebenso gelange Nahrungssaft aus den Blättern über die „Röhrlein“ der Blattstiele in das Holz des Zweiges.⁶¹ Zur Erklärung des Mechanismus des Safttransports greift Wolff auf das Verhalten der Luft, sich bei Erwärmung auszudehnen, zurück.⁶² Wolff unterscheidet „Safft=Röhren“ und „Lufft=Röhren“ (die Tracheen). Letztere seien „häuffig mit Lufft erfüllet“ und befänden sich zwischen den Parenchymzellen der Blätter und der Rinde. Wenn sich die Luft in diesen Gefäßen ausdehne, so werde zum einen der Saft aus den umgebenden „Bläßlein“ herausgepreßt und durch „Röhrlein“ in das Holz und Mark gedrückt sowie innerhalb der Saft-Röhren „weiter gedrückt“.⁶³ Der ausgedrückte Saft kann von den „Bläßlein“ oder den „sehr subtilen Röhrlein“ wieder eingesogen werden, „wie die Versuche ausweisen, da man subtile gläserne Haar=Röhrlein anstellet, denn wenn man sie in einem Tropfen Wasser stellet, so ziehet er sich gantz hinein und steigt darinnen in die Höhe.“⁶⁴

In seinen „Vernünfftigen[n] Gedancken Von dem Gebrauche Der Theile In Menschen, Thieren und Pflantzen“ behandelt Wolff die Fragen des Safttransports und der Saftverarbeitung in den Pflanzen um einiges ausführlicher, auch wenn seine Ansichten sich im wesentlichen kaum geändert haben.

Als erstes wirft Wolff die Frage auf, ob es in den Pflanzen überhaupt echte Gefäße gebe. Malpighi, Grew und Leeuwenhoek hätten in den Pflanzen sowohl

⁵⁷Dieses Ergebnis hing wohl nicht mit einer Unterbrechung eines Aufwärtstransports von Nährstoffen in der Rinde zusammen, sondern wahrscheinlich trocknete der bloßgelegte Holzkörper der Zweige aus, so daß kein Wassertransport mehr im Xylem nach oben stattfinden konnte.

⁵⁸Siehe zu diesem Absatz Wolff, 1723, S. 629–631.

⁵⁹Wolff, 1730, S. 665.

⁶⁰Wolff, 1730, S. 650–653.

⁶¹Siehe Wolff, 1730, S. 710–711.

⁶²Bereits bei Malpighi spielte Ausdehnung und Kontraktion der Luft im Wechsel von Tages- und Nachtzeit eine Rolle bei der Erklärung des Mechanismus des Saftaufstiegs; s. o., Kap. 2.4.

⁶³Wolff, 1730, S. 696.

⁶⁴Wolff, 1723, S. 631–632 (§400).

„Safft=Röhren“ als auch „Lufft=Röhren“ angenommen, und das Vorhandensein von Luft in den Pflanzen sei durch Versuche mit der Luftpumpe (d. h. Vakuumpumpe) experimentell nachgewiesen (s. u.). Aber es stelle sich die Frage, „ob besondere Röhrlein vorhanden, darinnen der Safft aus der Wurtzel durch den Stamm biß in die Aeste der Bäume und an den äussersten Gipffel hinauf, und von dar wieder biß in die Wurtzel niedersteiget, oder ob sich vielleicht der Safft nur durch die leeren Zwischen=Räumlein in die Substantz der Pflantzen hinein ziehet, als wie das Wasser in einen Schwamm, oder in ein Stücke Zucker: ingleichen ob besondere Röhren vorhanden, darinnen sich die Lufft beweget, als wie wir in den Lungen der Thiere antreffen, oder ob die Lufft auch nur in den Zwischen=Räumlein anzutreffen.“⁶⁵ Mikroskopische Untersuchungen würden hier kaum weiterhelfen, da die „Fäserlein“, aus denen die „Fasern“ der Pflanzen bestünden, viel zu klein seien.⁶⁶

Die Frage, ob es in den Pflanzen „Safft=Röhren“ gebe, könne in einem doppelten Sinn verstanden werden, „nemlich 1. ob besondere Gefäße in den Pflantzen vorhanden, dadurch der Safft beweget und den übrigen Theilen zur Nahrung zugeführt wird, als wie wir in dem menschlichen Leibe und in Thieren die Adern antreffen; 2. ob in den Pflantzen alle Fäserlein Safft=Röhren sind, die als Gefäßlein anzusehen, dadurch der Safft zur Nahrung aufsteiget.“⁶⁷ Die erste Frage entscheidet Wolff aufgrund der Untersuchungen Listers⁶⁸ und Thümmigs (s. u.) positiv. Bei dieser Gelegenheit vergleicht er den Milchsaft mit dem Blut und betrachtet ihn als die eigentliche Ernährungsgrundlage der Pflanzen.⁶⁹ Was die zweite Frage betrifft, so kommt er aufgrund der Thümmigschen Befunde zu dem Ergebnis, daß nicht alle „Fasern“ Gefäße seien, sondern einige davon dazu dienten, der Pflanze Festigkeit zu verleihen.⁷⁰

Was die „Lufft=Röhren“ betrifft, so hatte Wolff zunächst Schwierigkeiten, sie im Holz verschiedener Obstbäume⁷¹ nachzuweisen. So kam er auf den Gedanken, die Existenz von Tracheen nicht mikroskopisch, sondern experimentell aufzuzeigen. Hierzu stellte er unter dem Rezipienten einer Vakuumluftpumpe einen Zweig in Wasser, das er vorher luftfrei gemacht hatte, und pumpte schließlich die Luft ab. Wolff beobachtete, daß „hin und wieder aus dem im Wasser stehenden Durchschnitte [der Schnittfläche des Zweiges] die Lufft in unveränderten kleinen Strömen heraus[kam], nicht anders als wie zu geschehen pfeget, wenn man gläserne Röhren ins Wasser stellet, oder eine gläserne Kugel mit einer Röhre.“ Seitlich traten dagegen nur einzelne Bläschen aus. Da sich die austretenden Luft-

⁶⁵Wolff, 1730, S. 618–619.

⁶⁶Wolff, 1730, S. 619–620.

⁶⁷Wolff, 1730, S. 620–621.

⁶⁸Siehe M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 76 (1671/72), S. 3052–3055; Ders. in *Phil. Trans.*, Nr. 90 (1672/73), S. 5132–5137.

⁶⁹Wolff, 1730, S. 623–625.

⁷⁰Wolff, 1730, S. 627–630.

⁷¹Kirsch-, Pflaumen-, Aprikosen-, Birnen-, Äpfel- und Pfirsichbäume.

ströme nur an bestimmten Stellen der Schnittfläche zeigten, folgerte Wolff, es könne sich bei diesen Stellen nicht um bloße Zwischenräume zwischen den Fasern handeln, sondern es müsse hier noch etwas Besonderes vorhanden sein, nämlich entsprechende „Luft=Röhren“.⁷²

Bezüglich der Transportwege des Saftes schließt Wolff aus verschiedenen eigenen und fremden Beobachtungen (z. B. an Bäumen, deren Holz völlig oder fast vollständig zerstört war) und Experimenten (z. B. Schälen von Bäumen und Ästen), daß der Nahrungssaft sowohl in der Rinde als auch im Holz, insbesondere dem im Frühjahr neu gebildeten, aufsteige.⁷³

5.2.2 Wolff und die Saftkreislauflehre

Bereits Wolffs erste physiologische Schrift, eine Abhandlung, die als Dissertation von Georgius Remus unter seinem Vorsitz verteidigt wurde, enthält Äußerungen zum Saftkreislauf. In dieser Schrift setzt er sich mit den Auswirkungen des strengen Winters von 1708/1709 auseinander und führt das Erfrieren der Bäume⁷⁴ auf die Ausdehnung des gefrierenden Saftes zurück, wodurch die Saftgefäße gesprengt worden seien.⁷⁵ Seine Feststellung, „daß eines jeden Thieres, auch selbst des Menschen Leib, aus unzählig viel Röhrgen bestehe, dadurch verschiedene flüßige Körper immerzu sich herum bewegen, und daß der Körper so lange gesund sey, als lange die Röhrgen ganz sind, und die Bewegung der flüßigen Körper auf keine Weise gehindert wird; hingegen daß er völlig sterbe, wenn dieser Umlauf gänzlich aufhöret“,⁷⁶ überträgt er auch auf die Pflanzen und konstatiert:

„Postquam Marcellus Malpighi & Nehemias Grew in egregiis de Anatomia plantarum operibus aliique ipsorum vestigia secuti clarissime monstrarunt, arbores quoque & plantas ex meris tubulis componi, per quos circulari succum nutritium variis experimentis evidentissime comprobarunt Mariotte [...] & Perrault [...]; non obscurum est, quae de frigoris in corpora animalia vi dicta sunt, arboribus etiam & plantis applicari posse [...]“⁷⁷

⁷²Wolff, 1730, S. 635–638.

⁷³Wolff, 1730, S. 676–682, 686–688, 712–713.

⁷⁴Zu einer Beschreibung der durch die Kälte an der Vegetation hervorgerufenen Schäden s. Wolff, 1709, S. 25–27; 1736, S. 52–55.

⁷⁵Siehe Wolff, 1709, S. 49–50.

⁷⁶Wolff, 1736, S. 103 (Übersetzung von Wolff, 1709, S. 49).

⁷⁷Wolff, 1709, S. 50. In Wolffs eigener deutschen Übersetzung lautet die Stelle (Wolff, 1736, S. 105–106): „Nachdem Marcellus Malpigh und Nehemias Grew in ihren vortrefflichen Werken, von der Zergliederung der Pflanzen, nebst andern, welche ihrem Pfade gefolget sind, deutlich gewiesen haben, daß auch die Bäume und Pflanzen aus lauter Röhrgen bestehen, durch welche der Nahrungs=Safft herum laufft, wie Mariotte [...] ingleichen Perrault [...] mit verschiedenen Versuchen aufs deutlichste dargethan haben: so ist leicht zu begreifen, daß auch auf die Bäume und Pflanzen deudeth werden könne, was von der Krafft der Kälte gegen die Leiber der Thiere angebracht worden ist.“

Auf den ersten Blick legen diese Äußerungen den Schluß nahe, daß Wolff die Auffassung Mariottes und Perraults uneingeschränkt billigte und ohne weitere Diskussion einen Saftkreislauf annahm. Doch trotz der vorangehenden Vergleiche mit den Gefäßen der Tiere und dem „Umlauf“ der „flüßigen Körper“ darin sowie der Feststellung, Mariotte und Perrault hätten den experimentellen Beweis erbracht, daß der Nährsaft zirkuliere („circulari“), muß dies nicht zwangsläufig bedeuten, daß Wolff einen *echten* Saftkreislauf annahm, bei dem der absteigende Saft erneut aufsteigt oder sich mit dem von den Wurzeln aufgenommenen, aufsteigenden Saft vermischt. Das folgende Zitat aus den „Vernünfftige[n] Gedancken Von den Würckungen der Natur“ deutet eher darauf hin, daß es Wolff nur um den generellen Nachweis eines auf- und eines absteigenden Saftes in den Pflanzen ging, ohne einen echten Saftkreislauf anzunehmen:

„Daß der Safft nicht allein aus der Wurtzel in den Stamm und durch ihn in die Aeste, sondern auch aus den Aesten in den Stamm und durch ihn in die Wurtzel sich bewege, hat *Major*, weiland Professor Medicinæ zu Kiel behauptet und nach diesem *Perrault* und *Mariotte* mit mehrerem bestetiget. Anfangs ist gewis, daß die Safft=Röhren so beschaffen sind, daß der Safft in die Höhe kommen kan, sie mögen recht oder verkehrt stehen: denn solches bezeuget nicht allein die verkehrte Pflanzung der Bäume [. . .];⁷⁸ sondern man kan es auch erfahren, wenn man eine Pflantze, die leicht wurzelt, ins Wasser setzet, daß die Blätter im Wasser und die Wurtzel ausser ihm zu stehen kommen. Denn da in diesem Stande die Wurtzeln frisch bleiben und mehrere Würtzlichen treiben; so muß der Safft aus den Blättern durch den Stamm auch in die Wurtzeln kommen können.“⁷⁹

Wolff erwähnt noch kurz ähnliche Experimente zum Nachweis, daß die normale Safttransportrichtung sich auch umkehren lasse. Er verzichtet aber auf ausführlichere Darstellungen, insbesondere da sich daraus keine Konsequenzen für seine eigene Erklärung des Mechanismus der Saftbewegung (s. o.) ergeben, denn dieser lasse sich auf beide Transportrichtungen anwenden. Eine echte Diskussion der Saftkreislauflehre findet in diesem Paragraphen, auf den das Inhaltsverzeichnis mit dem Eintrag „*Circulation* [. . .] des Nahrungssafftes in Pflantzen“ verweist, nicht statt.

In seinen „Vernünfftige[n] Gedancken Von dem Gebrauche Der Theile In Menschen, Thieren und Pflantzen“ spricht Wolff von einer Notwendigkeit der Annahme von zweierlei Arten von „Safft=Röhren“, solchen, in denen der Saft nach oben geleitet werde, und solchen, in denen der Saft wieder absteige:

⁷⁸Wolff meint hier das berühmte Experiment, mit dem Leeuwenhoek an Hand einer jungen Linde zeigte, daß die Krone Wurzeln und die Wurzeln desselben Baumes Äste ausbilden können (Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil 7, S. 367–373). Wolff erwähnt bzw. schildert diesen Versuch öfters (vgl. Wolff, 1723, S. 606–607; Wolff, 1730, S. 654–656).

⁷⁹Wolff, 1723, S. 632–633 (§401).

„Diejenigen, welche die Anatomie der Pflanzten untersucht, als Malpighius, Grew und Leeuwenhoeck, theilen die Fasern in Safft=Röhren (fistulas succiferas) und in Luft=Röhren (tracheas). Und nachdem man die Bewegung des Nahrung=Safftes in den Pflanzten erkandt [...]; hat man nothwendig zweyerley Arten der Safft=Röhren annehmen müssen, einige dadurch den verschiedenen Theilen der Pflanzten als wie in Thieren und dem menschlichen Leibe durch die Puls=Adern [...] die Nahrung zugeföhret, und hinwiederum andere, dadurch das überflüßige, als wie das überflüßige Blut, durch die Blut=Adern [...], wieder zurücke geföhret wird.“⁸⁰

Es folgt zwar danach eine ausführliche Diskussion der Frage, ob es in den Pflanzen überhaupt echte Gefäße gibt (s. o.), doch die Frage eines Saftkreislaufs wird von Wolff nicht berührt. Auch als er die Blattgefäßstudien seines geschätzten Schülers und Mitstreiters Thümmig⁸¹ referiert, geht er mit keinem Wort auf dessen Saftkreislaufvorstellung ein.⁸² Somit bleibt festzuhalten, daß sich Wolffs Ansicht zur Frage eines Saftkreislaufs nicht eindeutig klären läßt, jedoch die Annahme naheliegt, daß er von keiner echten Zirkulation ausging.

5.3 Ludwig Philipp Thümmig (1697–1728)

Thümmig⁸³ zählte zu den eifrigsten Schülern und späteren Verfechtern der Wolffschen Philosophie. Aufgrund seiner Dissertation „Experimentum singulare de arboribus ex folio educatis ad rationes physicas revocatum“⁸⁴ wurde er am 3. November 1721 in die Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften aufgenommen.⁸⁵ In dieser Schrift, die zwei Jahre später auch auf Deutsch erschien,⁸⁶ stützt sich Thümmig auf die Saftkreislauflehre.

Thümmig wollte in seiner Abhandlung eine theoretische Erklärung für die Möglichkeit, Bäume durch Blattstecklinge vegetativ zu vermehren, liefern. Die ältesten ihm bekannten Experimente dieser Art gehen auf den italienischen Franziskaner-Mönch Augustinus Mandirola zurück, der aus Zedern- und Limonenblättern ganze Bäume gezogen haben soll.⁸⁷ Die eigentliche Veranlassung für Thümmigs theoretische Untersuchungen bildeten aber wohl die aufsehenerregen-

⁸⁰Wolff, 1730, S. 616–617.

⁸¹Siehe Thümmig, 1723, S. 134–139.

⁸²Siehe Wolff, 1730, S. 626–628.

⁸³Was den Verlauf seines recht kurzen Lebens betrifft, stellt der biographische Artikel in Fikenschers „Gelehrtes Fürstentum Baireut“ (Bd. 9, S. 144–155) nach wie vor die detaillierteste Informationsquelle dar, auf der alle nachfolgenden Arbeiten fußen.

⁸⁴Thümmig, 1721.

⁸⁵Wolff, 1729, S. 409.

⁸⁶Thümmig, 1723, S. 110–173.

⁸⁷Mandirola, 1661; vgl. Thümmig, 1723, S. 111–112; Jöcher/Adelung, Bd. 4, Sp. 556.

den Experimente und großspurigen Versprechungen des Regensburger Arztes Georg Andreas Agricola (1672–1738). Agricola behauptete, eine Methode gefunden zu haben, wie sich aus Blättern, Zweigen und Ästen in kürzester Zeit ganze Bäume ziehen ließen.⁸⁸ Als Mittel hierfür diente ihm das „Feuer“ und eine von ihm erfundene „vegetabilische Mumie“. Wie sich aus späteren Werken ergibt, handelte es sich bei der „vegetabilischen Mumie“ um eine Art Paste, die vor Gebrauch erwärmt wurde und mit der die Schnittflächen der Blatt- und Zweigstecklinge zu bestreichen waren. Genaue Angaben über sein Verfahren wollte Agricola ursprünglich nur gegen Zahlung einer entsprechenden Summe Geldes mitteilen. Sein Hauptwerk, „Neu= und nie erhörter Doch in der Natur und Vernunft Wohlgegründeter Versuch Der UNIVERSAL=Vermehrung Aller Bäume, Stauden, und Blumen=Gewächse [. . .]“ (1716, 1717), fand große Verbreitung und wurde ins Französische, Englische und Holländische übersetzt. Darin beschreibt er ausführlich verschiedene, von ihm z. T. modifizierte Verfahren des Pfropfens und der Stecklingszucht sowie weitere Methoden der vegetativen Vermehrung. Dieses Werk benutzte auch Thümmig. In seiner Darlegung der Ansichten Agricolas enthält er sich der Kritik und äußert nur einmal den Verdacht, Agricola spreche nicht immer aus eigener Erfahrung.⁸⁹

Systematisch vorgehend teilt Thümmig die bisher in der Literatur erwähnten Experimente zur vegetativen Vermehrung von Bäumen durch Blattstecklinge⁹⁰ in drei verschiedene Arten ein:⁹¹

1. solche Fälle, in denen sich an dem verwendeten Blatt ein „Auge“ (d. h. die zugehörige Achselknospe) befindet, das einen Sproß treibt;
2. indem „der Stiel, der nach der Länge des Blattes durchgeht zum Stamme, die Rüthlein, welche sich nach der Breite des Blat[t]es zertheilen zu den Aesten des Bäumleins werden, da die kleinen Zäserlein, welche aus ihnen heraus gehen verdorren und an deren statt Augen zum Vorschein kommen.“ Die „Rüthlein“ und „Zäserlein“ sind die immer feiner werdenden Seitenäste der Blattadern. Es handelt sich bei dieser Erscheinung, die Thümmig Agricola entnommen hat,⁹² offenbar um eine Knospenbildung an den Verzweigungspunkten der Blattadern.⁹³

⁸⁸Zu Georg Andreas Agricola s. Jöcher/Adelung, 1784–1897, Bd. 1, 1784, Sp. 325; Kobolt, 1795, S. 11–13.

⁸⁹Thümmig, 1723, S. 117.

⁹⁰In der Literatur des 17. und 18. Jahrhunderts wurde meist nicht deutlich zwischen der Fähigkeit der Blätter, sich zu bewurzeln, und einer zusätzlich zur Bewurzelung auftretenden Knospenbildung unterschieden. Ersteres Phänomen ist relativ verbreitet, während eine Knospenbildung und damit eine wirkliche vegetative Vermehrung durch Blattstecklinge auf wenige Pflanzen beschränkt ist (s. hierzu Molisch, 1916, S. 208–211).

⁹¹Thümmig, 1723, S. 117–118.

⁹²Thümmig, 1723, S. 117, 169.

⁹³Siehe Thümmig, 1723, S. 169.

3. Die dritte Art der Knospung von Blattstecklingen, „davon kein Autor Meldung thut“, die Thümmig aber von einem Freund erfahren habe, bestehe darin, daß sich zunächst an der Schnittwunde ein Wundcallus ausbilde, aus dem schließlich eine Wurzel und ein Sproß hervorgehe.

Als nächstes erachtet es Thümmig als erforderlich, sich mit der Anatomie der Blätter näher auseinanderzusetzen. Thümmig sieht einen Schwachpunkt in den bisherigen Untersuchungen Malpighis und Grews darin, daß sie ohne eine bestimmte „Absicht“, d. h. ohne das Ziel, eine Theorie oder eine bestimmte Vorstellung zu überprüfen, angestellt worden seien:

„Man darf sich aber nicht wundern, daß so berühmte Männer [gemeint sind Malpighi und Grew], ohnerachtet sie besonderen Fleiß auf die Untersuchung der Structur der Blätter gewandt, und nicht bloß ihre Augen, sondern auch ihren Verstand dabey gebraucht haben, dennoch dasjenige übergangen haben, was einen so herrlichen Nutzen haben kan, denn sie haben ihre observationes nicht in gewisser Absicht verrichtet. Da ich demnach beständig ein gewisses Ziel vor Augen habe, das ich zu erreichen trachte; so suche ich auch dasjenige, was mir dazu vortrüglich seyn kan. Wir lernen hieraus überhaupt, daß die observationes accurater und vollständiger werden, wenn man dabey eine gewisse Absicht vor Augen hat.“⁹⁴

Um diese Äußerung Thümmigs besser einschätzen zu können, ist der Rechtfertigungsdruck zu berücksichtigen, unter dem er angesichts dessen stand, daß seine Ausführungen zu einem großen Teil bereits bekanntes Tatsachenmaterial, hauptsächlich aus Malpighi, Grew und Leeuwenhoek, enthielten. Bereits in seinem Vorwort zu seiner Kompilation „Versuch einer gründlichen Erläuterung der merckwürdigsten Begebenheiten in der Natur“ betrachtet Thümmig seine Leistung darin, aufgezeigt zu haben, daß die bisher angestellten Beobachtungen und Experimente nicht ausreichend theoretisch ausgewertet worden seien.⁹⁵

Den anatomischen Aufbau eines Blattes stellte sich Thümmig folgendermaßen vor:⁹⁶ Die Blattadern betrachtet er als „Bündlein sehr subtiler Röhrlein“ (in der Tat handelt es sich um Leitungsbahnen). Zwei Arten von Röhren gebe es, wie sie von Malpighi, Grew und Leeuwenhoek in allen Teilen eines Baumes angenommen worden seien: „Safft= und Luft=Röhren“. Leeuwenhoek habe die Safftöhren in „Adern“ und „Puls=Adern“ eingeteilt, „deren jene den Safft von der Wurtzel gegen die äusersten Theilen [sic!] des Baumes führen, diese hingegen ihn von den äusersten Theilen zu der Wurtzel zurücke bringen.“ Diese Einteilung sei gerechtfertigt, wie Perrault „mit vielen Experimentis“ bestätigt habe. Den experimen-

⁹⁴Thümmig, 1723, S. 122–123.

⁹⁵Thümmig, 1723, Vorrede, unpaginirt, die letzten beiden Seiten.

⁹⁶Thümmig, 1723, S. 125–126.

tellen „Nachweis“ von Luftröhren im „Stengel“⁹⁷ des Blattes führte Thümmig auf sehr elegante Weise mit Hilfe der Vakuumluftpumpe, wie es von Wolff beschrieben wurde (s. o.).⁹⁸ Ferner beschreibt er das Auftreten eines „Marks“ im Blattstiel und in der Hauptrippe, das dem Mark junger Zweige ähnlich sei.⁹⁹ Die „bläsichte Materie“ des Blattes (das Blattparenchym) betrachtet Thümmig als Ort der Nährsaftzubereitung.¹⁰⁰ Interessant ist sein mit der Vakuumpumpe durchgeführter experimenteller Nachweis von „Blattporen“ (Spaltöffnungen), indem er durch Abpumpen der Umgebungsluft einen Austritt von Luftblasen auf der Unterseite eines in Wasser eingetauchten und dem Licht ausgesetzten Pflanzblattes hervorrief.¹⁰¹

An Querschnitten durch die Hauptrippe stellte Thümmig mikroskopisch zwei Arten von Safröhren fest, grünlich und weißlich gefärbte. Die grünlich gefärbten bildeten zwei Ringe, von denen der innere dem Mark anliege. Zwischen diesen beiden Ringen befindet sich ein weiterer mit den weißlich gefärbten Safröhren. Das Mark wiederum erschien ihm „gantz dunkel“. Unter Zugrundelegung der Lehrsätze der Newtonschen Optik schloß Thümmig aus diesen Farbunterschieden auf eine unterschiedliche Beschaffenheit des Inhalts der Röhren und der Markzellen. So seien „die Marck=Bläslein in ihrer Höhle mit einer sehr subtilen flüßigen Materie erfüllet“. Die Farbe der grünlichen Safröhren, die aus einem „sehr subtilen Häutlein“ bestünden, rühre von der in ihnen enthaltenen „flüßigen Materie“ her. Diese Flüssigkeit enthalte Partikel, die in ihrer Dichte dem Wandmaterial der Röhren nahekämen, was auf ihre Funktion als Nahrungssaft deute. Die weißlichen, durchsichtigen Safröhren enthielten hingegen eine „mehr wässerliche Materie, davon das zur Nahrung dienliche, abgesondert“ sei. Damit erachtete Thümmig die Perraultschen Mutmaßungen über zweierlei Arten von Saftgefäßen als bestätigt.¹⁰²

Nachdem Thümmig sich einen Einblick in die Anatomie des Blattes verschafft und sich die Ansicht seines Lehrers Wolff, wonach die „Augen“ ([Achsel-]Knospen) im Mark des Zweiges entspringen, zu eigen gemacht hatte,¹⁰³ stellte er fest, daß es für eine theoretische Erklärung des Verhaltens der Blattstecklinge noch wei-

⁹⁷Unter dem „Stengel“ des Blattes versteht Thümmig nicht etwa den Blattstiel, sondern die Mittel- oder Hauptrippe; vgl. Thümmig, 1723, S. 123.

⁹⁸Siehe Thümmig, 1723, S. 126–131.

⁹⁹Thümmig, 1723, S. 131–133.

¹⁰⁰Thümmig, S. 151–152.

¹⁰¹Thümmig, 1723, S. 152–155. Thümmig stellte darüber hinaus fest, daß die Farbe des Blattes während des Versuchs dunkler wurde, was er auf einen Eintritt von Wasser in die Poren zurückführte. Ferner beobachtete er, daß ein im Wasser schwimmendes Blattstückchen, als es die dunklere Färbung annahm, untersank, also aufgrund des Luftaustritts schwerer als Wasser wurde.

¹⁰²Siehe zu diesem Absatz Thümmig, 1723, S. 134–139.

¹⁰³Thümmig, 1723, S. 155–157; vgl. Wolff, 1718, S. 59–62.

terer Voraussetzungen bedarf, zu denen auch die Annahme eines Saftkreislaufs zählte.¹⁰⁴

Thümmig geht unter Berufung auf Major und Perrault davon aus, daß der Saft von der Wurzel durch den Stamm bis in die Zweige und Blätter aufsteige sowie von den Blättern, in deren Parenchym er weiterverarbeitet werde, wieder zur Wurzel zurückkehre.¹⁰⁵ Aus dem Kontext läßt sich erschließen, daß er verschiedene Leitungsbahnen für Saftaufstieg und -abstieg annahm, nämlich die von ihm bereits konstatierten zwei Arten von Safröhren (s. o.). Detailliertere Ausführungen hierzu finden sich jedoch nicht. Ob Thümmig auch eine echte Zirkulation annahm, bei der der zu den Wurzeln zurückgekehrte Saft oder Teile davon erneut aufsteigen, läßt sich nicht eindeutig entscheiden. Zwar erwähnt er diese Möglichkeit nicht, doch bedeutet dies nicht zwangsläufig, daß er sie ausschloß.

Der Nahrungssaft werde durch die Zirkulation letztendlich in der gesamten Pflanze verteilt.¹⁰⁶ Die Blätter dienten u. a. der Ernährung der Achselknospen, indem der im Blattparenchym zubereitete Nährsaft über die Blattadern und den -stiel in den Zweig und von dort in die Achselknospe gelange. Hierzu nimmt Thümmig eine Verbindung zwischen den zu- und ableitenden „Röhren“ in Gestalt „kleiner Röhrelein“ an, entsprechend den Kapillaren im Blutgefäßsystem.¹⁰⁷

Nach diesen vorbereitenden Ausführungen liefert Thümmig zum Schluß eine Erklärung der oben unterschiedenen drei Arten vegetativer Vermehrung durch Blattstecklinge. Im ersten Fall, bei dem die eingepflanzten Blätter noch ein „Auge“ (Achselknospe) tragen, erfolge die Bewurzelung und das Ausschlagen der Knospe nach Art der Samenkeimung. Bei der Samenkeimung werde durch Eindringen von Feuchtigkeit in die „mehlichte Materie“ (damit sind wohl die Cotyledonen gemeint) des Samens, die aufgespeicherte Nährstoffe enthalte, ein Nahrungssaft gebildet, „der in das Pflänzlein [den Embryo bzw. die Keimpflanze] dringet, und so wohl das Würtzelchen [die Radicula bzw. die Primärwurzel] verlängert als auch die Hertz=Blätlein [die Cotyledonen] ausspannet.“ Die junge Wurzel sauge daraufhin das Wasser aus der Erde und leite es zu den „Hertz=Blätlein“, die wiederum die Knospe der Keimpflanze mit Nährsaft versorgten und zum Ausschlagen brächten. Was nun die Vermehrung durch Blattstecklinge betrifft, so entspreche das eingesteckte Blatt, das ja auch regelmäßig mit Wasser besprengt werden müsse, der „mehlichten Materie“ des Samens. Es treibe Wurzeln, durch die die Feuchtigkeit aus der Erde über den Blattstiel in das Blatt geleitet werde, das schließlich die Knospe ernähre und zum Ausschlagen bringe.¹⁰⁸

Thümmig verbleibt noch, die schwierigeren Fälle zu deuten, in denen sich am Blattsteckling keine Achselknospe befindet. Zur Erklärung der Ausbildung

¹⁰⁴Thümmig, 1723, S. 157–158.

¹⁰⁵Thümmig, 1723, S. 158.

¹⁰⁶Thümmig, 1723, S. 161.

¹⁰⁷Thümmig, 1723, S. 160.

¹⁰⁸Thümmig, 1723, S. 163–166. Thümmigs Vorstellungen zur Samenkeimung und zum Ausschlagen von Knospen entsprechen denen seines Lehrers Christian Wolff; vgl. Wolff, 1718, S. 60.

von Knospen an Verzweigungsstellen der Blattadern vergleicht er Blattstiel und Hauptrippe mit einem Stamm und die verästelten Blattadern mit den Zweigen und Ästen eines Baumes. Da das Mark lauter kleine „Augen“ (Knospen) enthalte,¹⁰⁹ Mark aber nicht nur in den Zweigen, sondern auch in den Blattadern und dem Blattstiel vorhanden sei, so hindere nichts daran, daß nach Bewurzelung des Blattstecklings an den Verzweigungspunkten der Blattadern Knospen austrieben, eben nach der Art, wie Bäume ausschlagen.¹¹⁰

Zuletzt behandelt Thümmig noch den dritten Fall, bei dem sich an der Schnittfläche der Blattstecklinge zunächst ein Wundcallus ausbilde. Der Callus werde durch ausgetretenen Saft gebildet, mit dem auch „Äuglein“ aus dem Mark zu der Wundfläche gelangten. Da es sich um „unzählig viel solcher Äuglein“ handle, könne nur ein Teil von ihnen Wurzeln schlagen. Verwese das Blatt, so finde der von diesen Wurzeln zugeführte Saft keine Verwendung. Es sei daher nicht verwunderlich, daß schließlich ein Auge ausschlage und einen Sproß bilde.¹¹¹

Thümmigs Drang, unter allen Umständen eine theoretische Deutung empirischer Befunde herbeizusuchen, spielte offenbar auch bei seiner Entscheidung, sich die Saftkreislauflehre zu eigen zu machen, eine entscheidende Rolle, denn sie lieferte ihm eine elegante Erklärung für die vegetative Vermehrung von Bäumen durch Blattstecklinge. Im Grunde genommen hätte er jedoch keinen echten Kreislauf annehmen müssen, denn letztendlich hätte es ausgereicht, zu postulieren, der Saft werde den Blättern sowohl zugeführt als auch von ihnen nach Verarbeitung wieder abgeführt, eine Ansicht, die weit verbreitet war und auch keine theoretischen Schwierigkeiten aufwarf.

¹⁰⁹Thümmig, 1723, S. 161–162.

¹¹⁰Thümmig, 1723, S. 167–170.

¹¹¹Thümmig, 1723, S. 170–171.

6. Die Entdeckung protoplasmatischer Rotationsströmungen (1774)

Ein für die weitere Entwicklung und Ausgestaltung der Saftkreislauflehre im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts folgenreiches Ereignis bildete Bonaventura Cortis¹ (1729–1813) Entdeckung einer Zirkulationsbewegung in den Internodien einiger Armleuchteralgen (*Characeae*). Bei dieser Erscheinung handelt es sich um eine Rotationsströmung des Cytoplasmas, die noch Gegenstand aktueller Forschung ist². Mit Cortis Entdeckung wurde zum ersten Mal eine zirkuläre „Saft“-Bewegung, wenn auch nur in einzelnen Teilen einer Pflanze, direkt sichtbar. Darüber hinaus konstatierte Corti ein solches Phänomen auch in den „Zellen“ höherer Pflanzen. Auch wenn seine Extrapolation aus diesen Beobachtungen auf einen allgemeinen, sich über den gesamten Pflanzenkörper erstreckenden Saftkreislauf bereits seinen Zeitgenossen im Prinzip durch nichts gerechtfertigt erschien, so mußte dennoch die Saftkreislauflehre angesichts der relativ leicht beobachtbaren und reproduzierbaren Cytoplasmarotation in den Internodien der Charen an Glaubwürdigkeit gewonnen haben. Um die näheren Umstände, unter denen Cortis Entdeckung erfolgte, besser verstehen zu können, soll hier zunächst auf die Vorgeschichte der Beschäftigung Cortis mit Bewegungserscheinungen an pflanzlichen Organismen eingegangen werden.

1759 entdeckte der französische Naturforscher Michel Adanson (1727–1806) eigentümliche Bewegungen an der „Tremella“, einer, wie wir heute wissen, Blaualge (*Nostoc*) mit oszillatorischen Bewegungen³. Adanson machte seine Entdeckung in einer Zeit, in der man, wie er selbst sagt, seit langem versucht hatte „de trou-

¹Zu Leben und Werk Cortis s. Brignoli de' Brunnhoff, 1834; Bonizzi, 1883; De Toni, 1912–1913; Lopriore, 1913; Premuda, 1971; Manzini, 1988a. Corti, geboren am 26. 2. 1729 in Corti (Provinz Scandiano), studierte in Reggio nell'Emilia und wurde an der dortigen höheren Schule bzw. Universität 1754 Professor für Metaphysik und Geometrie und 1768 für Physik. 1777 ging er nach Modena, wo er Rektor des „Collegio di San Carlo“ wurde. Zeitweilig (1805–1809) war er auch Professor für Botanik und Landwirtschaft an der dortigen Universität. 1809 kehrte er nach Reggio zurück und starb dort am 3. 2. 1813. Nach eigenen Aussagen führte Corti erst seit 1772 mikroskopische Untersuchungen durch (Brief Cortis an Bonnet vom 15. 2. 1775 [Manzini, 1988a, S. 35]). Von der Duchessa Maria Teresa Cybo d'Este hatte er zwei Mikroskope als Geschenk erhalten (De Toni, 1912–1913, S. 410).

²Vgl. Staves, 1997; Ackers et al., 2000.

³Siehe Mazzolini, 1972, S. 81.

ver un mouvement spontané, un mouvement de vitalité non equivoque, dans les Plantes reconnues pour telles“⁴. Die an „Infusorien“ bisher entdeckten und auch von ihm selbst gründlich studierten Bewegungserscheinungen fielen laut Adanson nicht darunter, da man unter diesen Lebewesen keines antreffe, das als Zwischenstufe zwischen dem Pflanzen- und Tierreich angesehen werden könne. An der „Tremella“ glaubte Adanson jedoch, endlich eine spontane Bewegung eines Organismus gefunden zu haben, der zweifellos den Pflanzen zuzuordnen war.⁵

Adanson beobachtete, daß einige der „filets“, aus denen die „Tremella“ bestehe, eine seitliche Bewegung aufwiesen, während sich manche „filets“ „zurückzogen“ („reculer“) und andere wiederum „vorrückten“ („s’avancer“). Alle diese Bewegungen, die er als *spontane* bezeichnete,⁶ würden sich jedoch gegenseitig kompensieren, so daß es insgesamt zu keiner echten Ortsveränderung komme.⁷

Die „Tremella“ stellte für Adanson eine echte Zwischenstufe zwischen dem Pflanzen- und Tierreich dar, da sie auf der einen Seite Bewegungen aufweise, die sich von denen anorganischer Körper unterschieden, auf der anderen Seite aber durch ihren Aufbau und das Fehlen von Empfindungsvermögen („défaut de sensibilité“) eindeutig als Pflanze anzusprechen sei.⁸ In diesem Zusammenhang betont Adanson, daß er unter der *spontanen* Bewegung der „Tremella“ keinen „mouvement volontaire“, wie er für die Tiere typisch sei, verstanden wissen will.⁹

Adanson versuchte auch, die Frage zu klären, ob neue „Tremellen“ durch „Urzeugung“ („création spontanée“) entstehen oder sich analog zu den „plantes parfaites“ durch eine Art von „graines“ vermehren, etwa durch Körperteile, die in der Lage sind, widrige Umstände zu überdauern.¹⁰ Adansons hierzu angestellte Experimente verliefen jedoch ohne brauchbares Ergebnis. Er überließ es daher Spallanzani, das „problème d’Histoire naturelle qui n’a point encore été appuyé de preuves solides, & qui consiste à *trouver des plantes bien reconnues telles, qui reparoissent par l’effet d’une nouvelle création, c’est-à-dire dont la re-*

⁴Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 564.

⁵Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 564–565.

⁶Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 565, 566, 567.

⁷Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 567.

⁸Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 570–571: „Il suit des expériences rapportées précédemment, que le mouvement latéral, ainsi que le mouvement progressif & de recul du *tremella*, qui n’est qu’un mouvement oscillatoire en tout sens, diffère essentiellement par sa continuité de celui des aiguilles cristallines [weil die Kristallnadeln, wenn sie sich einmal zusammengefunden haben, keine weitere Bewegung aufweisen; s. *ibid.*, S. 569] qui forment les sels ou des végétations minérales, & que sa structure, sa substance, son défaut de sensibilité & autres qualités qui le différencie des animaux, le placent nécessairement dans la classe des végétaux [vgl. dagegen Fontana, 1775b, S. 17–18], de sorte que s’il y a quelque plante qui participe réellement du végétal & de l’animal en même temps, & qui semble faire la liaison intime de ces deux règnes, c’est, sans contredit, le *tremella*; [...]“.

⁹Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 571. Hätte Adanson der „Tremella“ einen „mouvement volontaire“ zugestanden, so hätte er sie letztlich zu den Tieren rechnen müssen und somit nicht mehr als Übergangsstufe zwischen Tier- und Pflanzenreich ansehen können.

¹⁰Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 569–570.

production se fasse naturellement sans le secours d'aucunes graines ou d'aucunes parties qui leur soient analogues“, zu lösen.¹¹ Adanson selbst sah sich aufgrund abnehmender Sehkraft und anderer gesundheitlicher Probleme außerstande, diese Untersuchungen selbst anzustellen.¹²

Aus dieser Situation ergab sich der Anlaß für Cortis Forschungen. Spallanzani hatte nämlich keine Zeit, Adansons Vorschlag aufzugreifen, und überließ es seinem Freund Bonaventura Corti, „buon osservatore e buon filosofo“, die „Tremellen“ zu untersuchen.¹³

6.1 Bonaventura Corti (1729–1813) und seine Entdeckung der Plasmarotation in den Internodien der Charen

Cortis Ausführungen zur Plasmarotation in den Charen sind in seinen „Osservazioni microscopiche sulla Tremella e sulla circolazione del fluido in una pianta acquaajuola“ (Lucca 1774) enthalten.¹⁴ Wie der Titel des Werks anzeigt, handelt der erste Teil von der „Tremella“. Der gesamte zweite Teil umfaßt dagegen seine Untersuchungen an den Charen, die uns hier vorrangig interessieren sollen.

Corti beschreibt in den Internodien der Haupt- und Seitenachsen verschiedener Arten der *Chara* (wahrscheinlich auch der *Nitella*)¹⁵ eine Zirkulationsbewegung der enthaltenen „Flüssigkeit“ („fluido“). So beobachtete er mikroskopisch, wie die Flüssigkeit, die verschieden große „Körperchen“¹⁶ enthalten habe, auf einer Seite des jeweiligen Internodiums aufgestiegen, am oberen Knoten umgekehrt, wieder abgestiegen und nach Passieren des unteren Knotens erneut aufgestiegen sei.¹⁷ Zweifellos hatte Corti die in der Tat lebhaftere Rotationsströmung des Protoplasmas in den Internodialzellen der *Characeae* vor Augen. Um welche Arten von Armleuchteralgen es sich handelte, läßt sich an Hand der Beschreibungen und Zeichnungen Cortis kaum erschließen.

Die ersten Beobachtungen stellte er an einem Exemplar an, das er als Vaillants *Chara translucens minor flexilis* identifizierte.¹⁸ Er fand sie in einem Wassergraben, der auch reichlich „Tremellen“ enthielt. Offenbar handelte es sich um einen Zufallsfund, der sich aus seinem ersten Forschungsthema, der mikroskopischen Untersuchung von „Tremellen“, ergab. Bei seiner Entscheidung, die *Chara* als

¹¹Adanson, 1770 [präsentiert 1767], S. 570 (Hervorhebung im Original).

¹²Ibid.

¹³Brief Spallanzanis an Vallisneri v. 27. 7. 1774 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 10, S. 277–278, hier S. 277); s. a. den Brief Cortis an Bonnet vom 15. 11. 1774 (Mazzolini, 1972, S. 81; Manzini, 1988a, S. 13–17, hier S. 13).

¹⁴Corti, 1774, S. 125–197, unter dem separaten Titel „Saggio d'osservazioni sulla circolazione del fluido scoperta in una pianta acquaajuola appellata Cara“.

¹⁵Vgl. De Toni, 1912–1913, S. 418.

¹⁶Wahrscheinlich beobachtete Corti hier auch einige der Zellorganellen.

¹⁷Corti, 1774, S. 136–139.

¹⁸Vgl. Vaillant, 1719, S. 22–26.

Untersuchungsobjekt zu verwenden, wurde er auch von der „diligentezza di sua struttura, e il colorito de’suoi fiorellini¹⁹“, also von ästhetischen Gesichtspunkten, geleitet.²⁰ Nachdem ihm diese erste *Chara* verlorengegangen war und er kein zweites Exemplar mehr finden konnte, habe er sich auf andere *Chara*-Arten verlegen müssen, die jedoch dafür viel weniger geeignet erschienen, so daß er gesteht, „che mai non sarei giunto a vedere il movimento del loro succhio, se un’ostinata pazienza, creata in me dall’analogia, non lo avesse quasi costretto a palesarsi in qualche modo.“²¹

Zirkulationsbewegungen stellte Corti nicht nur in den Internodien, sondern auch in den Hüllschläuchen der Oogonien²² sowie in den größeren „Wurzeln“ („radici“ [Rhizoide]) fest.²³ In den ganz jungen Teilen der Pflanze konnte er zwar keine Zirkulation beobachten²⁴, doch finde sie auch in diesen statt und sei nur noch nicht sichtbar²⁵.

Durch Entfernung der Rinde an einer der von ihm untersuchten *Chara*-Arten²⁶ sowie durch weitere Experimente²⁷ konnte Corti nachweisen, daß sich der Kreislauf unabhängig von der Rinde und in besonderen Abschnitten abspielen müsse. Corti postulierte, daß sich die Flüssigkeit in zwei großen, dem Längsdurchmesser der Internodien nach angeordneten Gefäßen oder Kanälen bewege, von denen das eine dem Aufstieg, das andere dem Abstieg der Flüssigkeit diene.²⁸ Corti spricht in diesem Zusammenhang von einem „sistema arterioso e venoso“²⁹. In zwei *Chara*-Arten sah er eine Art Trennungslinie zwischen den beiden Gefäßbahnen, und

¹⁹Was Corti als „Blütchen“ bezeichnete, waren wahrscheinlich Oogonien und Spermatogonien.

²⁰Corti, 1774, S. 129.

²¹Corti, 1774, S. 129 („niemals hätte ich es erreicht, die Bewegung ihres [der anderen *Chara*-Arten] Saftes zu sehen, wenn nicht eine hartnäckige Geduld, hervorgerufen in mir aus der Analogie, sie [die Bewegung] quasi gezwungen hätte, sich in irgendeiner Weise zu offenbaren“).

²²Bei den von Corti (1774, S. 130) Früchte („frutti“) genannten Bildungen handelt es sich um die Oogonien. Was er als Samen („semi“) bezeichnete (ibid., S. 131), sind offenbar die Öltropfen und Stärkekörner, mit denen die Eizelle dicht gefüllt ist. Die Spermatogonien hielt Corti für kleine Knospen („bottoncini“), aus denen sich die „Früchte“ entwickeln sollen (ibid., S. 130–131).

²³Corti, 1774, S. 137–138.

²⁴Corti, 1774, S. 137–138.

²⁵Corti, 1774, S. 174.

²⁶Corti, 1774, S. 182–183, Fußn. *.

²⁷Corti (1774, S. 151–152) legte Charen in Urin ein und beobachtete, wie sich die Internodien außen aschfarbig verfärbten und sich in der Mitte eine Substanz zu einer grünen Leiste („lista verde“) zusammenzog, die sich bis zu den Knoten erstreckte. Während in dieser grünen Leiste die Zirkulationsbewegung bestehen blieb oder durch Zugabe von Wasser leicht wieder hervorgerufen werden konnte, konnte Corti keine Zirkulation zwischen diesem Bereich und der Internodienwand feststellen. (Offenbar wurde dem Protoplasten durch den osmotischen Druck des Urins Wasser entzogen, woraufhin er sich zusammenzog und von der Zellwand löste. Die grüne Farbe rührt von den Chloroplasten her.)

²⁸Corti, 1774, S. 139–140.

²⁹Corti, 1774, S. 149, 152.

niemals sei ein Körperchen in der sich bewegenden Flüssigkeit über diese Trennungslinie von einer Internodiumseite in die andere übergetreten.³⁰ Die Frage, ob die beiden Kanäle in der Mitte eine gemeinsame Wand haben, konnte er nicht entscheiden.³¹

Eine weitere Gesetzmäßigkeit, die Corti an der Zirkulationsbewegung der Flüssigkeit in den Internodien feststellen konnte, betraf die Richtungen der einzelnen Strömungen in aufeinanderfolgenden Internodien. So beobachtete er, daß der „Drehsinn“ der Zirkulation in sämtlichen Internodien einer *Chara*, also der Hauptachse, der Seitenzweige sowie der quirlartig angeordneten Kurztriebe, derselbe ist.³² Des weiteren wies Corti nach, daß die Zirkulation in einem Internodium unabhängig von der in den anderen Internodien vor sich geht.³³ So hatte die Entfernung von Teilen der Pflanze keinen Einfluß auf die Zirkulationsbewegungen, weder im Rest der Pflanze noch im abgetrennten Teil. Auch die Zerstörung einiger Internodien blieb ohne Wirkung auf die Zirkulationsbewegung in den übrigen Internodien. Außerdem war die Zirkulation in der Lage, sich Verbiegungen und Verdrehungen der Internodien anzupassen.³⁴

Aufgrund seiner Beobachtungen des Bewegungsverhaltens der zirkulierenden Partikel kommt Corti zu dem Schluß, daß sich diese nicht aus eigenem Antrieb oder durch gegenseitige Stöße fortbewegten, auch wenn sie durchaus gelegentlich zusammenträfen, sondern in einer Flüssigkeit schwämmen, von der sie weitergetragen würden. Corti unterscheidet deshalb zwei Arten von zirkulierender Flüssigkeit.³⁵ Die eine bestehe aus „Körperchen“ („corpicciuoli“)³⁶ unterschiedlicher Form und Größe, die andere sei eine subtile, nicht sichtbare „Lymph“ („linfa“), die als Transportmittel für diese „Körperchen“ fungiere. Nach Anschneiden von Internodien sah Corti die „Körperchen“, begleitet von einer farblosen Flüssigkeit, sowie eine hydrophobe Flüssigkeit ausströmen. Letztere indentifizierte er mit der eben erwähnten Lymph. Je jünger die Pflanzenteile seien, desto subtiler, d. h. feinkörniger, erweise sich in der Regel die zirkulierende Flüssigkeit.³⁷ Später würden die Körner größer, jedoch nicht durch Wachstum, denn schließlich habe Spallanzani gezeigt, daß ja auch die Blutkörperchen nicht wachsen, sondern dadurch, daß sie sich zusammenlagern.³⁸ Corti vermutet, daß zur Ernährung hauptsächlich die Lymph dient, nicht die körnige Flüssigkeit, und daß die gro-

³⁰Corti, 1774, S. 140.

³¹Corti, 1774, S. 183; vgl. aber S. 152–153, wo Corti nach einer Behandlung einer *Chara* mit Salzwasser, wodurch sich die Bahnen zusammazogen und von der „Rinde“ (*cortecchia*) lösten, den Eindruck hatte, als hätten die beiden Kanäle in der Mitte getrennte Wände.

³²Corti, 1774, S. 140–141.

³³Corti, 1774, S. 142.

³⁴Corti, 1774, S. 142–143.

³⁵Corti, 1774, S. 143–145.

³⁶Es handelt sich offenbar um Zellorganellen oder andere feste Bestandteile des Protoplasten.

³⁷Corti, 1774, S. 146.

³⁸Corti, 1774, S. 184–185.

ben Partikel eine Art von Ruß und Schlacke sein könnten, die aus dem Nährsaft („*succhio nutritore*“) ausgeschieden würden.³⁹

Um sich ein genaueres Bild vom Mechanismus des Zirkulationsvorgangs und seiner Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren verschaffen zu können, führte Corti eine Reihe von Versuchen durch, in denen er auf das seinerzeit verfügbare und übliche Repertoire experimenteller Untersuchungsmethoden zurückgriff. Versuche, die zirkulierende Flüssigkeit mit Schildlaustinktur, Safran oder Färberröte anzufärben, mißlingen.⁴⁰ Das Einlegen von Charen in Olivenöl brachte die Zirkulation innerhalb weniger Stunden zum Erliegen, nach einem Tag war dieser Zustand irreversibel. Verwendete Corti dagegen Milch, ließ sich die Zirkulation durch Auswaschen mit Wasser auch nach einem Tag wieder in Gang bringen.⁴¹ „*Liquidi corrosivi, e spiritosi*“, wie Urin und Salzwasser, führten zu einem Zusammenziehen des „Zirkulationssystems“⁴² („*sistema della circolazione*“).⁴³

Natürlich durften Experimente im Vakuum nicht fehlen. Unter den Bedingungen des Vakuums kam die Zirkulation zwar zum Erliegen, jedenfalls konnte Corti in den ersten Minuten nach dem Versuch keine Bewegung feststellen, sie kam jedoch recht bald nach Luftzutritt wieder in Gang, selbst wenn sich die Charen 6 Tage lang im luftleeren Raum befunden hatten.⁴⁴ Wenn demnach im Vakuum die Zirkulation aufhörte, so mußte die Luft offenbar in irgendeiner Weise an dieser Bewegung beteiligt sein. In diesem Punkt kam Corti naturgemäß nicht über Mutmaßungen hinaus.⁴⁵ Da es nach Entnahme der Pflanzen aus dem Vakuum erst noch einige Zeit dauerte, bis die Zirkulation wieder in Gang kam, und auch umso länger, je länger die Pflanze sich im Vakuum befand, ging er davon aus, daß es eher die in der Pflanze enthaltene Luft und nicht die Außenluft sei, die für die Zirkulationsbewegung relevant sei.⁴⁶ Einige der herumbewegten Partikel erinnerten ihn an Luftblasen, und nach dem Anschneiden schien ihm zunächst eine Art von Seifenschaum („*una spezie di spuma saponacea*“) auszutreten. Unter der Voraussetzung, daß sich diese Beobachtungen bestätigten, so bemerkt Corti

³⁹Corti, 1774, S. 185.

⁴⁰Corti, 1774, S. 155–156. Auf den Gedanken, Färberröte zu verwenden, kam Corti offenbar durch die Experimente Duhamel du Monceaus („[...] [la] robbia [...], che seppe altra volta tinger dell'ossa [...]“), der dem Futter verschiedener Versuchstiere Färberröte beimischte, um sich an Hand der dadurch hervorgerufenen roten Verfärbung der Knochen Klarheit über die Art des Knochenwachstums zu verschaffen (s. v. a. Duhamel du Monceau, 1743 [präsentiert 1739] u. 1747 [präsentiert 1742]).

⁴¹Corti, 1774, S. 156–157.

⁴²d. h. des Protoplasten; vgl. oben, Fußn. 27.

⁴³Corti, 1774, S. 151–153, 157–158.

⁴⁴Corti, 1774, S. 158–160. Wie gering der Sauerstoffgehalt wirklich war, läßt sich heute nicht mehr feststellen, besonders da Corti keinerlei Angaben über die verwendete Pumpe macht.

⁴⁵Corti, 1774, S. 191–193.

⁴⁶Corti, 1774, S. 192–193.

vorsichtig, würde demnach die Luft zusammen mit der Flüssigkeit zirkulieren und die Bewegung somit aufhören, wenn die Luft unter der Vakuumpumpe austrete.⁴⁷

Auch die Auswirkungen der Außentemperatur auf die Flüssigkeitsbewegung in den Charen unterzog Corti einer experimentellen Prüfung. Dabei machte er die Feststellung, daß die Temperatur, bei der die Zirkulation sistiert, von den individuellen Eigenschaften der jeweiligen Pflanze abhängt.⁴⁸ Gefrierende Kälte ertrugen die Charen nur wenige Stunden, und auch dies nicht ohne bleibende Schäden.⁴⁹

Wärme und Kälte haben für Corti nur einen mittelbaren Einfluß auf die Flüssigkeitsbewegung, indem von ihnen zwar die Konsistenz des Saftes und die Gefäßweite abhängen, die Wärme jedoch nicht die wirkliche Ursache für die Saftbewegung darstellt.⁵⁰ So stellte sich für Corti die Frage nach der eigentlichen Wirkursache der Zirkulationsbewegung. Eine Lösung dieses Problems gelang ihm nach eigenem Bekunden nicht,⁵¹ und die Vermutungen, die er anstellte, widersprechen sich zum Teil.

Durch seine ausdauernden und sorgfältigen Beobachtungen der Flüssigkeitsbewegung konnte Corti des öfteren feststellen, wie bestimmte größere Partikel über Tage hinweg von den Knoten gleichsam weggestoßen wurden, wieder „zurückfielen“, von neuem weggestoßen wurden usw., ein Vorgang, den er mit dem Auf- und Abspringen von Bällen auf einer Trommel vergleicht. Corti vermutete daher, daß die Wirkursache für die Zirkulationsbewegung in den Knoten sitze.⁵² An anderer Stelle postuliert er dagegen, daß es eben keine „parte speciale“ gebe, die die Flüssigkeit antreibe, und die Bewegungsursache somit über die ganze Länge der Gefäße verteilt sein müsse.⁵³ Schließlich griff Corti auf die weit verbreitete und auf Albrecht von Haller (1708–1777) zurückgehende Irritabilitätslehre⁵⁴ zurück. So möchte Corti, solange keine andere Ursache entdeckt

⁴⁷Corti, 1774, S. 193.

⁴⁸Corti, 1774, S. 160–162.

⁴⁹Corti, 1774, S. 162–164. Zu Versuchen zur Wirkung der Elektrizität auf die Bewegung der Flüssigkeit in den Charen ist Corti nicht gekommen (s. Corti, 1774, S. 165).

⁵⁰Corti, 1774, S. 193–195.

⁵¹Corti, 1774, S. 133.

⁵²Corti, 1774, S. 183.

⁵³Corti, 1774, S. 187. Auch die Beobachtung, daß sich die Flüssigkeit nach Durchschneiden eines Internodiums verhält, als ob der gesamte Kreislauf noch in Takt wäre, ist für Corti ein Indiz dafür, daß sämtliche Gefäßabschnitte in der Lage sind, die Flüssigkeit voranzutreiben. Die Flüssigkeit trete nämlich nur dort aus, wo dies unter Zugrundelegung der normalen Bewegungsrichtung im Kreislauf zu erwarten sei, und bewege sich in den beiden Hälften weiter, als ob die Zirkulation niemals unterbrochen worden wäre (Corti, 1774, S. 170–173). So läuft etwa aus der oberen Internodienhälfte die Flüssigkeit nach dem Durchschneiden nur dort aus, wo sie im unverletzten Internodium im Absteigen begriffen war, während der sich im Aufsteigen befindliche Flüssigkeitsteil seine normale Bewegung beibehält und erst dann ausläuft, nachdem er auf die andere Seite gelangt ist und nun selbst eine absteigende Bewegung angenommen hat.

⁵⁴Zur Irritabilitätslehre Hallers s. u. a. Roe, 1981, S. 32–36. Erste Äußerungen Hallers zur Irritabilität als einer charakteristischen Eigenschaft der Muskeln reichen bis in das Jahr 1739

werde, davon ausgehen, daß die Fasern, aus denen die Zirkulationsgefäße aufgebaut seien, die Eigenschaft der Irritabilität besitzen, aufgrund deren die Gefäße, ähnlich wie das Herz, die Flüssigkeit mechanisch vorantrieben.⁵⁵ Das Vorkommen von Irritabilität in den Pflanzen sei an der „Tremella“ und den Blüten der *Centaurea*⁵⁶ nachgewiesen.⁵⁷

Corti hebt besonders hervor, daß in Gestalt der Flüssigkeitszirkulation in den Internodien der Charen nach all den Diskussionen über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Saftkreislaufs zum ersten Mal ein echter Kreislauf in Pflanzen empirisch nachgewiesen worden sei.⁵⁸ Neben der direkten Beobachtung einer solchen Zirkulation beruft sich Corti auf den experimentellen Nachweis, wonach sich nach Durchschneiden eines Internodiums die Flüssigkeit genau so verhalte, wie dies bei einem echten Kreislauf zu erwarten wäre.⁵⁹ Als nächstes drängte sich natürlich die Frage auf, inwieweit sich die an Charen gewonnenen Ergebnisse auch auf höhere Pflanzen übertragen ließen.

Corti prüfte zunächst, ob sich an Pflanzen, die zwar unter Wasser wurzeln, aber mit ihrer Sproßachse aus der Wasseroberfläche herausragen, und eine den Charen ähnliche Morphologie aufweisen, eine Zirkulation zeigt.⁶⁰ Obwohl dies nicht der Fall gewesen sei, ist er dennoch recht optimistisch bezüglich der Möglichkeit des direkten Nachweises eines Saftkreislaufs in den übrigen Pflanzen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Zirkulation in den Charen und dem möglichen Saftkreislauf in den höheren Pflanzen bestehe darin, daß es sich bei den Charen um eine „circolazione multipla“ handle. Jedes Internodium besitze nämlich einen von den anderen Internodien unabhängigen Kreislauf (s. o.) als seine Lebensgrundlage, so daß jedes Internodium eine Pflanze für sich und eine *Chara* somit einen Zusammenschluß einer Vielzahl von Pflanzen („una multi-

zurück (Roe, *ibid.*, S. 32–33). 1753 publizierte er seine erste größere Abhandlung zur Irritabilität und Sensibilität von Körperteilen (Haller, 1753).

⁵⁵Corti, 1774, S. 187–188.

⁵⁶Vgl. Covolo, 1764.

⁵⁷Corti, 1774, S. 188. Corti hatte große Bedenken, die Bewegungen der „Tremella“ *allein* auf Irritabilität zurückzuführen. Da es sich nämlich bei den Bewegungen dieser Alge um spontane handele, würde eine Erklärung derselben durch Irritabilität auch für die spontanen Bewegungen auf sämtlichen Stufen des Tierreichs gelten, einschließlich der Menschen, wodurch man diese selbst in eine „äußerst schlimme Lage“ brächte („ridurremmo a un pessimo partito gli uomini stessi“) (Corti, 1774, S. 65–66). Diese Überlegungen Cortis sind zu berücksichtigen, wenn er hier von „Vorkommen“ von Irritabilität in „Tremellen“ spricht.

⁵⁸Corti, 1774, S. 170: „Tutti questi erano bellissimi pensamenti [gemeint sind die Ansichten der Befürworter und Gegner der Saftkreislauflehre], ma per diventare verità mancava a tutti l'appoggio della sperienza. Era dunque riservato alla Cara lo spargere qualche lume su tante tenebre. Dessa ha fatto vedere, che vi ha almeno una razza di piante, nelle quali verificasi la circolazione rigorosa [d. h. ein echter, geschlossener Kreislauf, nicht bloß ein Auf- und Absteigen von Säften], e per conseguente ha rendute o false, o limitate almeno tutte l'altre ipotesi.“

⁵⁹Corti, 1774, S. 170–171 (s. hierzu oben, Fußn. 53).

⁶⁰Corti, 1774, S. 173–174.

tudine di piante unite insieme“) darstelle.⁶¹ Im Gegensatz hierzu sei bei vielen Wasserpflanzen, insbesondere aber den Landpflanzen, nur ein einziger, sich über den gesamten Pflanzenkörper erstreckender Kreislauf zu erwarten.⁶² Da ein solcher Saftkreislauf in abgetrennten Teilen wegen der Störung des Gefäßsystems nicht erhalten bleibe, müsse die Untersuchung an ganzen Pflanzen vorgenommen werden.⁶³ Deshalb sei es auch „inutile il tenere i rami delle piante nell’acqua per vederne la circolazione“, offensichtlich eine Anspielung auf die üblichen Experimente mit abgeschnittenen Zweigen zum Nachweis der Umkehrbarkeit der Transportrichtung des Wassers.

Bevor im folgenden auf die weiteren Arbeiten Cortis eingegangen wird, soll hier noch seine eigentümliche Neigung Erwähnung finden, die Übergangstellung zwischen dem Pflanzen- und Tierreich, die er den Charen zuschreibt, durch gesellschaftspolitische Metaphern zu illustrieren. Die *Chara* ist für ihn ein „piantanimale“⁶⁴, ein „Pflanzentier“, aufgrund ihrer teils für Pflanzen, teils für Tiere typischen Eigenschaften. Der Besitz von „Wurzeln“⁶⁵, „Blüten“⁶⁶ und „Samen“ mache sie als Pflanze kenntlich, dagegen habe sie mit bestimmten Tieren die Fähigkeit gemeinsam, auch in Stücke zerlegt weiterzuleben und sich zu vermehren⁶⁷. Weiter zähle natürlich die Flüssigkeitszirkulation zu ihren tierischen Merkmalen. Die *Chara* sei die erste der Pflanzen, die eine Eigenschaft an den Tag gelegt habe, „mit deren Hilfe die Pflanzen von neuem den Tieren den Krieg erklären, um kraft der Zirkulation deren schlecht begründetes Reich zu zerstören“.⁶⁸ Auch in einem

⁶¹Corti, 1774, S. 174–175. Cortis Interpretation der *Chara* als Vereinigung von Einzelpflanzen lag nahe, da für gewöhnlich auch höhere Pflanzen als Aggregate von Einzelpflanzen galten. So betrachtete man etwa Seitentriebe aufgrund ihres zur Hauptachse analogen Aufbaus und, wie es bei vielen Arten vorkommt, ihrer Eignung zur vegetativen Vermehrung und zum Pfropfen als im Prinzip eigenständige Pflanzen (s. z. B. Bradley, 1733, S. 61). Da sich einige Pflanzen auch durch Blattstecklinge vermehren lassen, kam z. B. Bradley zu dem Schluß (1733, S. 105), „that a Leaf is a perfect Plant, which grows upon another Plant.“

⁶²Corti, 1774, S. 174–177.

⁶³Corti, 1774, S. 175.

⁶⁴Corti verwendet hier einen gebräuchlichen Begriff zur Kennzeichnung eines Übergangstatus zwischen dem Tier- und Pflanzenreich. Zur Zeit Cortis galten z. B. Hydren und Schwämme als „Pflanzentiere“. Bereits bei Aristoteles finden sich entsprechende Ausführungen und Beispiele für den seiner Ansicht nach kontinuierlichen Übergang von den Pflanzen zu den Tieren (s. Aristoteles, Hist. animal., VIII.1.588b4–23; De part. animal., IV.5.681a9–b11).

⁶⁵Da es sich bei den Charen um Thallophyten handelt, spricht man heute von „Rhizoiden“ an Stelle von „Wurzeln“.

⁶⁶Bei den von Corti als Blüten bezeichneten Organen handelt es sich um Oogonien bzw. Spermatogonien.

⁶⁷Siehe Corti, 1774, S. 168.

⁶⁸„Da quanto fin’ora si è recato in questo Saggio di osservazioni intorno alla *Cara* nasce tosto una interessantissima quistione, cioè se la *Cara* debbasì annoverare tra i piantanimali? Se la circolazione del Fluido fosse un segno caratteristico di animalità, certamente la *Cara* terrebbe un rango assai distinto tra gli animali. Ma noi sappiamo, che non mancano veri animali, i quali non hanno circolazione almeno sensibile, e però in virtù di questa proprietà l’animale non si distingue dalla pianta, nè questa da quello. Che poi la *Cara* sia una pianta cel dicono le sue radici, i suoi

Brief an „einen Freund“ schreibt Corti, er habe danach getrachtet, die Pflanzen zu „adeln“, indem er sie mit dem Reich der Tiere zu vereinen suchte.⁶⁹

Inwieweit die Absicht Cortis, den Pflanzen „eine bessere Stellung im Reich der Organismen“ zu verschaffen, bereits bei der Auswahl seiner Fragestellung eine Rolle spielte, läßt sich nur vermuten. Nach eigenem Bekunden sei er von Anfang an gezielt der „großen Frage“ („grande quistione“) der Zirkulation in den Pflanzen („Circolazione ne’vegetabili“) nachgegangen, die heute fast völlig aufgegeben worden sei.⁷⁰ Dabei sei er der Überzeugung gewesen, daß eine Klärung des Problems, wenn überhaupt, nur an Hand der Untersuchung von Wasserpflanzen herbeigeführt werden könne.⁷¹ Ob diese Darstellung die tatsächlichen Umstände der Entdeckung Cortis wiedergibt, oder ob es sich hier um eine nachträgliche Stilisierung handelt, läßt sich nicht entscheiden. Zumindest könnte eine solche gezielte Suche nach einer Saftzirkulation in den Pflanzen die Interpretation seiner Beobachtungen beeinflußt haben, obgleich die Rotation des Plasmas in den Internodiazellen der Charen deutlich genug ist.

6.2 Cortis Theorie vom Saftkreislauf der Pflanzen

Auf seiner Suche nach weiteren Pflanzen mit Saftzirkulation machte Corti bald einen vielversprechenden Fund. Es handelte sich um eine auf dem Rand eines Bassins („sulla sponda di una vasca“) wachsende Pflanze, die er jedoch nicht näher bestimmen konnte, da er sie weder bei Vaillant noch bei Linné fand.⁷² Im folgenden nennt er sie nur noch „la mia pianta“. Schleiden bezeichnete die-

fiori, e i semi suoi. Che sia animale il vogliono le bellissime sue proprietà, per cui confondesi con tutti quelli, che hanno circolo nel loro Fluido, che ridotti in pezzi vivono, e moltiplicano. Sarà dunque la Cara un piantanimale finora sconosciuto, e sarà la prima tra l’infinita famiglia de i così detti vegetabili, che avrà tolta quella parte di velo creduta impenetrabile, e sotto la quale celavasi uno de i migliori diritti, per cui le piante dichiarano nuova guerra agli animali per distruggere a forza della circolazione il loro mal fondato regno.“ (Corti, 1774, S. 197.)

⁶⁹„[...] dico, che quando non si voglia tricare, ma più tosto riflettere, che nella mia operetta ho procurato di nobilitare le piante cercando di legarle col regno animale con quella proibizione di ragioni, che meritano le mie congetture, la cara è già in qualche modo piantanimale, prendendo questo vocabolo per un essere organizzato, il quale lascia vedere qualche proprietà che si va osservando or nelle piante ora negli animali. Ma il dritto [Recht] della cara cresce sopra quello dell’altre piante e. g. sopra quello della quercia, a motivo della sua circolazione, la quale benche non sia l’essenza dell’animale, altrimenti la cara sarebbe un semplice animale, è però una qualità, o proprietà, la quale ha fin’ora confermata l’animalità negli esseri forniti della medesima.“ (Zitiert nach Manzini, 1988b, S. 59.) Der Brief ist nicht datiert. In der Spallanzani-Gesamtausgabe wird als Abfassungszeit Juni 1776 und als Adressat Spallanzani vermutet (s. Spallanzani, *Carteggi*, Bd. XI, S. 290). Der Brief ist in der Gesamtausgabe übrigens – offenbar aufgrund eines Bindefehlers – nicht vollständig abgedruckt.

⁷⁰Corti, 1774, S. 127.

⁷¹Corti, 1774, S. 128.

⁷²Corti, 1776a, S. 200 (Corti, 1776b, S. 235–236).

se Pflanze im Anschluß an Amici als *Caulinia fragilis* (= *Najas minor*, Kleines Nixenkraut).⁷³

Über die von ihm an „seiner“ und weiteren Pflanzen gefundenen Zirkulationserscheinungen berichtete er 1775 in einer Monographie, die ein Jahr später auch als Aufsatz in italienischer und französischer Sprache erschien.⁷⁴ Diese zweite Publikation Cortis stellte auch eine Reaktion auf Fontanas harsche Kritik (s. u.) an seinen Beobachtungen und Interpretationen dar und enthält weitreichende Schlußfolgerungen und Postulate in bezug auf das Vorkommen eines Saftkreislaufs in den Pflanzen.

In den „tubetti“ oder „vasi“, d. h. den Zellen⁷⁵, des Stengels dieser Pflanze beobachtete Corti eine Zirkulation des Saftes in derselben Form, wie er sie von den Internodien der *Chara* her kannte.⁷⁶ Aus dem Bewegungsverhalten der beobachteten Kügelchen schloß Corti wie im Falle der *Chara* auf eine Lymphe, die die Partikel bewege, aber selbst unsichtbar sei.⁷⁷ Auch in den „korall-farbenen, langen und schmalen tubetti“ der „Samenschalen“⁷⁸ stellte er eine Zirkulation fest.⁷⁹ Dagegen habe sich die Flüssigkeit in den Wurzeln und den Blättern zwar bewegt, jedoch „confusamente“.⁸⁰

Wie für die Charen, so stellte Corti auch für die Zirkulation in dieser „seiner Pflanze“ Gesetzmäßigkeiten auf,⁸¹ die den für die Charen aufgestellten Regeln entsprechen. So weise jedes intakte „tubetto“ bzw. Gefäß eine Zirkulation auf, wobei alle Zirkulationen von einander unabhängig seien. Der Flüssigkeitsfaden bewege sich immer an den Seiten entlang und passe sich dabei Unregelmäßigkeiten an. Ferner habe Corti auch nach stundenlanger Beobachtung keine Änderung der Bewegungsrichtung feststellen können, zudem sei die Zirkulationsrichtung in allen „tubetti“ dieselbe. Allerdings hält er den Beobachtungszeitraum für zu kurz, um die beiden letzteren Regeln als allgemeingültig ansehen zu können.

Ermutigt durch seine „Entdeckung“, versuchte Corti, weitere Pflanzen aufzufinden, die eine Zirkulation in ihren „tubetti“ aufwiesen. Insgesamt nennt er 38 verschiedene Krautpflanzen unterschiedlicher Standortansprüche, darunter 2

⁷³Schleiden, 1845, S. 294; vgl. Amici, 1824, S. 43–44. Laut Amici identifizierte J. Fabriani die von Corti untersuchte Pflanze als *Caulinia fragilis*.

⁷⁴Da Cortis Monographie von 1775 („Lettera sulla circolazione del fluido scoperta in varie piante al chiarissimo signor Conte Agostino Paradisi“ [Corti, 1775]) dem Verfasser nicht zugänglich war, wird hier und im folgenden nach dem Wiederabdruck derselben in der „Continuazione del nuovo Giornale de’Letterati d’Italia“ (Corti, 1776a) zitiert.

⁷⁵Den Abbildungen und der Beschreibung nach zu urteilen handelt es sich bei den von Corti „tubetti“ oder „vasi“ genannten Strukturen eindeutig um Zellen (s. Corti, 1776a, S. 201, 203, 205–208 [1776b, S. 235–238]).

⁷⁶Corti, 1776a, S. 202–212 (Corti, 1776b, S. 236–240).

⁷⁷Corti, 1776a, S. 208 (Corti, 1776b, S. 238–239).

⁷⁸Corti ist sich nicht sicher, ob es sich wirklich um „Samenschalen“ handelte.

⁷⁹Corti, 1776a, S. 211–212 (Corti, 1776b, S. 240).

⁸⁰Corti, 1776a, S. 212 (Corti, 1776b, S. 240).

⁸¹Corti, 1776a, S. 210–211 (Corti, 1776b, S. 239–240).

Wasserkressenarten, 3 Wasserhahnenfußarten und 11 verschiedene Kürbissorten, bei denen ihm dies gelungen sei.⁸² Holzpflanzen scheint er entweder nicht untersucht zu haben, oder es gelang ihm bei diesen kein „Nachweis“ einer Zirkulation.⁸³ Leider sind seine Beschreibungen derart dürftig, daß sich die meisten der genannten Pflanzen nicht näher identifizieren lassen. In der Regel verwendete er Oberflächendünnschnitte der Stengel und der Blattstiele, soweit er überhaupt nähere Angaben hierzu machte. Es handelte sich demnach wohl um die Epidermiszellen, in denen er Plasmabewegungen beobachtete, die ihm als Zirkulation erschienen. Manchmal dauerte es viele Stunden, bis er die Zirkulation sehen konnte.⁸⁴

Angesichts der Eigenständigkeit der Zirkulationen in den einzelnen „tubetti“ bzw. „vasi“ (Zellen) drängte sich Corti die Frage auf, ob es auch einen die gesamte Pflanze von der Wurzel bis zur Sproßspitze umfassenden Kreislauf gebe. Dies entsprach ja seiner ursprünglichen Erwartung, wie er sie in seinem ersten Werk äußerte⁸⁵. Doch selbst in „seiner Pflanze“, die ihm hierfür am geeignetsten erschien, konnte er niemals einen Übergang der zirkulierenden *Partikel* von einer Zelle in die nächste beobachten. Dies hielt ihn allerdings nicht davon ab, zu behaupten, die *Lymph*e, die für ihn ja als Transportmittel dient (s. o.), passiere sämtliche „Gefäße“ (Zellen), denn anders lasse sich der Transport des Saftes von den Wurzeln zu den Spitzen nicht erklären.⁸⁶

Corti behandelt mit keinem Wort den inneren Aufbau der von ihm untersuchten Pflanzen, Äußerungen etwa zur Funktion der relativ auffälligen Tracheen sucht man vergebens.⁸⁷ Dies erschwerte es dem Leser, sich ein genaueres Bild von Cortis pflanzenphysiologischen Vorstellungen zu verschaffen. Es gibt für ihn offenbar keine bevorzugten Leitungsbahnen für den Saft bzw. die „Lymph“, sondern diese durchströmt alle Zellen. Wie unter diesen Umständen ein „geregelter“ Auf- und Abstieg der Lymph vonstatten gehen soll, erläutert Corti nicht. Auch Injektionsexperimente, ein inzwischen probates Mittel, um Transportbahnen des

⁸²Corti, 1776a, S. 212–225 (Corti, 1776b, S. 240–246).

⁸³Wie aus einem Brief an Bonnet vom 15. Mai 1776 hervorgeht, hatte Corti vor, auch noch Holzpflanzen zu untersuchen: „Voici 38 plantes dans les parties des quelles j’ai vu le fluide en mouvent [sic] comme dans la prêle toujours à proportion: dans le printems je tâcherai de faire des recherches sur les plantes ligneuses. Mais je vois, que plus que les plantes que je vient de nomer s’eloigne de la prêle, plus la circulation est cachée.“ (Zitiert nach Manzini, 1988a, S. 45.)

⁸⁴Siehe z. B. Corti, 1776a, S. 223, 224 (Corti, 1776b, S. 245, 246).

⁸⁵Corti, 1774, S. 174–177; s. o., S. 119–120.

⁸⁶Corti, 1776a, S. 227–228 (Corti, 1776b, S. 248).

⁸⁷Wie wenig Corti mit den Ergebnissen der Pflanzenanatomie vertraut war, zeigt folgende Äußerung (Corti, 1774, S. 90, Hervorhebung im Original): „... nelle piante non riscontriamo, che un tessuto di parti *similari* sia nelle radici, sia nei tronchi, e rami.“ Spallanzani kritisierte diese Bemerkung mit den Worten (*Riflessioni critiche sull’Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella, e alla Cara, a lui medesimo amichevolmente scritte*, hrsg. v. Manzini [1982, S. 54–58, hier S. 55]): „Dopo che è provato dal Malpighi che le trachee, e gli otricelli nelle piante sono di struttura, e composizione diversissima dai vasi proprii, io non asserirei questo con tanta franchezza.“

„Saftes“ darzustellen, habe er noch keine Gelegenheit gehabt, durchzuführen.⁸⁸ Allerdings scheint er sich von solchen Färbungsversuchen auch gar keinen Erfolg versprochen zu haben.⁸⁹

Corti wußte zwar, offenbar aus Duhamel du Monceaux „Physique des Arbres“, von Hales' Transpirationstheorie zum Mechanismus des Saftaufstiegs⁹⁰ und wird sich in demselben Werk wohl auch mit den konkurrierenden Vorstellungen vertraut gemacht haben, doch zieht er hiervon keine in Betracht. In Anbetracht all dieser Defizite mußten Cortis weitreichende Schlußfolgerungen seinen Zeitgenossen reichlich übertrieben, um nicht zu sagen anmaßend, erscheinen, zumal er seine vagen Äußerungen als Lösung zahlreicher Probleme der „economia vegetabile“ anpries⁹¹.

Forderungen nach einer Veränderung der Stellung der Pflanzen in ihrem Verhältnis zum Tierreich aufgrund ihrer Saftzirkulation fehlen in diesem zweiten Werk Cortis. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf den Einfluß Spallanzanis zurückzuführen, der Cortis Charakterisierung der Chara als „piantanimale“ heftig kritisierte⁹².

⁸⁸Corti, 1776a, S. 229 (Corti, 1776b, S. 248).

⁸⁹Bereits 1774 schrieb er (S. 190): „Ora che siamo certi darsi una circolazione di Fluido dentro a una spezie di piante cerchiam più tosto di ravvisarla immediatamente in altre se sia possibile, e non ci stanchiamo senza frutto sull'idea di renderla visibile a forza di colori.“ Corti unterschätzte die Möglichkeiten der Injektionsexperimente völlig. Das Mißlingen seiner Versuche, die in den Charen enthaltene Flüssigkeit anzufärben, führt er darauf zurück, daß keine Pflanze sich von gefärbten Partikeln ernähre und diese entweder nicht aufgenommen oder in der Pflanze völlig verändert würden. Aus diesem Grunde hätten sich die Naturforscher bisher vergebens bemüht, die wahren Bahnen des Safts in den Pflanzen mit Hilfe von gefärbten Lösungen aufzudecken (Corti, 1774, S. 189–190). Spallanzani widersprach dieser Anschauung zu Recht heftig („Riflessioni critiche“, hrsg. v. Manzini [1982, S. 54–58, hier S. 58]) und verwies auf Bonnets „Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes“ (Bonnets, 1754) sowie den Traktat De la Baisse (De la Baisse, 1733), doch konnte er Corti offenbar nicht vom Wert der Injektionsexperimente überzeugen. Auch Bonnet schlug Corti mehrmals vor, noch einmal Versuche zur Färbung der in den Charen enthaltenen Flüssigkeit zu unternehmen (vgl. Brief Bonnets an Corti v. 28. 1. 1775 [Manzini, 1988a, S. 18–24, hier S. 22–23]; Brief Bonnets an Corti v. 28. 10. 1775 [Manzini, 1988a, S. 36–40, hier S. 40]).

⁹⁰Siehe Corti, 1774, S. 194–195; vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 249–259.

⁹¹Vgl. Corti, 1776a, S. 229 (Corti, 1776b, S. 248–249): „Cotesto passaggio del fluido almeno *linfofatico* dall'uno all'altro vaso, oltre al costituire una sola circolazione in tutta la pianta, fa pur anche svanire buon numero di difficoltà riguardo all'economia vegetabile. Allora noi intendiamo l'ascesa del fluido dalle radici alla sommità delle piante, qualunque sia per essere la cagione del movimento del succhio nelle piante medesime: lo stesso è ancora della discesa. Le profonde intaccature praticate ne' tronchi, e che non tolgono il vegetare alle parti superiori; gl'innesti d'ogni maniera, e la loro unione col tronco; le piaghe rimarginantisi ec. sono tutti fenomeni, che più non creano l'antica difficoltà.“

⁹²Siehe Spallanzanis *Riflessioni critiche sull'Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella, e alla Cara, a lui medesimo amichevolmente scritte*, hrsg. v. Manzini (1982, S. 54–58, hier S. 58).

6.3 Aufnahme, Ausbreitung und Kritik der Cortischen Entdeckung

Cortis Entdeckung der Zirkulation in den Internodialzellen der *Chara* wurde in der „Antologia romana“ zunächst sehr günstig aufgenommen,⁹³ was nach Costa⁹⁴ Giovanni Lodovico Bianconi (1717–1781) zu verdanken gewesen sei. Der Rezensent war offenbar selbst ein Anhänger der Saftkreislauflehre und berief sich dabei auf Pierre Buchoz (1731–1807).⁹⁵

Eine in vielen Punkten vernichtende Kritik an Cortis Entdeckung äußerte dagegen Felice Fontana (1730–1805), einer der bedeutendsten und einflußreichsten italienischen Naturforscher seiner Zeit⁹⁶. Fontana war sehr verärgert darüber,⁹⁷ daß seine Publikationen über die „Tremella“⁹⁸ (*Nostoc*), ihre Bewegungen und intermediäre Stellung zwischen dem Tier- und Pflanzenreich⁹⁹ von Corti aus welchen Gründen auch immer nicht berücksichtigt worden waren. Dieser Zorn wird wohl auch bei seiner Beurteilung des Zirkulationsphänomens eine Rolle gespielt haben.

Fontana nahm im Mai 1775 in der *Antologia romana* auf der Basis eigener Forschungen an Characeen Stellung zu Cortis Entdeckung.¹⁰⁰ Daß Fontana

⁹³So schrieb der Rezensent: „Chi negherà dopo prove cosj sicure la somiglianza tra le circolazioni nell'intero animale, e nelle parti delle piante?“ (*Antologia romana* 1 [1774/1775], Nr. 20 [November 1774], S. 154–155). In den *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...]*“, Bd. 7, Januar 1776, S. 78–81, findet sich zwar unter der Rubrik „Nouvelles littéraires“ ein Referat zu Cortis „Osservazioni microscopiche“ (1774); es handelt sich jedoch nur um eine kurze Darstellung der die „Tremella“ betreffenden Beobachtungen und Experimente Cortis, wohingegen die Zirkulation in den Internodien der Charen mit keinem Wort erwähnt wird.

⁹⁴Costa, 1969, S. 392.

⁹⁵„Non è cosa nuova, che la circolazione dell'umor vegetale nelle piante sia quasi uniforme a quella del sangue negli animali. Veggasi a questo proposito la Dissertazione terza sulla vegetazione delle piante nel Trattato storico de'Vegetabili della Lorena del celebre Buchoz [s. Buchoz, 1762, Bd. 1, S. 62–75]. Ma il Signor Abate Corti Professore di Fisica nel Collegio di Reggio ha con esperienze decisive confermata, e sviluppata questa opinione.“ (*Antologia romana* 1 [1774/1775], Nr. 20 [November 1774], S. 154.) Buchoz nahm einen echten Saftkreislauf an, bei dem die Nährsäfte nach ihrem Abstieg in die Wurzel im Stamm erneut aufsteigen („[...] les sucs nourriciers descendent à la racine pour retourner ensuite à la tige“ [Buchoz, 1762, Bd. 1, S. 64]).

⁹⁶Zu Fontanas Leben und Wirken s. Knoefel, 1984.

⁹⁷Siehe z. B. Fontanas Brief vom 21. Juni 1775 an Charles Bonnet (ediert in Mazzolini, 1972, S. 93–99, hier S. 95); vgl. Fontanas Brief an Corti vom 8. 6. 1775 (s. Manzini, 1988b, S. 54–55).

⁹⁸Zu den Publikationen Fontanas über die „Tremella“ s. Mazzolini, 1972, S. 76, Fußn. 24; S. 82, Fußn. 44.

⁹⁹Siehe Fontana, 1771b, S. 480 (vgl. Fontana, 1775b, S. 25): „Questa pianta animale [Tremella] forma il vero anello di unione fra i due Regni animali, e vegetabile, quello tanto ricercato dai filosofi, e sempre in vano, ed è l'ultimo dei corpi animali, e il primo dei vegetabili.“ (Zitiert nach Mazzolini, 1972, S. 82, Fußn. 44.)

¹⁰⁰Fontana, 1775a.

tatsächlich der Autor dieser anonym veröffentlichten Ausführungen war, ergibt sich nicht nur daraus, daß sie ein Jahr später auf Französisch als Bestandteil eines von Fontana in Rozières „Observations sur la physique, sur l’histoire naturelle et sur les arts“ publizierten Artikels¹⁰¹ erschienen, sondern Fontana selbst gab sich bereits in einem Brief vom 21. Juni 1775 an Charles Bonnet als ihr Verfasser zu erkennen¹⁰². Fontana behauptete gegenüber Bonnet, daß die „reflexions“, die seinen Ausführungen in der *Antologia romana* folgen, nicht von ihm stammten, er sie aber dennoch für „justes et vraies“ halte. Diese „reflessioni“ enthalten auch die für Corti besonders demütigenden und beleidigenden Äußerungen.¹⁰³

Zwar bestreitet Fontana nicht, daß Corti der erste sei, der an einer Pflanze eine reale Flüssigkeitsbewegung beobachtet habe, doch hält er diese Bewegung für keine echte Zirkulation,¹⁰⁴ obwohl er ihren Verlauf in den Internodien im wesentlichen so beschreibt wie Corti.¹⁰⁵ Genausowenig sei die Chara mit einem

¹⁰¹Fontana, 1776.

¹⁰²Der Brief ist ediert in Mazzolini, 1972, S. 93–99. Die betreffende Stelle findet sich auf S. 96.

¹⁰³In diesen „reflessioni“ wird konstatiert (*Antologia romana* 1 [1775], S. 392), „che il dotissimo Professore Reggiano [Corti] in tre anni non abbia veduto quel che N. N. [Felice Fontana] ha veduto in tre giorni, perchè oltre di aver veduto male, non ha nè anco veduto il moto di rotazione del fluido di quei sacchetti [gemeint sind die von Fontana beobachteten Bewegungserscheinungen in den Knotenzellen der Charen; s. u., S. 127], e molte altre cose“. Ferner wird Cortis Werk als ein „Libro pieno di dubbi, pieno di equivoci, oscurissimo, e dove ad ogni passo si distrugge quello, che un momento prima si era avanzato per vero“, bezeichnet. Insbesondere die erste Bemerkung, wonach er in drei Jahren nicht gesehen habe, was Fontana in drei Tagen sah, traf Corti sehr (vgl. Corti, 1776a, S. 200, 225; 1776b, S. 234, 246), was auch verständlich ist. Was den Vorwurf betraf, sein Buch sei voller Widersprüche und unverständlich, schrieb Corti „an einen Freund“, daß „selbst die Damen“, „auch im Lande Fontanas“, es verstanden hätten: „So, e mi è stato scritto ancora più volte, che le Donne stesse, anche nel paese di N. N. [Fontana] se pur non erro, hanno voluto leggerla [Cortis Werk], e hanno detto d’aver inteso tutto.“ (Zitiert nach Manzini, 1988b, S. 60.)

¹⁰⁴Fontana, 1775a, S. 374, 391; Fontana, 1776, S. 285, 288, 291–292; s. a. Fontanas Brief an Haller vom 7. (?) 4. 1775 (Bürgerbibliothek Bern, Korrespondenz Haller, Mss. Hist. helv. XVIII, 35, 58; zitiert nach Mazzolini, 1972, S. 86): „Nei pochi ritagli di tempo, che mi a(van)zano dalle mie occupazioni, ho voluto esaminare la pretesa circolazione di alcune piante, chiamate Chara. Ho veduto che non è una vera circolazione, come l’ha [sic] descrive il professor Corti, ma è bensì vero, che si osserva un moto de’ fluidi tutto sorprendente, né so ancora chi lo produce, né come si mantenga.“ Vgl. ferner Fontanas Brief vom 21. 6. 1775 an Bonnet (ed. v. Mazzolini, 1972, S. 93–99, hier S. 96).

¹⁰⁵Fontana, 1775a, S. 367; Fontana, 1776, S. 286–287. Als Untersuchungsobjekt nennt Fontana (1775a, S. 366; 1776, S. 285–286) Linnés *Chara flexilis*, die von Vaillant *Chara translucens minor flexilis* genannt werde. Diese sei allerdings von der von Corti wiedergegebenen (1774, Tafel III, Fig. 1) und ebenfalls als *Chara translucens minor flexilis* bezeichneten verschieden. So heißt es in der *Antologia romana* (Fontana, 1775a, S. 366): „Questa pianta [die von Fontana untersuchte *Chara translucens minor flexilis*] è affatto diversa da quella, che il Sig. Corti ci da nella Tavola terza, Fig. I., e sopra della quale egli ha fatte le sue prime osservazioni [s. o].“ Während Fontana hier die Unterschiedlichkeit zwischen Cortis erstem Untersuchungsobjekt und seinem eigenen hervorhebt, konstatiert er ein Jahr später, er habe dieselbe Pflanze wie Corti untersucht, obwohl Cortis Abbildung davon verschieden sei (Fontana, 1776, S. 285–286): „Or, M. Corti nous annonce ses découvertes comme étant faites sur le Chara de Vaillant: ainsi j’ai, sans

arteriellen und venösen Gefäßsystem ausgestattet, wie dies Corti¹⁰⁶ behauptet habe.¹⁰⁷ Damit von einem Kreislauf die Rede sein könne, bedürfe es aber eines entsprechenden Gefäßsystems.¹⁰⁸

Im Gegensatz zu Corti scheint Fontana auch Knotenzellen untersucht zu haben,¹⁰⁹ in denen er ebenfalls eine Bewegung beobachten konnte. So bewegten sich die in den „kleinen Blasen“ („petites vessies“, wohl die Knotenzellen) enthaltenen „Kügelchen“ („globules“) „en rond“, also im Kreis, wobei sich an den großen Partikeln auch noch eine Rotationsbewegung um die eigene (allerdings wechselnde) Achse feststellen lasse.¹¹⁰

Man hat den Eindruck, Fontana wollte aus Furcht, daß eine Bezeichnung der Flüssigkeitsbewegung in der *Chara* als Zirkulation zu übertriebenen und un fundierten Schlußfolgerungen führen würde, um jeden Preis die Bewegung in den Internodialzellen nicht als Kreislauf erscheinen lassen. Die drohende Gefahr eines Analogieschlusses von den Verhältnissen in der *Chara* auf sämtliche Pflanzen vor Augen,¹¹¹ erinnert Fontana an die Diskussionen um die Saftkreislauflehre, die

contredit, observé la même plante que M. Corti, quoique la figure qu'on en voit, planche III, figure I, de son Ouvrage, soit très-différente, sans qu'on sache pourquoi.“ Es sei noch erwähnt, daß Fontana „ce mouvement singulier“ (die Flüssigkeitszirkulation in den Charen) auch noch in anderen Wasserpflanzen entdeckt haben wollte, ohne diese jedoch zu nennen (Fontana, 1775a, S. 366; Fontana, 1776, S. 285).

¹⁰⁶Vgl. Corti, 1774, S. 139–140, 149, 152.

¹⁰⁷Fontana, 1775a, S. 368, 391; Fontana, 1776, S. 285, 287, 291.

¹⁰⁸Fontana, 1775a, S. 391; 1776, S. 291.

¹⁰⁹Seiner Beschreibung nach zu urteilen (Fontana, 1775a, S. 374–375; 1776, S. 288), handelte es sich offenbar um die an der Insertionsstelle der Wirtel liegenden Knotenzellen.

¹¹⁰Fontana, 1775a, S. 375; 1776, S. 288. Fontana (1775a, S. 375; 1776, S. 288–289) vergleicht erstere, also die Translationsbewegung, mit der Bewegung „leichter Körperchen“ in einem Glas Wasser, nachdem man mit dem Finger das Wasser in eine rotierende Bewegung versetzt habe. Für die Bewegung in den Internodien verwendet er zunächst ein anderes Modell. So stellt er sich vor (Fontana, 1775a, S. 367; 1776, S. 286–287), daß nur auf eine Hälfte der in den Internodien enthaltenen Flüssigkeitssäule eine bewegende Kraft wirke. Die in Bewegung versetzte Flüssigkeitshälfte biege am Ende des Internodiums um und treibe die Flüssigkeit in der anderen Hälfte vor sich her. Später heißt es dann (Fontana, 1775a, S. 375; 1776, S. 289), die Bewegung in den „kleinen Blasen“ („petites vessies“, Knotenzellen) sei ganz und gar der in den anderen Teilen der *Chara* ähnlich, also auch der in den Internodien. Vollends unübersichtlich werden Fontanas Ausführungen, die ohnehin, da sie von keiner Abbildung begleitet sind, kaum verständlich sind, bei der Beschreibung weiterer, seltenerer Bewegungserscheinungen, wie der einer Spiralbewegung in den „Wurzeln“ (Rhizoiden) der *Chara* (Fontana, 1775a, S. 376; 1776, S. 289). Der Vorwurf, ob nun von Fontana selbst geäußert oder nicht, den man Corti machte, er habe ein „Libro pieno di dubbi, pieno di equivoci, oscurissimo“ verfaßt (s. o., Fußn. 103), trifft nach Ansicht des Verfassers mit weit größerer Berechtigung auf Fontanas Artikel zu.

¹¹¹Vgl. Fontana, 1776, S. 290: „Je vois déjà nombre de Spéculateurs partir de-là sans autre examen, tirer de ces observations, des conséquences à perte de vue; & d'après ce qui se voit dans le *Chara*, on ne manquera pas d'établir un semblable mouvement dans les autres plantes, conduits en cela par le grand argument de l'analogie toujours si aisée à contenter, & toujours si prompte à jeter dans l'erreur. Jamais découverte, jamais observation nouvelle ne fut publiée, qu'elle n'ait ouvert la porte à de nouvelles vérités, & à des erreurs nouvelles. L'envie de pousser plus loin nos découvertes, & d'en faire valoir l'importance, en les rendant générales, nous jette

von Hales, Duhamel du Monceau und Bonnet erfolgreich bekämpft worden sei.¹¹² Zwar erkennt Fontana die offensichtliche Bewegung des Saftes in den Pflanzen an, aber nur in Form eines einfachen Auf- und Abstiegs.¹¹³

Die Flüssigkeitsbewegung in der Chara ist für Fontana zwar keine Zirkulation, sie sei aber auch nicht mit der Saftbewegung in den übrigen Pflanzen vergleichbar, „parce que le fluide dans le Chara revénu au point d’où il étoit parti, recommence tout de suite à remonter de nouveau par le même chemin; le mouvement du Chara est donc tout-à-fait particulier, & n’est point du tout analogue aux autres mouvements connus des corps organisés.“¹¹⁴ Deutlich sieht man, wie sich Fontana winden muß, wenn er auf der einen Seite die Besonderheit der Flüssigkeitsbewegung in den Charen anerkennen möchte, auf der anderen Seite aber um jeden Preis die Bezeichnung „circulation“ zu vermeiden sucht. Es ist daher nicht verwunderlich, daß Corti die ganze Angelegenheit als Streit um Begriffe („lite di termini“) bezeichnete¹¹⁵.

Ein Analogieschluß von den an der Chara beobachteten Flüssigkeitsbewegungen auf die übrigen Pflanzen könnte, so gibt Fontana zu bedenken, allenfalls dann Wahrscheinlichkeit beanspruchen, wenn die anatomische Struktur dieselbe wäre. Im Gegensatz dazu beobachte man aber bei den meisten übrigen Pflanzen ein Gewebe aus Fasern und Gefäßen und nicht aus den für die Chara typischen aneinandergereihten „Zylindern“ (Internodialzellen) und „Diaphragmen“ (Knoten).¹¹⁶ Wie leicht Analogieschlüsse täuschen könnten, hätten seine vergeblichen Versuche, an Wasserpflanzen – mit einem den Charen ähnlichen Aufbau – eine Flüssigkeitsbewegung festzustellen, erwiesen.¹¹⁷ Um seinem Bestreben, einem erneuten Aufflammen der Saftkreislauflehre entgegenzuwirken, noch mehr Nachdruck zu verleihen, verweist Fontana auf die Experimente Mustels, die gezeigt hätten, daß es keinen Saftkreislauf in den Pflanzen gebe.¹¹⁸ Diese für das weitere Schicksal der Saftkreislauflehre in der Tat bedeutenden Versuche Nicolas A. Mustels (1736–1806) werden in Kap. 7 behandelt.

Aber Cortis Entdeckung der Flüssigkeitszirkulation in den Internodialzellen der Chara stieß nicht nur auf Ablehnung, sondern wurde auch von einigen bedeutenden Forschern als echtes Zirkulationsphänomen anerkannt. So schreibt

bien souvent dans les absurdités les plus grossières. L’analogie la plus foible, les inductions les plus éloignées suffisent alors pour nous contenter, & nous croyons voir par-tout égalité de causes, uniformité d’effets, conformité de parties, enfin, une entière & parfaite ressemblance.“

¹¹²Fontana, 1776, S. 290–291.

¹¹³Fontana, 1776, S. 291.

¹¹⁴Fontana, 1776, S. 291–292.

¹¹⁵Corti, 1776a, S. 198 (Corti, 1776b, S. 234).

¹¹⁶Fontana, 1776, S. 292.

¹¹⁷Fontana, 1776, S. 292. Um welche Arten von Pflanzen es sich handelte, erwähnt Fontana nicht. Zwar sei „la plus grande partie des byssus“ darunter gewesen, doch welche Pflanzen damit gemeint sein könnten, läßt sich nicht erschließen.

¹¹⁸Fontana, 1776, S. 292.

Spallanzani am 27. 7. 1774, als Cortis Abhandlung gerade gedruckt wurde, an Antonio Vallisneri Jr. (1708–1777):¹¹⁹

„Al suo arrivo qui Ella vedrà un’operina del Lettor Corti, che le piacerà. È ormai finita di stamparsi a Lucca, e l’autore l’attende a momenti. Ella si aggira singolarmente su due punti interessanti la storia naturale, su la *circolazione degli umori* nelle piante e su la Tremella. Ella sa, che resta anche indeciso tra i fisici se nelle piante si dia, o no vera circolazione di umori; dissi *vera*, giacché una tal quale circolazione di succhio cioè ascende, e che discende, non può negarsi: ma è ben controverso controversissimo, se possa dirsi rigorosa circolazione, succedente cioè presso a poco a quel modo che succede il circolar del sangue negli animali. Ora il Lettor Corti in una pianticella subacquea ha trovato un correr di umori, che ha tutti i caratteri di vero circolo. La scoperta, se regge, come crederei, non è indifferente.“

Man kann davon ausgehen, daß Spallanzani sich selbst von der Existenz dieses Phänomens überzeugt hat, denn in einem Brief an Caldani berichtet er, er habe mehrmals zusammen mit Corti die *Chara* aufmerksam untersucht und die Bewegung der „globetti“ sei ihm immer als eine Art von echter Zirkulation erschienen.¹²⁰

Cortis wilde und unbegründete Spekulationen in seinem Werk von 1774 betreffend die möglichen Eigenschaften eines rein hypothetischen Saftkreislaufs in den verschiedenen Wasser- und Landpflanzen¹²¹ wurden dagegen von Spallanzani nicht im geringsten gebilligt. Hier empfiehlt er seinem Freund in seinen *Riflessioni critiche sull’Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella, e alla Cara*, sich nicht auf Mutmaßungen einzulassen, sondern an die Beobachtung zu halten.¹²² Auch auf andere problematische Stellen, wo sich Cortis Wissenslücken auf physiologischem und taxonomischem Gebiet sowie Unerfahrenheit und Unsicherheit in philosophischen Fragestellungen offenbaren, machte Spallanzani Corti

¹¹⁹Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 10, S. 277–278, hier S. 277 (Hervorhebungen in der Edition).

¹²⁰Brief Spallanzanis an Caldani v. 29. 7. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 192–193, hier S. 192): „Più volte in compagnia del Lettor Corti ho attentamente esaminata la Cara, e quel moto de’ globetti emmi sempre paruto che sia una spezie di vera circolazione.“

¹²¹Corti, 1774, S. 173–177.

¹²²„Dalla circolazione trovata nella cara ne viene questa conseguenza, *che dunque alcune piante hanno circolazione*. Volendo inferirla nelle altre o in queste piuttosto che in quelle, noi ci abbandoniamo alla notte delle congetture, che tutte si appoggiano all’analogia, mille volte trovata fallace. In tanta perplessità, proposta che abbiassi l’osservazione, e l’esperienza per intraprendere novelli tentativi, altro non resta al Naturalista Filosofo.“ (Zitiert nach Manzini, 1982, S. 57.) Ob Spallanzanis nur als Entwurf erhaltene und undatierte *Riflessioni critiche sull’Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella, e alla Cara, a lui medesimo amichevolmente scritte* (Bibl. Munic. Reggio Emilia, Mss. Regg. B 125, f. 59r–65v) jemals, wie ihr Titel andeutet, als Brief an Corti gesandt wurden, oder ob er sie Corti persönlich mitteilte, ist unklar. Wie dem auch sei, sicherlich wird Corti von ihnen Kenntnis erlangt haben.

aufmerksam. Einige dieser Kritikpunkte, wie Cortis Geringschätzung der Injektionsmethode sowie seine wenig überzeugende Argumentation, daß die Charen „piantanimali“ seien, wurden bereits erwähnt.¹²³ Grundsätzlich war Spallanzani von der Beobachtungsgabe Cortis überzeugt,¹²⁴ doch konstatierte er einen Mangel an logischer Strenge.¹²⁵

Spallanzani war offenbar bemüht, seinen Einfluß geltend zu machen, um Cortis Entdeckung eine große Verbreitung zu sichern und ihn zu unterstützen. Gegenüber Charles Bonnet und Caldani nahm er Corti gegen die rüde Kritik, die Fontana in der *Antologia romana* geäußert hatte, in Schutz, wobei er Fontana als „solipse“ bezeichnete, der wegen seiner unduldsamen und arroganten Art inzwischen in ganz Italien verhaßt sei.¹²⁶ Caldani gegenüber bezeichnete Spallanzani, der aufgrund eigener Untersuchungen die Beobachtungen Cortis bestätigen konnte,¹²⁷ Fontanas Beschreibung und Erklärung des Zirkulationsphänomens in den Charen als Phantasieprodukt.¹²⁸

Spallanzani informierte ferner Pehr Vilhelm Wargentin (1717–1783), Sekretär der schwedischen Akademie der Wissenschaften, über Cortis Entdeckung und die von ihm aufgestellten Gesetzmäßigkeiten der Zirkulationsbewegung.¹²⁹ Darüber hinaus verschickte er Exemplare von Cortis Werk an verschiedene Naturfor-

¹²³Siehe oben, S. 123–124.

¹²⁴Vgl. Spallanzanis Brief an Bonnet v. 22. 11. 1772, in dem er von Cortis Entdeckung, daß die „animalcules des infusions . . . mangent, et même qu'ils se mangent mutuellement“, was sie zweifellos zu echten Tieren mache, berichtet. Bei dieser Gelegenheit bezeichnet er Corti („un professeur de Phisique a Reggio, mon ami“) als „bon observateur“ (Spallanzani, *Epistolario*, Bd. 1, S. 351–356, hier S. 355); vgl. den Brief Spallanzanis an Caldani v. 23. 3. 1773 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 182–183, hier S. 183). Auch Haller gegenüber bezeichnete er Corti als „bon observateur“ (Brief Spallanzanis an Haller v. 16. 10. 1776 [Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 5, S. 208–209, hier S. 209]).

¹²⁵Vgl. Spallanzanis Brief an Senebier vom 14. 4. 1777 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 48–49, hier S. 49): „So che [Corti] è osservatore esatto; ma non so se sia egualmente filosofo. Voglio dire logico rigoroso, e bravo combinatore dei fatti naturali.“

¹²⁶Brief Spallanzanis an Bonnet v. 29. 7. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 2, S. 265–268, hier S. 267–268); vgl. den Brief Spallanzanis an Caldani v. 29. 7. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 192–193). Spallanzani erbat sich von Caldani die Zusendung der Kritik Fontanas, um sie an seinen Freund Corti weiterzuleiten (s. Brief Spallanzanis an Caldani v. 23. 6. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 190–191, hier S. 190). Aus dem Antwortbrief Caldanis (Padua, 7. 7. 1775 [Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 191–192, hier S. 191]) erfuhr er, daß Fontanas Kritik in der *Antologia romana* erschienen sei.

¹²⁷Siehe oben, S. 129.

¹²⁸Brief Spallanzanis an Caldani v. 29. 7. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 3, S. 192–193, hier S. 192): „La descrizione, e successiva spiegazione, che ne [von der Zirkulation in den Internodiazellen der Charen] dà Fontana si vede che è tutto un lavoro di fantasia, ma di fantasia anche poco felice nel fingere.“

¹²⁹Brief Spallanzanis an Wargentin v. 28. 7. 1775 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 11, S. 134–135, hier S. 135).

scher.¹³⁰ Auch in seinen Vorlesungen scheint Spallanzani über Cortis Entdeckung berichtet zu haben.¹³¹

Spallanzani schlug sich niemals auf die Seite derer, die aus der Zirkulation in den Internodialzellen der Chara auf eine echte Saftzirkulation in den Pflanzen schlossen. So schreibt er an einen leider nicht identifizierbaren Vertreter der Saftkreislauflehre:¹³²

„La scoperta dell’illustre, e caro mio amico Abbate Corti è certamente nobile, ed io nella Cara ho veduto con piacere questo giro di globetti. Tuttavia io nol chiamerei una verace circolazione.¹³³ [...] Se intorno a questo arduo problema dovessi dirle il mio sentimento, sarei più inclinato a non ammetter che ad ammettere una vera circolazione nei vegetali. Fra tutte le piante che esistono nel globo io non ne trovo di più delicate, di più fine, di più trasparenti, come quelle che nascon nel mare. Io ne’ miei viaggi marittimi ne ho esaminate più centinaia microscopicamente senza aver veduto il più picciol segnale di movimento interno nei loro liquori.

Quando dalla cattedra parlo del Regno vegetale, impiego una lezione nel cercar le cagioni dell’ascendere il succo vitale nelle piante, e l’altra nell’esaminare se nelle piante si dia verace circolo di umori. Produco tutte le ragioni favorevoli, e contrarie, e concludo, con ingenuità che manchiamo finora di dati per la soluzione di questi due problemi.“

Der Brief ist nicht datiert. Da Spallanzani Cortis Monographie von 1775, in der dieser, wie oben berichtet, einen Saftkreislauf in zahlreichen Krautpflanzen

¹³⁰Siehe z. B. Spallanzanis Brief an Firmian v. 16. 9. 1774 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 4, S. 271–272, hier S. 271). Firmians Antwort zeugt von keinem besonderen Interesse: „Avrò poi piacere di ricevere l’operetta indicatami dell’Abbate Corti professore di cotesto Collegio di Regio, che non dubito, che sarà per corrispondere al vantaggioso giudizio che ella [Spallanzani] ne dà, . . .“ (Brief Firmians an Spallanzani v. 1. 10. 1774 [Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 4, S. 272]). Siehe auch Manzini, 1982, S. 50; S. 59, Anm. 11.

¹³¹So schreibt Spallanzani in einem Entwurf für seine Vorlesung: „Hisce tamen non obstantibus [gemeint sind offenbar Einwände gegen eine echte Saftzirkulation in den Pflanzen] circulatio rigorosa talis non potest negari in aliquibus plantis, ut in Cara. Descriptio huius plantae. Quomodo habeatur circuitus in ea. Inventor Corti Regiensis.“ (Bibl. Munic. Reggio Emilia, Mss. Regg. B 125, f. 10r [zitiert nach Manzini, 1982, S. 60, Anm. 36].)

¹³²Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 11, S. 274–275. Aus dem Anfang des Briefes geht hervor, daß der unbekannte Adressat zwei Abhandlungen verfaßte, zu denen er sich von Spallanzani eine Stellungnahme erbat. Eine behandelte den Aufstieg des Saftes in den Pflanzen, die andere „la circolazione dell’umor vitale nelle piante“.

¹³³Diese Aussage steht im Widerspruch zu Spallanzanis sonstiger Überzeugung, daß es sich bei der Flüssigkeitsbewegung in den Internodien der Chara um eine echte Zirkulation handele (s. z. B. das in Fußn. 131 mitgeteilte Zitat aus seinem Vorlesungsentwurf, ferner oben, S. 129, das Zitat aus seinem Brief an Vallisneri). Entweder änderte Spallanzani inzwischen seine Ansicht, oder es ist hier an dieser Stelle etwas anderes gemeint, nämlich eine Extrapolation des Kreislaufs von den Internodialzellen auf die Gesamtpflanze.

postulierte, nicht erwähnt, ist es denkbar, daß der Brief noch vor Erscheinen dieses Cortischen Werks verfaßt wurde. Spallanzani selbst versuchte offenbar, in mehr als hundert verschiedenen Meerespflanzen, die er aufgrund ihrer Zartheit und Transparenz dafür besonders geeignet hielt, eine Flüssigkeitsbewegung festzustellen, jedoch vergebens.¹³⁴ Interessant ist Spallanzanis Hinweis, daß er eine „lezione“ der Frage der Saftzirkulation in den Pflanzen widmete. Dabei hielt er sich offenbar, seinen Aufzeichnungen nach zu urteilen, an Duhamel du Monceaux „Physique des Arbres“ sowie Bonnets „Contemplation de la Nature“.¹³⁵

Zu denen, die Cortis Studien an der „Tremella“ als auch seine Entdeckung der Flüssigkeitszirkulation in den Internodien der Chara am besten beurteilen konnten, zählte natürlich Charles Bonnet. Bereits am 15. 11. 1774 teilte Corti, wohl auf Anraten seines Freundes Spallanzani, Bonnet in einem Brief die wesentlichen Ergebnisse seiner „Osservazioni microscopiche“ mit.¹³⁶ Auf ein Zusenden des Werkes selbst verzichtete er zunächst.¹³⁷

Bonnet antwortete, die „berühmte Frage“ („fameuse question“), ob der Saft in den Pflanzen zirkuliere, sei bisher falsch gestellt worden, da immer nur untersucht worden sei, ob der Saft nach Art des Blutkreislaufs zirkuliere. Da viele Tiere keine Kreislauforgane besäßen, obwohl anzunehmen sei, daß die Natur auch in ihnen die Nährsäfte mit Hilfe einer „circulation“ zubereite, so sollte man in den Pflanzen eine Saftzirkulation erwarten, die sich stark vom Blutkreislauf unterscheide. Eine solche „sorte de circulation“ habe Corti in den Internodien der Charen entdeckt.¹³⁸ Interessant ist, daß Bonnet nach einer Bestätigung der Ori-

¹³⁴Siehe hierzu auch den Brief Spallanzanis an Senebier v. 3. 9. 1789 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 198–199, hier S. 199).

¹³⁵Vgl. Spallanzani, *Lezioni*, Bd. 2, S. 24: „Discussione sopra la circolazione del suco: Ricerche su la cagione che determina il suco ad ascendere nelle piante. Questi due capi che si possono discutere in una sola lezione, sono il primo nel Duhamel, l. c. [„La Physique des Arbres“], t. II, p. 312 &, e in Bonnet, *Contempl.*, t. I, p. 209, testo e nota 1 [vgl. Bonnet, 1781, Bd. 7, S. 317–319, Fußn. 1] e nell’istesso Bonnet, *ibid.*, t. II, nota 5 [vgl. Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 454–458, Fußn. 5] [...]“. Der Edition der *Lezioni* ist nicht mit Sicherheit zu entnehmen, auf welches Jahr sich diese Notiz bezieht. So heißt es zwar in der Einleitung (Bd. 2, S. 7): „Dopo aver concluso il 29 marzo 1791 il corso die Mineralogia, Spallanzani iniziò subito dopo il corso di Botanica, portandolo a termine, con la fine dell’anno scolastico, nel giugno 1791“; aber auf der anderen Seite spricht Spallanzani einmal von Experimenten zur Verlangsamung des Blutkreislaufs, die er im Winter 1794 angestellt habe (Spallanzani, *Lezioni*, Bd. 2, S. 32).

¹³⁶Brief Cortis an Bonnet v. 15. 11. 1774 (Manzini, 1988a, S. 13–17).

¹³⁷Corti an Bonnet, 15. 11. 1774 (Manzini, 1988a, S. 13–17, hier S. 13): „J’avois envie de vous presenter le petit livre [Corti, 1774] même, mais M.r l’abé Spallanzani m’a assuré, que cela vous auroit réusi [sic] à charge.“

¹³⁸Brief Bonnets an Corti v. 28. 1. 1775 (Manzini, 1988a, S. 18–24, hier S. 22): „La fameuse question, si la sève *circule* dans les plantes, n’a pas toujours été proposée de la manière la plus propre à fixer l’état de la question. On a demandé pour l’ordinaire: si la sève *circuloit* dans les plantes comme le *sang* dans les animaux? Sous ce point de vue, il est bien évident, que la question doit être décidée négativement; [...] Mais il peut y avoir dans l’immense étendue du système organique bien des espèces de *circulations*, dont nous ne saurions nous former aucune idée, & que l’expérience seule peut nous faire connoître. Il est de véritables animaux

ginalität der Cortischen Entdeckung eine Bemerkung folgen läßt, die klingt, als habe er in seinen „Recherches sur l’usage des feuilles“ einen Saftkreislauf in den höheren Pflanzen angenommen.¹³⁹ In Wirklichkeit lehnte Bonnet jedoch einen Saftkreislauf in dem genannten Werk ab,¹⁴⁰ so daß der Eindruck entsteht, als habe er gegenüber Corti und dessen Entdeckung seine frühere Einstellung zur Frage eines Saftkreislaufs „cachieren“ wollen. Vielleicht war Bonnet tatsächlich eine Zeit lang von der Möglichkeit eines Saftkreislaufs in den höheren Pflanzen überzeugt. In seinen gedruckten Werken behielt Bonnet jedoch seine ablehnende Haltung gegenüber der Saftkreislauflehre stets bei.¹⁴¹

Nachdem Bonnet von Corti ein Exemplar seiner „Osservazioni microscopiche“ sowie eine französische Übersetzung der Figurenerklärungen erhalten hatte,¹⁴² äußerte er sich noch positiver über dessen Entdeckung: „Vos prélès [Cortis Charen] semblent la [question si controversée de la circulation] décider affirmativement; car on ne peut guères se refuser à y admettre une circulation proprement dite, et que vos figures mettent sous les yeux.“¹⁴³ Stolz zitierte Corti in seinem „Brief an Paradisi“ diese Anerkennung des großen Naturforschers und spielte sie gegen Fontana aus.¹⁴⁴ Aller Wahrscheinlichkeit nach verifizierte Bonnet Cortis Entdeckung nicht durch eigene mikroskopische Untersuchungen, da der Zustand seiner Augen dies seit über 20 Jahren nicht mehr zuließ.¹⁴⁵

Angesichts dieser positiven Reaktionen ließ Corti Bonnet auch noch ein Exemplar seiner Publikation von 1775 zukommen, in der er von seiner „Entdeckung“ einer Saftzirkulation in 38 verschiedenen Pflanzen berichtete (s. o.).¹⁴⁶ Dieses Mal

où l’on n’apperçoit aucune trace des *organes de la circulation*: si donc la nature y prépare les sucs nourriciers par une *circulation*, comme il y a lieu de le présumer, il faut que cette circulation s’opère ici par des voyes bien différentes de celles qui nous sont connues. [...] Si donc la sève *circule* dans les plantes, c’est sûrement d’une manière qui differe beaucoup de la circulation animale *proprement dite*. Je ne puis douter, que vous n’ayez apperçu dans votre *prèle aquatique rampante* [Chara] une sorte de *circulation*, renfermée dans les limites de deux noeuds, et qui s’opere à l’aide de deux tuyaux principaux, l’un *ascendant*, l’autre *descendant*, et qui communicoient ensemble.“ Der erste Teil dieses Zitats (bis „connoître“) ist zitiert in Corti, 1776a, S. 199, Fußn. e bzw. Corti, 1776b, S. 234, Fußn. 1.

¹³⁹Brief Bonnets an Corti v. 28. 1. 1775 (Manzini, 1988a, S. 18–24, hier S. 23 [Hervorhebung nicht im Original]): „Vous verréz dans mon livre [*Recherches sur l’usage des feuilles dans les plantes*] les raisons qui me persuadent, que la sève s’élève par les fibres du bois, et qu’après avoir passé dans les feuilles, elle descend par les fibres de l’écorce vers les racines, *pour remonter de nouveau par les fibres du bois*, etc.“ Eine solche Saftbewegung, wie sie Bonnet hier beschreibt, entspricht einem echten Saftkreislauf.

¹⁴⁰Siehe Kap. 4.2.

¹⁴¹Siehe Bonnet, 1781, Bd. 7, S. 317–319; 1781, Bd. 8, S. 444–460.

¹⁴²Siehe den Brief Cortis an Bonnet v. 15. 2. 1775 (Manzini, 1988a, S. 25–35).

¹⁴³Bonnet an Corti, 28. 10. 1775 (Manzini, 1988a, S. 36–40, hier S. 40).

¹⁴⁴Corti, 1776a, S. 198; Corti, 1776b, S. 233–234.

¹⁴⁵Vgl. Bonnet, 1754, S. III.

¹⁴⁶Brief Cortis an Bonnet v. 15. 5. 1776 (Manzini, 1988a, S. 41–45, hier S. 41). Corti sandte die Abhandlung nicht direkt an Bonnet, sondern ließ sie ihm über Haller zukommen. Der Brief an Bonnet enthielt wieder eine französische Übersetzung der Figurenerklärungen (Manzini, 1988a,

mußte Bonnet allerdings konstatieren, daß er und de Saussure nicht in der Lage gewesen seien, Cortis Angaben zu verifizieren. Dennoch zweifelte er nicht an Cortis Beobachtungen, sondern machte dafür die Beobachtungsbedingungen verantwortlich.¹⁴⁷

Trotz der anfangs positiven Reaktionen Bonnets auf Cortis Entdeckungen machte er sich später die Interpretation Fontanas zu eigen. So schreibt Bonnet in seiner „Contemplation de la nature“, bei der Bewegung in den Internodien der Chara handele es sich um keine „véritable circulation“, und auch was den Mechanismus der Flüssigkeitsbewegung betraf, schloß er sich Fontanas Deutung an.¹⁴⁸ Bonnet selbst sprach von einer Rotationsbewegung („mouvement rotatoire“, „mouvement de rotation“), womit er nicht nur den Begriff der „circulation“ vermied, sondern auch, nach heutigen Gesichtspunkten,¹⁴⁹ die Art der Bewegung des Cytoplasmas zutreffender beschrieb. Er berichtete auch über Cortis Feststellung einer ähnlichen Bewegung in den „tubules“ (Zellen) von mehr als 30 verschiedenen Krautpflanzen sowie über Cortis Ansicht, wonach die „Zellflüssigkeit“ die „diaphragmes“ (Zellwände) passiere und letztlich über den gesamten Pflanzenkörper bewegt werde.¹⁵⁰ Zwar macht Bonnet noch auf die ungeklärte Frage nach der Natur und Funktion der in den „Zellen“ bewegten Körperchen aufmerksam und äußert die Vermutung, daß eine entsprechende Bewegung auch in Holzpflanzen stattfinden könnte,¹⁵¹ doch erfolgt ansonsten keine weitere Diskussion des Phänomens.

Bonnets Darstellung der Cortischen Entdeckung wurde von seinem Schüler Jean Senebier im wesentlichen übernommen, denn dessen Bericht in der „Encyclopédie méthodique“¹⁵² sowie in seiner „Physiologie végétale“¹⁵³ ist nichts anderes als eine Zusammenfassung der Bonnetschen Äußerungen. Senebier erbat sich zwar von Spallanzani eine Zusammenfassung der Cortischen Abhandlung von 1774,¹⁵⁴ und Spallanzani erwähnte in seiner Antwort nicht nur Cortis Entdeckungen bezüglich der „Tremella“, sondern auch die Zirkulationsbewegung in den Chara-Internodien,¹⁵⁵ doch scheint sich Senebier nur für ersteres interessiert zu haben. 1785 erhielt Senebier von Spallanzani ein Exemplar von Cortis „Osser-

S. 41–45, hier S. 42–45), aber bereits im September 1776 erschien auch der gesamte Text in französischer Übersetzung in Roziers Journal (Corti, 1776b).

¹⁴⁷Brief Bonnets an Corti v. 23. 10. 1776 (Manzini, 1988a, S. 46–51, hier S. 46).

¹⁴⁸Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 454–455, Fußn. 5.

¹⁴⁹Siehe zu den Unterschieden zwischen Plasmarotation und Plasmazirkulation Strasburger, 1983, S. 16.

¹⁵⁰Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 457–458, Fußn. 5.

¹⁵¹Ibid.

¹⁵²Senebier, 1791, S. 269–270.

¹⁵³Senebier, 1800, Bd. 4, S. 161–162.

¹⁵⁴Brief Senebiers an Spallanzani v. 17. 9. 1776 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 13–15, hier S. 14).

¹⁵⁵Brief Spallanzanis an Senebier v. 15. 10. 1776 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 15–18, hier S. 17–18).

vazioni microscopiche“,¹⁵⁶ doch deuten seine späteren Äußerungen, wie erwähnt, auf keine selbständige Auseinandersetzung mit dem Zirkulationsphänomen.¹⁵⁷

¹⁵⁶Siehe Brief Senebiers an Spallanzani v. 18. 6. 1785 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 163–165, hier S. 163).

¹⁵⁷Zu einem Überblick über die weiteren Forschungen im 19. Jahrhundert an der Cytoplasmarotation in den Charen s. Bonizzi, 1883, S. 13–18, 43–47; De Toni, 1912–1913, S. 420–421.

7. Neue Experimente zur Frage des Saftkreislaufs in den 1770er und 1780er Jahren

Während die Argumente für und gegen die Saftkreislauflehre seit De la Baisse und Hales mehr oder weniger dieselben geblieben waren, kam es in den 70er und 80er Jahren des 18. Jahrhunderts zu neuen experimentellen Ansätzen zur Klärung der Saftkreislauffrage. Zu nennen sind hier die Versuche Mustels und Walkers, die im folgenden näher behandelt werden sollen.

7.1 Nicolas A. Mustel (1736–1806)

Mustel¹ konnte experimentell nachweisen, daß einzelne Äste im Winter durch lokale Erwärmung zum Ergrünen und Erblühen gebracht werden können, während der übrige Pflanzenkörper keinerlei Vegetationserscheinungen aufwies. Eine solche lokale Erscheinung war für Mustel mit der Vorstellung eines den gesamten Pflanzenkörper durchlaufenden Saftkreislaufs nicht in Einklang zu bringen.

Für seine am 12. Januar 1771² begonnenen Versuche verwendete Mustel mehrere Rosensträucher und einen Zwergapfelbaum. Einen Teil dieser Pflanzen stellte er innerhalb, einen anderen außerhalb seines Gewächshauses entlang einer der verglasten Wände auf. Von den im Freien befindlichen Pflanzen ließ er jeweils einen oder mehrere Äste durch ein mit Mastik abgedichtetes Loch in das Innere des Gewächshauses ragen. Bei den innerhalb des Gewächshauses untergebrachten Versuchspflanzen verfuhr er umgekehrt. Mustel beobachtete, daß unabhängig

¹Nicolas Alexandre Mustel, gebürtig aus Rouen, war Offizier (capitaine de dragons) und Agronom. Er setzte sich besonders für eine Verbreitung des Kartoffelanbaus ein. (Vgl. Oursel, Noémie Noire: Nouvelle biographie normande. 4 Bde. Paris 1886–1912 [*Archives biographiques françaises*, I, Mikrofiche 773, Aufnahme 250–251].)

²Das Jahr, in dem die Versuche stattfanden, wird von Mustel nirgends genannt, sondern stets nur der Tag, an dem er mit seinen Experimenten begonnen hatte. Da aber Duhamel du Monceau am 15. 7. 1771 einen Brief an Mustel schrieb, in dem er ihn darüber unterrichtet, daß er der Akademie über seine Versuche Bericht erstattet habe, werden Mustels Experimente wohl in demselben Jahr, d. h. 1771, stattgefunden haben. Der Brief ist abgedruckt in Mustel, 1781, S. 338–339.

davon, wo die einzelnen Stöcke aufgestellt waren, die jeweils im Gewächshaus befindlichen Teile in den folgenden Wochen ergrünten und erblühten, wohingegen die der Kälte ausgesetzten Teile sich genauso verhielten, wie dies für die Jahreszeit zu erwarten war. Bei einem außerhalb des Gewächshauses aufgestellten Rosenstrauch ließ die gefrierende Kälte sogar den Topf zerspringen, und einige Äste gingen ein, während der in das Gewächshaus reichende Ast Blütenknospen entwickelte.³

Mustel betrachtete seine Versuche als Beweis, daß es keinen Saftkreislauf in den Pflanzen geben könne. Zwar könne man in den Fällen, in denen ein einzelner Ast, der der Kälte ausgesetzt sei, keine Vegetationserscheinungen aufweise, behaupten, die Kälte habe die Zirkulation in diesem Ast zum Erliegen gebracht, doch sei die umgekehrte „expérience“, bei der ein einzelner Ast vegetiert habe, während der dazugehörige Stock vereist gewesen sei, „concluante contre le système de la circulation“. Der Saft im ergrünenden und blühenden Ast sei in diesem Falle „très-raréfiée“ und in großer Bewegung, während der Saft des Stocks stark verdichtet und inaktiv sei, so daß sich die Frage stelle: „Comment trouver ici une circulation de la seve des racines d’une tige gelée à une branche pleine de vigueur, couverte de feuilles & de fleurs?“ Einen Saftkreislauf in dem vegetierenden Ast allein anzunehmen, mache keinen Sinn, denn wie könnte man „appeller circulation celle qui n’auroit lieu que dans un seul membre?“⁴

Da es nicht vorstellbar sei, daß der grünende Ast seinen Saft aus den der Kälte ausgesetzten Wurzeln oder dem Stamm bezogen habe, kommt Mustel zu dem Schluß, daß jeder Pflanzenteil genügend Saft für die erste Entwicklung von Knospen, Blättern und Blüten besitze.⁵ Bewirkt werde diese Entwicklung durch die Wärme, sei sie natürlich oder künstlich.⁶

Auch in seinem vierbändigen „Traité théorique et pratique de la Végétation“ (1781) wendet sich Mustel entschieden gegen die Saftkreislauflehre. Band 2 seines „Traité“ enthält nicht nur den ursprünglich französischen Text seiner Publikation von 1773⁷, sondern auch noch weitere Argumente gegen den „système de la circulation“⁸. Diese tragen jedoch kaum eigenständigen Charakter, sondern sind zum einen an Duhamel du Monceaux Ausführungen in dessen „Physique des Arbres“ orientiert, zum anderen La Quintinies „Reflexions sur quelques parties de

³Siehe zu diesem Absatz Mustel, 1773, S. 127–130; Mustel, 1781, S. 326–330.

⁴Siehe zu diesem Absatz Mustel, 1781, S. 332–333; s. a. Mustel, 1773, S. 132–133.

⁵Mustel, 1781, S. 333–334.

⁶Mustel, 1773, S. 134–135; Mustel, 1781, S. 335–336.

⁷Mustel, 1781, S. 326–337.

⁸Mustel, 1781, S. 137–158.

l'agriculture“⁹ entnommen, den er wörtlich zitiert¹⁰. Weitere Einflüsse sind von seiten Hales' und Bonnets zu konstatieren, wie Mustel selbst angibt.¹¹ Interessant ist seine abschließende Bemerkung: „Si je me suis attaché à le [die Lehre vom Saftkreislauf] détruire par d'aussi longs détails, c'est que je sais que ce système s'est fort accrédité, & qu'il a beaucoup de partisans qui y tiennent fortement.“¹² Zur Zeit Mustels scheint demnach die Saftkreislauflehre weit verbreitet gewesen zu sein, auch wenn Mustel möglicherweise in der Frage der Anhängerschaft der Saftkreislauflehre etwas übertrieben hat, um die Bedeutung seiner eigenen Versuche stärker hervortreten zu lassen.

Über Anlaß und Motivation Mustels zu seinen oben beschriebenen Gewächshaus-Versuchen ist nichts Konkretes bekannt. Da Mustel ein entschiedener Gegner einer weitläufigen Anwendung von Analogieschlüssen war,¹³ ist es denkbar, daß er sich die Saftkreislauflehre gezielt herausgriff, um an ihr die Gefährlichkeit von Analogieschlüssen zu exemplifizieren.

⁹Die genannte Schrift ist enthalten in *La Quintinie*, 1692, Bd. 2, S. 287–344. La Quintinie stützt sich in seinen Einwänden hauptsächlich auf die Diskrepanzen, die zwischen der Vorstellung eines Saftkreislaufs und damit eines Geschehens, das die gesamte Pflanze umfaßt, und andererseits dem relativ selbständigen Charakter der einzelnen Teile eines Pflanzenkörpers bestehen. So müsse man auf der einen Seite der Wurzel und ihrer Lebenstätigkeit eine zentrale Rolle, sowohl was den zeitlichen als auch den örtlichen Beginn der Zirkulation betreffe, zuschreiben, zum anderen gebe es aber reichlich Beispiele für Pflanzen bzw. Pflanzenteile, die auch ohne Wurzel überlebten (z. B. über weite Strecken transportierte Pfropfreiser) bzw. sogar wüchsen (z. B. entwurzelte Bäume, die im Frühjahr austreiben) (*La Quintinie*, 1692, Bd. 2, S. 331–332 [*La Quintinie*, 1693b, S. 69]). Ein weiteres Problem ergebe sich daraus (*La Quintinie*, 1692, Bd. 2, S. 333–334 [*La Quintinie*, 1693b, S. 71]), daß in einem Baum zusätzlich zu einem Gesamtkreislauf eigentlich noch so viele partielle Kreisläufe anzunehmen seien, wie sich potentiell Zweigstecklinge entnehmen lassen, denn jeder Steckling sei ja in der Lage, sich zu bewurzeln und selbst zu einem Baum zu werden. In jedem Steckling müsse bereits vor seiner Entnahme ein entsprechender separater Kreislauf vorhanden gewesen sein, anders lasse sich das Gedeihen der Stecklinge nicht erklären. Auch die selbständige Entwicklung von Ablegern nötige zur Annahme eines jeweils eigenständigen Kreislaufs. Die Frage des Verhältnisses dieser untergeordneten partiellen Kreisläufe zum Gesamtkreislauf in ein und demselben Baum sei jedoch völlig ungeklärt.

¹⁰Mustel, 1781, S. 148–157.

¹¹Mustel, 1781, S. 157.

¹²Mustel, 1781, S. 158.

¹³Mustel widmet im „*Traité théorique et pratique de la Végétation*“ ein ganzes Kapitel seiner Polemik gegen die „fureur“ und „manie de l'analogie“, die auch die fähigsten Naturforscher befallende und zu Fehlschlüssen verleite, was er an zahlreichen Beispielen von irreführenden Analogien zwischen Pflanzen und Tieren sowie zwischen verschiedenen Taxa innerhalb der beiden Reiche der Lebewesen verdeutlicht (Mustel, 1781, S. 128–137). Nur in sehr begrenztem Ausmaße erkennt Mustel eine sinnvolle Verwendung der Analogie an: „Convenons donc que l'analogie ne peut être utilement & justement appliquée qu'entre les plantes d'un même genre. Là seulement elle devient frappante par la parité d'organisation, de suc propres, de productions: là, elle devient d'une application utile pour la culture particulière de ces plantes, du régime qui leur convient, & des greffes que l'on peut faire avec succès les unes sur les autres“ (Mustel, 1781, S. 135–136).

Mustel berichtete zum ersten Mal auf einer Sitzung der Akademie der Wissenschaften von Rouen über seine Gewächshaus-Experimente. Aufgrund der eher verhaltenen Reaktion wandte er sich an Duhamel du Monceau.¹⁴ Dieser trug Mustels Bericht der Académie Royale des Sciences in Paris vor, verwies aber zugleich auf seine eigenen Experimente an Weinstöcken, die er in seiner „Physique des Arbres“ beschrieben habe und die denen Mustels entsprächen.¹⁵ In der „Histoire de l’Académie Royale des Sciences“ für das Jahr 1771 erschien ein kurzer Bericht über Mustels Experimente, das Mémoire Mustels selbst wurde jedoch nicht veröffentlicht. Außerdem enthält der Bericht einschränkende Äußerungen zu Mustels Schlußfolgerungen.¹⁶ So sei durch seine Versuche nicht bewiesen, daß aus den der Kälte ausgesetzten Wurzeln keinerlei Nahrung bezogen werde. Ferner wurde lediglich konstatiert, es sei sehr schwierig, Mustels Beobachtungen mit der Vorstellung eines Saftkreislaufs in Einklang zu bringen, von einer eindeutigen Widerlegung dieser Theorie ist jedoch nicht die Rede. Wahrscheinlich ist dies auf den Einfluß Duhamel du Monceaus zurückzuführen, denn Duhamel betrachtete Experimente, mit denen sich lokale Unterschiede im „Bewegungszustand des Safts“ in ein und derselben Pflanze nachweisen lassen, nicht als schlüssige Beweise gegen einen Saftkreislauf¹⁷.

Noch im selben Jahr 1771 reiste Mustel nach London.¹⁸ Auf Veranlassung Matthieu Mathys (1718–1776), des Sekretärs der Royal Society, wurde sein Mémoire ins Englische übersetzt und in den Philosophical Transactions des Jahres 1773 veröffentlicht.¹⁹ Aber ganz zufrieden war Mustel auch mit der Reaktion in England nicht, denn die Royal Society veranlaßte einen Zusatz²⁰, wonach bereits Hales die Saftkreislauflehre widerlegt habe.²¹

Mustel schätzte die Wirkung seiner Experimente vielleicht allzu pessimistisch ein, denn immerhin berief sich Fontana in seinen Bemühungen, ein Wieder-aufleben der Saftkreislauflehre zu verhindern, auf Mustels Versuche.²² Später berücksichtigte auch Senebier Mustels Experimente, jedoch ohne dessen Namen zu nennen, als Argumente gegen einen Saftkreislauf. Allerdings machte er gleich-

¹⁴Mustel, 1781, S. 337–338.

¹⁵Siehe Mustels Zitat aus dem „Extrait des Registres de l’Académie des Sciences de Paris“ (Mustel, 1781, S. 339–342, hier S. 340); vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 278.

¹⁶*Histoire de l’Académie Royale des Sciences. Année M. DCCLXXI. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Tirés des Registres de cette Académie.* Paris 1774, *Histoire*, S. 45–46.

¹⁷Vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 324.

¹⁸Mustel, 1781, S. 337.

¹⁹Siehe Mustel, 1773.

²⁰Siehe Mustel, 1773, S. 126, Fußn. *.

²¹Enttäuscht über die Reaktionen der verschiedenen Akademien schreibt Mustel 1781 (S. 338): „[...] le résultat de cette expérience [des Gewächshaus-Versuchs], qui par lui-même devoit être le même par-tout, a été cependant fort différent, selon les dispositions de ceux auxquels elle est parvenue. A Rouen, on n’a point cru; à Paris, on n’a point jugé; & à Londres on a plus fait que croire & juger, en me marquant que l’on étoit déjà convaincu.“

²²Fontana, 1776, S. 292; s. das vorangegangene Kapitel.

zeitig auf einen Schwachpunkt in Mustels Argumentation aufmerksam. So geht er davon aus, die von außen in das Gewächshaus geleiteten Zweige hätten sich, wären sie von der Mutterpflanze getrennt worden, nicht entwickelt. Es stelle sich somit die Frage, ob die „fluides alimentaires“ nicht doch über die Wurzel, auch wenn diese der Kälte ausgesetzt sei, bezogen würden.²³ Ferner äußert Senebier, methodologisch bekanntlich bestens geschult, anlässlich der ähnlichen, von Duhamel du Monceau durchgeführten Versuche an Weinstöcken²⁴ Kritik an der Art der Durchführung dieser Art von Experimenten. So wäre es sehr wichtig gewesen, die Zweige, die in das Gewächshaus hineinreichten, anatomisch zu untersuchen, auch in dem Teil, der der Außenluft ausgesetzt war, und letzteren Abschnitt mit dem Zustand ähnlicher Pflanzen zu vergleichen, die voll und ganz der Außenluft ausgesetzt blieben, von denen also kein Zweig in ein Gewächshaus reichte.²⁵

Wie die Reaktion der Académie Royale und später auch Senebiers zeigt (s. o.), erachtete man Mustels Versuch als nicht so beweiskräftig, wie er dies selbst dachte. Letztlich war eben die Deutung seiner Experimente, daß es keinen Saftkreislauf gebe, genauso empirisch unterdeterminiert wie die konträre Annahme eines Saftkreislaufs. So fiel es Corti nicht besonders schwer, Mustels Argumente zu entkräften.²⁶ In den der Kälte ausgesetzten Teilen, so wandte er ein, finde keine Zirkulation statt, oder sie sei sehr langsam, so daß sich keine sichtbare Vegetationserscheinung ergebe. Ferner sei es denkbar, daß die im Gewächshaus befindlichen Teile aus der mit Ausdünstungen der Erde und der übrigen Pflanzen angereicherten Luft „qualche umore“ aufnähmen und daher – so ist zu ergänzen – nicht darauf angewiesen seien, über den durch die Kälte stark verlangsamten oder gar zum Erliegen gebrachten Saftkreislauf ihre Nahrung zu beziehen. Es könne auch sein, daß die grünenden und blühenden Teile sich aus ihrer eigenen Substanz ernährten, wie dies einige Pflanzen bei der Hervorbringung ihrer Sprößlinge machten.

²³Senebier, 1791, S. 266–267; Senebier, 1800, Bd. 4, S. 124–125. Es sei daran erinnert, daß Mustel mehr oder weniger apodiktisch davon ausging, daß der grünende Ast seinen Saft nicht aus den Wurzeln oder dem Stamm bezogen haben könne (s. o.).

²⁴Siehe Duhamel du Monceau, 1758, Bd. 2, S. 278. Senebier unterließ hier ein kleiner Fehler bezüglich der Chronologie der Versuche, indem er offenbar der Ansicht war, Duhamels Experimente seien *nach* denen Mustels durchgeführt worden („Duhamel répéta cette expérience sur un cep de vigne [...]“ [Senebier, 1800, Bd. 4, S. 125]).

²⁵Senebier, 1800, Bd. 4, S. 126.

²⁶Siehe Corti, 1776a, S. 230–231; 1776b, S. 249–250.

7.2 John Walker (1731–1803)

Walker²⁷ ist der Ansicht, die bis dato ungelöste Frage eines Saftkreislaufs lasse sich nur durch Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Saftbewegung klären.²⁸ Bewußt knüpft er an die Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre des 17. Jahrhunderts in der Royal Society diskutierten Fragen und Problemstellungen an und wirft eine von Listers „quaeries“ erneut auf,²⁹ ob die Bewegung des „Safts“ in allen Teilen eines Baumes zur selben Zeit einsetzt. Ferner erinnert er an ein Argument Hales' gegen einen in separaten Gefäßen absteigenden Saft und damit auch gegen einen Saftkreislauf im allgemeinen.³⁰ Hales hatte die Vermutung geäußert,³¹ zu Beginn der Saftbewegung im Frühjahr, wenn sich die Rinde vom Holz leicht ablösen lasse, zeige sich die Feuchtigkeit in der Rinde zunächst am Fuß des Baumes, und nicht an den obersten Ästen, wie es sein müßte, falls der Saft im Holz auf- und in der Rinde absteige. Hales führte keine entsprechenden Experimente durch, doch was den Wein betreffe, sei er recht sicher, daß als erstes der untere Teil der Rinde feucht werde.³²

Der zeitliche Verlauf einer Saftbewegung ließ sich natürlich am leichtesten an Bäumen untersuchen, die stark „bluten“. Hier stellte sich für Walker die Frage, ob das Bluten der Bäume aus allen Teilen zugleich geschieht oder der Blutungssaft in der Pflanze allmählich vorrückt und welchen Verlauf er dabei nimmt. Für seine sehr sorgfältig ausgeführten Versuche verwendete Walker eine junge Birke von 30 Fuß Höhe und einem Umfang an der Stammbasis von 26 Inches.³³

Um zunächst festzustellen, wann und wo das „Bluten“ als erstes einsetzt, bohrte Walker jeden zweiten Tag zwischen dem 1. Februar und dem 5. März³⁴ in Bodennähe ein Loch in den Stamm der Birke bis zum Holz und schnitt ferner jeweils ein Astende ab. Nachdem beide Stellen stets trocken blieben, stellte er am 5. März schließlich im Holz der unteren Einschnittstelle deutliche Feuchtigkeit fest, während die Rinde an dieser Stelle sowie die Astenden trocken waren. Am selben Tag nahm Walker im Abstand von jeweils einem Fuß 21 Einschnitte auf der nördlichen Seite des Stammes der Birke vor. Die Einschnitte hatten die Gestalt

²⁷Walker, ab 1779 Professor der Naturgeschichte in Edinburgh, ist besonders für seine Forschungen auf dem Gebiet der Geologie bekannt; s. Scott, 1976.

²⁸Walker, 1788, S. 3–4.

²⁹Siehe M. Lister in *Phil. Trans.*, Nr. 70 (1671), S. 2119–2125, hier S. 2122.

³⁰Walker, 1788, S. 4–5.

³¹Hales, 1969 [1727], S. 77.

³²In einer späteren Auflage seiner „Vegetable Staticks“ ergänzte Hales, er habe von Arbeitern, die Eichen abrinden, erfahren, zu Beginn des Frühjahrs lasse sich die Rinde am Fuß der Eiche leichter abschälen als an den Ästen, wohingegen es am Ende des Frühjahrs umgekehrt sei (s. Hales, 1748, S. 214).

³³Walker, 1788, S. 5.

³⁴In welchem Jahr dies geschah, ist nicht ersichtlich.

gleichseitiger Dreiecke mit einer Seitenlänge von einem Inch und reichten bei einer Tiefe von einem Inch bis in den Holzteil.³⁵

Walker konnte anhand der Einschnitte verfolgen, wie im Laufe der folgenden Wochen am Fuß der Birke beginnend nach und nach Blutungssaft aus den Einschnitten austrat und wie das Einsetzen des Blutens sowie die Geschwindigkeit des allmählichen Aufstiegs des Blutungssaftes von der Temperatur abhängig war. Die beiden untersten Einschnitte begannen am 11. März zu bluten, doch es dauerte bis zum 24. April, bis der oberste Einschnitt auf einer Höhe von 20 Fuß zu bluten anfang. Walker folgerte, „that a tree does not become suddenly replete with sap, as has been generally thought. The sap does not mount into a tree by one, but by several successive tides.“³⁶ Aus seinen Beobachtungen leitete er ab, der Blutungssaft werde zwischen Holz und Rinde sowie im Holz transportiert, nicht jedoch in der Rinde.³⁷ Als Durchschnittswerte für die Geschwindigkeit des Blutungssaftaufstiegs ermittelte Walker ca. 6 Inches bzw. ca. 9 Inches in 24 Stunden.³⁸

³⁵Siehe zu diesem Absatz Walker, 1788, S. 5–6.

³⁶Walker, 1788, S. 12.

³⁷Walker, 1788, S. 7, 9, 34–35.

³⁸Walker, 1788, S. 33. Walker führte an der genannten Birke seine Experimente in zwei verschiedenen Jahren durch, daher die unterschiedlichen Werte. Heute wissen wir, daß sich der Blutungssaft in Wirklichkeit kaum bewegt; vgl. Strasburger, 1983, S. 328–329: „Man darf aus dem Flüssigkeitsaustritt nach Verletzen des Xylems aber nicht schließen, daß Wasser in den Leitbahnen von Bäumen (z. B. Birke, Ahorn) werde während der Blutungsperiode, in der sie unbelaubt sind, durch den Wurzeldruck in lebhafter Strömung gehalten. Thermoelektrisch ist im unbelaubten Stamm gar keine Wasserströmung festzustellen. Der Xyleminhalt steht zwar unter Überdruck, ist aber kaum in Bewegung; er hat ja auch zu dieser Zeit kaum Wasserverluste zu ersetzen.“ Der Forstwissenschaftler Theodor Hartig (1805–1880) scheint einer der ersten gewesen zu sein, die erkannten, daß sich der Blutungssaft kaum bewegt und von einem echten „Aufsteigen“ desselben keine Rede sein kann (s. Hartig, 1858, S. 334–335). Hartig kam zu diesem Ergebnis, nachdem er die Veränderungen des Feuchtigkeitsgehalts unterschiedlicher Hölzer über das Jahr hinweg untersucht und zu seiner Überraschung festgestellt hatte, „dass die nie blutenden Nadelhölzer den grössten Feuchtigkeitsgehalt besitzen und dass selbst die ebenfalls nicht blutenden weichen Laubhölzer den harten Laubhölzern [nur diese bluten] hierin noch voranstehen.“ Ferner war der Feuchtigkeitsgehalt der harten Laubhölzer in den Monaten März und April (also in der Blutungszeit) nicht wesentlich höher als in den Monaten September bis November und sogar deutlich geringer als im Januar und Februar. Hieraus schloß Hartig, „dass von einer ‘Saftfülle’ der Bäume im März und April zur Zeit des Blutens, von einem zu dieser Zeit bestehenden ‘Säfteandrang nach oben’, von einem vor der Wiederbelaubung stattfindenden Aufsteigen des Holzsaftes nicht mehr die Rede sein kann.“ „Die Erscheinung des Blutens ruht“ nach Ansicht Hartigs „auf dem wiedererweckten *Streben* der Zellen zum gegenseitigen Säfteaustausch, das jedoch [...] so lange ausser Wirkung auf die Wanderung des Saftes durch die Pfla[n]zen bleibt, als die fehlende Belaubung und Verdunstung grösserer Feuchtigkeitsmengen durch die Blätter dem Saftsteigen ein Hinderniss ist. Erst mit erneuter Belaubung und dadurch gesteigerter Verdunstung tritt in der unverletzten Pflanze der Wandersaft seine Fortbewegung an; das Bluten der unbelaubten Pflanze ist lediglich *eine Folge der gewaltsamen Verletzung* und der örtlichen Beseitigung des Hindernisses gegenseitigen Säfteaustausches der Zellen.“ (Siehe zu den Zitaten Hartig, 1858, S. 335, Hervorhebungen im Original.)

Walkers wohl wichtigstes Ergebnis bestand darin, daß es keinen absteigenden Blutungssaft gebe, wie dies etwa Duhamel du Monceau³⁹ annahm. Walker nahm an einem Ast, in den noch kein Blutungssaft eingetreten war,⁴⁰ im Abstand von jeweils einem Fuß mehrere Einschnitte vor, die bis ins Mark reichten. Als der Blutungssaft den Ast erreichte und in ihm aufstieg, stellte sich heraus, daß immer nur auf der unteren Seite des Einschnitts Saft austrat, während die obere Seite trocken blieb.⁴¹ Offenbar gab es demnach keinen absteigenden Blutungssaft. Schnitt Walker dagegen eine Kerbe in den Teil des Stammes, der bereits voller Saft war, so trat sowohl auf der Unter- als auch der Oberseite des Einschnitts Blutungssaft aus.⁴² Aus einer solchen Beobachtung schloß Duhamel du Monceau⁴³ einst auf einen absteigenden Blutungssaft, doch nun war gezeigt, daß dieser Schluß voreilig war. Das Auftreten von Blutungssaft an der Oberseite der Schnittstelle⁴⁴ lag eben nicht an einem absteigenden Saftstrom, sondern einfach daran, daß dieser Teil des Holzes bereits reichlich Saft enthielt, der dann nach einem Einschnitt nach allen Seiten hin herauslief. Außerdem konnte es sich allein schon deshalb nicht um einen vom Gipfel des Baumes zurückkehrenden Saft handeln, da der Blutungssaft, wie sich an den Stammeinschnitten ablesen ließ, noch gar nicht die Stammspitze erreicht hatte.⁴⁵

Doch Walker zeigte nicht nur, daß es keinen von den Ästen zu den Wurzeln absteigenden Blutungssaft geben könne, sondern er widerlegte auch die weit verbreitete, von Hales vertretene Ansicht, wonach der Saft in Abhängigkeit von den Temperaturschwankungen von Tag und Nacht in den Gefäßen oszilliere. Zunächst schien es in der Tat so, als ziehe sich der Blutungssaft, wenn es kälter wird, eine Strecke weit zurück, da Einschnitte, die bereits geblutet hatten, am nächsten Tag, wenn es inzwischen kälter geworden war, trocken blieben.⁴⁶ Dann beobachtete Walker jedoch, daß alle diese Einschnitte auf einmal und sofort wieder zu bluten anfangen, sobald die Sonne sie ein wenig erwärmte. Daraus schloß er, der Saft weiche bei Kälte nicht zurück, sondern seine Bewegung stagniere lediglich.⁴⁷ Walker konnte dies durch das Verhalten abgeschnittener Äste einer Platane bestätigen, die, senkrecht gehalten, in der Kälte nicht bluteten (der Blutungssaft

³⁹Duhamel du Monceau, 1758, Bd. I, S. 67–68; Bd. II, S. 259.

⁴⁰An Hand der Stammeinschnitte konnte Walker feststellen, wie weit der Blutungssaft bereits aufgestiegen war. Entsprechend wählte er einen Ast, der sich über dieser Grenze befand.

⁴¹Walker, 1788, S. 19–21.

⁴²Walker, 1788, S. 21–22.

⁴³Duhamel du Monceau, 1758, Bd. I, S. 65–66.

⁴⁴Auch der mit Einschnitten versehene Ast zeigte ca. eine Woche später dieses Phänomen; s. Walker, 1788, S. 26.

⁴⁵Vgl. Walker, 1788, S. 26–27.

⁴⁶Siehe Walker, 1788, S. 9, 11, 18.

⁴⁷Walker, 1788, S. 22.

somit bei niedrigen Temperaturen nicht abstieg), wohingegen bei Erwärmung das „Bluten“ sofort wieder einsetzte.⁴⁸

Walker war sich bewußt, daß er mit seinem Nachweis eines Fehlens eines absteigenden Blutungssaftes nur einen Kreislauf des Blutungssaftes, nicht jedoch einen Saftkreislauf schlechthin widerlegt hatte.⁴⁹ Zur endgültigen Klärung der Saftkreislauffrage müsse man die Saftbewegung vom ersten Ausschlagen der Bäume bis zum Laubfall verfolgen. Walkers wenige, nicht näher beschriebene Versuche hierzu zeigten ihm lediglich, „that, while a tree is in leaf, its sap observes a very different course, and moves by laws very different from those, by which it is regulated in the bleeding season.“⁵⁰

⁴⁸Walker, 1788, S. 23. Walker resümiert (ibid., Hervorhebungen im Original): „From these experiments, we are, therefore, still led to conclude, that the sap does not descend by cold: That when a tree ceases to bleed by an increase of cold, this effect is not produced by a subsiding or descent of the sap; but that, by the cold, it seems only to be arrested and held in a state of stagnation. The *recidivation* or *o[s]cillatory motion* of the sap, by the cold of the night, though long held by philosophers, appears, therefore, to be an erroneous opinion, which has little or no foundation in nature.“

⁴⁹Walker, 1788, S. 39.

⁵⁰Walker, 1788, S. 40.

8. Die Pflanzenphysiologie im Zeitalter der „Chemischen Revolution“

In den letzten dreißig Jahren des 18. Jahrhunderts wurden in der Pflanzenphysiologie durch Einbeziehung der neueren Entwicklungen in der Chemie wesentliche Fortschritte erzielt, die diese Wissenschaft auf eine völlig neue Grundlage stellten. Ausgehend von den bahnbrechenden Entdeckungen Joseph Priestleys¹ und früheren Beobachtungen Bonnets erarbeiteten Jan Ingenhousz (1730–1799) und Jean Senebier (1742–1809) auf experimentellem Wege in einem mühsamen und durch heftige Kontroversen² gekennzeichneten Prozeß chemische Theorien darüber, wie Pflanzen „verunreinigte“, von den Tieren ausgeatmete Luft in „reine“, für die Tiere lebenswichtige Atemluft zurückverwandeln sowie über die Rolle, die das Licht bei diesem Vorgang spielt.³ Diese frühen Theorien des Gasaustauschs fußten noch auf der Phlogistontheorie, die sich, insbesondere was Senebier be-

¹Vgl. Kottler, 1973, S. 121–129.

²Einer der strittigen Punkte zwischen Ingenhousz und Senebier war die Frage, ob die Pflanzen im Dunkeln „verpestete“ („méphitique“) Luft abgeben, d. h. ob die Pflanzen im Dunkeln wie die Tiere atmen und dadurch reine Luft verbrauchen. Ingenhousz wies auf experimentellem Wege nach, daß es sich bei der Abgabe von „air méphitique“ durch die Pflanzen während der Nacht und im Schatten um einen völlig normalen Stoffwechselfvorgang handele (Ingenhousz, 1784, S. 446–455; Ders., 1780, S. 54–58, 215–229), während für Senebier (1791, S. 182–183) eine solche Abgabe schlechter Luft ein Zeichen eines Zersetzungs Vorgangs war, während gesunde Pflanzen nie ein derartiges Verhalten zeigen sollten. Senebier ließ sich in dieser Deutung offenbar nicht nur von rein wissenschaftlichen, sondern auch von vorgefaßten Wertvorstellungen physikotheologischer Art leiten. So machte er Ingenhousz indirekt den Vorwurf, die Natur zu verleumden, wenn er behauptete, die Pflanzen gäben des Nachts eine schädliche Luft ab (Senebier, 1782, Bd. 1, S. 54–55): „C'est ici qu'on doit surtout distinguer, scrupuleusement, l'air engendré par la fermentation des feuilles qui se gâtent, de l'air qu'elles laissent échapper, quand le soleil les sollicite à le répandre: je n'en doute pas, c'est ce défaut d'attention qui a pu faire calomnier la NATURE & les plantes, en leur attribuant la dangereuse faculté de répandre, pendant la nuit, un air propre à diminuer la pureté de l'air atmosphérique, par ses qualités nuisibles. La NATURE se vengera elle-même par les faits qu'elle m'a fait voir, & elle nous prouvera toujours, que le nombre de ses rapports bienfaisans avec nous s'augmentera d'autant plus, que nous approfondirons davantage ses sages & sublimes procédés.“ Ingenhousz' besonderes Interesse am Nachweis, daß die Pflanzen des Nachts schädliche Ausdünstungen von sich geben, war zu einem großen Teil medizinischer Natur (s. Ingenhousz, 1780, S. xi–xii; xli, xlvi, xlvii, xlix–l, S. 56–57, 71–74).

³Vgl. Kottler, 1973, Kap. 4 u. 5.

trifft, für die Herausbildung einer Vorstellung des Gas- und Stoffaustauschs sowie -kreislaufs als förderlich und anregend erwies.⁴

Nach seiner Rezeption der Lavoisierschen antiphlogistischen Chemie Ende der 80er Jahre des 18. Jahrhunderts formulierte Senebier seine pflanzenphysiologischen Vorstellungen neu. Dieser Anpassungsprozeß an die „nouvelle Chymie (chimie)“ bzw. „chimie moderne“ fiel Senebier im Gegensatz etwa zu denjenigen Chemikern, die sich mit anorganischen Prozessen wie der Kalzinierung (Oxidation) von Metallen beschäftigten, relativ leicht, da die spezifischen Vorgänge des Gasaustauschs in den Pflanzen eigentlich nur eine Änderung in der Terminologie erforderten.⁵ Unter den Prämissen der Phlogistontheorie ging Senebier davon aus, daß Phlogiston enthaltende, „fixierte“ Luft (d. h. CO₂) von den Pflanzen aufgenommen, das Phlogiston unter Lichteinwirkung abgetrennt und in die Pflanze inkorporiert werde, wohingegen die verbleibende, „dephlogistierte“, reine Luft (d. h. O₂) an die Umgebung abgegeben werde. In der Terminologie der Lavoisierschen Chemie nimmt der „acide carbonique“ (d. h. CO₂)⁶ die Rolle der fixierten Luft ein, gibt seinen Kohlenstoff an die Pflanze ab und entläßt den Sauerstoff. Im Prinzip übernimmt der Kohlenstoff dabei die Rolle des Phlogistons, was relativ leicht vorstellbar war, da man schon immer Kohlenstoff bzw. Holzkohle als reich an Phlogiston ansah.⁷ Auch was die Rolle des Lichts betraf, paßte Senebier seine früheren Vorstellungen der „neuen Chemie“ an, indem er jetzt nicht mehr davon ausging, das Licht liefere der Pflanze Phlogiston, sondern, wie Lavoisier,⁸ annahm, das Licht verbinde sich mit dem Sauerstoff der fixierten Luft⁹ bzw. des „acide carbonique“ zu Sauerstoffgas.¹⁰

Von einer einheitlichen Theorie des Gasaustausches in den Pflanzen war man trotz aller Fortschritte aufgrund der Komplexität der Vorgänge noch weit entfernt. So sollte noch lange Uneinigkeit herrschen über den Weg der Aufnahme des „acide carbonique“ (in gasförmigem Zustand oder gelöst in Wasser[dampf])

⁴Vgl. Kottler, 1973, S. 40–104.

⁵Zu Senebiers Aufnahme der Lavoisierschen Chemie s. Kottler, 1973, S. 225–279.

⁶„Kohlendioxid [setzt sich] mit Wasser in geringem Betrage (~0,2%) zu Kohlensäure H₂CO₃ [um]“. „~99,8% des gelösten Kohlendioxids [liegen] nicht als H₂CO₃, sondern als hydratisiertes CO₂“ vor (Holleman-Wiberg, 1985, S. 718). „Acide carbonique“ bedeutet nicht Kohlensäure in unserem heutigen Sinn, sondern entspricht unserem CO₂. Der chemische Unterschied zwischen hydratisiertem Kohlendioxid und Kohlensäure konnte Ende des 18. Jahrhunderts naturgemäß noch nicht erfaßt werden. Als Säure galt in der Chemie Lavoisiers, was mit Sauerstoff, dem Säurebildner („oxygène“), verbunden war, also auch Kohlendioxid.

⁷Vgl. Kottler, 1973, S. 256–257.

⁸Vgl. Kottler, 1973, S. 260.

⁹Senebier verwendete auch nach Übernahme der neuen Chemie zum Teil noch den Ausdruck „air fixe“, versteht darunter aber den „acide carbonique“ als Verbindung aus Sauerstoff und Kohlenstoff („carbone“); vgl. Senebier, 1791, S. 183: „[...] l'air fixe est composé d'oxygène & du principe inflammable ou de carbone“. In seiner „Physiologie végétale“ (Senebier, 1800) ist „air fixe“ durch „acide carbonique“ ersetzt.

¹⁰Senebier, 1791, S. 183; Senebier, 1800, Bd. 5, S. 113.

über die Blätter und Wurzeln)¹¹ sowie über die Frage, ob der Sauerstoff aus der Kohlensäure oder dem Wasser oder beidem stammt¹².

Die zentrale Rolle, die die Chemie für die Herausbildung der neuen Pflanzenphysiologie spielte, führte zu einem Zurückdrängen physikalischer, d. h. mechanistischer und auf Bewegungsgesetzen fußender Ansätze und Erklärungsmuster. Bonnet, Senebiers Mentor und Freund, hielt diese Entwicklung für bedenklich.¹³ Senebier jedoch, der ursprünglich über Fragen der Methodologie seinen Einstieg in die Forschung vollzog, zeigte sich von Bonnets Bedenken nicht besonders beeindruckt. Schließlich hatte sich die Anwendung der Chemie auf physiologische Fragestellungen in seinen eigenen Experimenten und denen anderer Naturforscher als sehr erfolgreich und vielversprechend erwiesen. Entsprechend verfaßte er, nicht zuletzt als Reaktion auf die Einwände Bonnets, im Vorwort zu seinen „Recherches sur l'influence de la lumière solaire . . .“ von 1783 eine ausführliche Rechtfertigung des chemischen Ansatzes und ein leidenschaftliches Plädoyer für eine stärkere Anwendung der Chemie in der Naturforschung schlechthin.¹⁴

Die Chemie war somit nach der Physik zur neuen Leitwissenschaft der Pflanzenphysiologie geworden und machte die „physiologie végétale“ selbst erst zu einer eigenständigen Wissenschaft. Der Begriff „Physiologie“ war bis zu Senebiers Etablierung einer „physiologie végétale“ im Grunde genommen beschränkt auf die Lebensfunktionen des Menschen und der Tiere und wurde synonym für „économie animale“ verwendet.¹⁵ 1791 erschien Senebiers umfangreiche, fast 300 Seiten umfassende Enzyklopädie der Pflanzenphysiologie¹⁶ als Teilband der „Encyclopédie méthodique“. Darin grenzt er die „physiologie végétale“ deutlich von der „physique végétale“ ab. Während erstere die Vorgänge in den Lebewesen („corps organisés“) selbst untersucht, betrachte letztere die natürlichen Körper, aus denen die Lebewesen aufgebaut seien, unter isolierten Bedingungen:

„J'ai préféré ce mot [physiologie végétale], pour indiquer la science qui nous découvre l'organisation des plantes, & l'histoire de leur vie, à celui de Physique végétale, que M. Duhamel avoit adopté, parce que le premier me paroît avoir une acception plus particulière que le second.

¹¹Senebier nahm an, daß der „air fixe“ bzw. der „acide carbonique“ in Wasser gelöst aufgenommen werde (s. Senebier, 1782, Bd. 2, S. 255–258).

¹²Berthollet (1786) ging davon aus, daß der von den Pflanzen gebildete Sauerstoff aus dem Wasser stamme. Derselben Ansicht war A. v. Humboldt (s. Humboldt, 1794, S. 73–74, 122), wohingegen Lavoisier (s. Kottler, 1973, S. 260) und Mirbel (1801/1802, Bd. 1, S. 323) annahmen, daß der Sauerstoff sowohl aus der Kohlensäure als auch aus dem Wasser stammt. Senebier wiederum betrachtete allein den „acide carbonique“ als Quelle des Sauerstoffs (s. Senebier, 1791, S. 183; Senebier, 1800, Bd. 4, S. 47).

¹³Siehe Bonnets Brief an Senebier vom 18. 9. 1782 (Kottler, 1973, S. 226).

¹⁴Senebier, 1783. Siehe hierzu Kottler, 1973, S. 225–233.

¹⁵Vgl. *Encyclopédie*, Bd. 12, S. 537.

¹⁶Senebier, 1791.

La Physiologie végétale indique donc la science qui nous fait connoître la nature des végétaux, leur économie dans l'état de vie & de santé. Elle étudie leurs parties & leurs usages. Au lieu que la Physique, bornée à la recherche des corps naturels, nous instruit des phénomènes que ces corps offrent à nos sens, lorsqu'ils sont séparés de leurs effets naturels, par les combinaisons, auxquelles on les soumet, pour leur faire exprimer plus nettement leurs propriétés.

La Physiologie s'occupe des corps organisés: la Physique de ceux qui ne le sont pas. Mais la première ne sauroit exister sans la seconde; parce que, pour la première analyse des êtres qui ont leurs parties formées par des corps naturels, il faut connoître les rapports de ces corps & leurs effets afin de se faire une juste idée des organes, dans la composition desquels ils entrent ou avec qui ils doivent se combiner.¹⁷

Die Chemie ermöglichte somit eine dynamische Erklärung und Erfassung von Vorgängen im Gesamthaushalt der lebendigen Pflanze, ohne daß man gezwungen gewesen wäre, die zugrundeliegenden Einzelreaktionen auf der Teilchenebene zu verstehen.

Natürlich war Senebier umsichtig genug, zu erkennen, daß auch die Physik nach wie vor eine bedeutende Rolle in der Erklärung vieler pflanzenphysiologischer Phänomene spielte, etwa in der Deutung der Erscheinungen der Saftbewegung. Die prinzipielle Bedeutung der Physik erhellte für Senebier bereits daraus, daß eine Analyse der Funktion von Organen eine gewisse Kenntnis der Eigenschaften der Bestandteile, aus denen diese Organe aufgebaut seien, voraussetze.¹⁸ Letztendlich betrachtete Senebier die Chemie als einen Zweig der Experimentalphysik.¹⁹ Im übrigen beschränkte sich Senebier nicht auf eine theoretische Erörterung des Stellenwerts der Physik, sondern entwickelte z. B. eine eigenständige physikalische Theorie des Saftaufstiegs, die auf den hygroskopischen Eigenschaften von Fasergeflechten beruhte.²⁰

¹⁷Senebier, 1791, S. 221.

¹⁸Siehe den letzten Absatz des eben angeführten Zitats.

¹⁹Senebier, 1783, S. VI–VII.

²⁰So steige das Wasser ähnlich wie in gedrehten Seilen und Stoffen zwischen den „fibres ligneuses“, die netzartig miteinander verflochten seien, auf. Durch die Flüssigkeitsverluste und die damit verbundene partielle Austrocknung der Pflanzen auf ihrer Oberfläche rücke immer wieder Wasser nach (Senebier, 1800, Bd. 4, S. 137–143). 1791 erwähnt Senebier diese Theorie noch nicht (vgl. Senebier, 1791, S. 265–266), doch 1797 lag sie bereits ausgearbeitet vor. So teilt er Spallanzani in seinem Brief vom 14. 6. 1797 mit, er sei „convaincu que tous les mouvements qu'on a observé dans ces végétaux et qu'on a cru spontanés pouvoient s'expliquer mécaniquement“, und schildert kurz die wesentlichen Elemente seiner Theorie (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 387–389, hier S. 388). Neugierig geworden erbat sich Spallanzani nähere Erläuterungen (Brief Spallanzanis an Senebier vom 28. 7. 1797 [*Carteggi*, Bd. 8, S. 391–394, hier S. 392]), die ihm Senebier in seinem Brief vom 26. 8. 1797 (Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 396–398, hier S. 396–397) zukommen ließ. Für Spallanzani ist Senebiers Theorie des Saftaufstiegs

8.1 Die neue Pflanzenphysiologie und die Saftkreislauflehre

Angesichts der fundamentalen Neuentwicklungen in der Pflanzenphysiologie im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts stellt sich die Frage nach dem Stellenwert der Saftkreislauftheorie in dieser Epoche.

Senebier verhielt sich ablehnend gegenüber der Saftkreislauflehre, wobei er diese Vorstellung unter einer Reihe von Theorien zur kausalen Erklärung der Saftbewegung behandelte, ohne auf die physiologischen Implikationen näher einzugehen. Eine solche Zuordnung war eigentlich unpassend, da die Saftkreislauflehre deskriptiv ausgerichtet war und die Saftbewegung lediglich beschrieb. Der Saftkreislauf war ja nicht als *Ursache* der Saftbewegung gedacht, sondern als ein *Effekt*, wobei sich die Anhänger der Saftkreislauflehre über die eigentlichen Wirkursachen meist keine großen Gedanken machten. Senebier hatte offenbar kein besonderes Interesse an der Saftkreislauflehre, deren Argumente er bewußt übergeht; vielmehr beschränkt er sich auf die Nennung einiger Gegenargumente.²¹

Wie bereits an anderer Stelle ausgeführt,²² stützte sich Senebier in seiner Ablehnung der Saftkreislauflehre in der Hauptsache auf Mustels Experimente. Auch betreffend einige der übrigen Argumente gegen die Saftkreislauflehre war Senebier offenbar von Mustel bzw. den von Mustel zitierten Ausführungen La Quintinies²³ beeinflusst. Dies betrifft etwa den Einwand, daß das Überleben bzw. Gedeihen ganzer Pflanzen oder Teile davon ohne Wurzeln (z. B. Stecklinge) bzw. ohne daß die Wurzeln Kontakt mit der Erde haben (z. B. an der Decke aufgehängte Kakteen und Sedum-Arten; Krokus-Zwiebeln, die auch ohne Wasserkontakt austreiben) mit der Saftkreislauflehre unvereinbar sei, da ohne die Wurzel als zentrales Organ bzw. ohne die Möglichkeit einer Safterneuerung über die Wurzel kein Saftkreislauf unterhalten werden könne.²⁴

An vielen der von Senebier vorgebrachten Argumente gegen die Saftkreislauflehre zeigt sich erneut, wie beliebig sich letztendlich ein und dieselbe Beobachtung interpretieren ließ bzw. interpretiert wurde, je nachdem, ob man Anhänger oder Gegner der Saftkreislauflehre war. Trennte man Ableger nach ihrer Bewurzelung von ihrer Mutterpflanze, und zwar nicht auf Höhe der Wurzel, sondern derart, daß der ursprüngliche Trieb über eine gewisse Länge erhalten blieb, so war dessen Überleben und Gedeihen ein Zeichen für die Umkehrbarkeit der Saft-

neu, er hält sie für hervorragend und drängt Senebier, sie zu veröffentlichen (s. Spallanzanis Brief an Senebier vom 12. 9. 1797 [*Carteggi*, Bd. 8, S. 398–399, hier S. 398]). Senebier ging es mit seiner physikalischen Theorie des Saftaufstiegs in erster Linie darum, eine Erklärung der Saftbewegung ohne Annahme einer Irritabilität der Fasern zu liefern (s. Brief Senebiers an Spallanzani vom 14. 6. 1797 [Spallanzani, *Carteggi*, Bd. 8, S. 387–389, hier S. 388]; vgl. Senebier, 1800, Bd. 4, S. 137).

²¹Senebier, 1791, S. 266–267; Senebier, 1800, Bd. 4, S. 122–127.

²²Siehe Kap. 7.1.

²³Mustel, 1781, S. 148–157. Zu La Quintinies Einwänden gegen die Saftkreislauflehre s. o., Kap. 7.1, Fußn. 9.

²⁴Vgl. Senebier, 1791, S. 266; Senebier, 1800, Bd. 4, S. 123; vgl. Mustel, 1781, S. 146–148.

transportrichtung. Dieser Nachweis der Umkehrbarkeit der Safttransportrichtung genügte den Befürwortern der Saftkreislauflehre als Beleg für die Richtigkeit ihrer Vorstellung, während Gegner, wie Senebier, gerade aus dieser Beobachtung einen Einwand gegen einen Saftkreislauf ableiteten, da eine Umkehrung des Kreislaufs auch eine andere Gefäßorganisation erfordere als die, die vor der Verwendung des Triebes als Ableger bestanden habe. Besondere Schwierigkeiten ergäben sich in den Fällen, in denen ein Zweigsteckling dazu gebracht werde, an beiden Enden Wurzeln zu treiben, was zu einer doppelten Zirkulation führen würde.²⁵

Des weiteren lasse sich mit der Saftkreislauflehre das schadlose Einheilen eines transplantierten Rindenstücks nur schwer erklären. So sei es kaum vorstellbar, wie die Gefäße derart gut verwachsen könnten, daß der Saftkreislauf keine nachhaltige Störung erleide, zumal wenn das Rindenstück einer anderen Baumart entnommen worden sei.²⁶

Gelegentlich spricht Senebier zwar von einer „circulation“ des Safts, doch versteht er darunter eine allgemeine Bewegung des Saftes oder der Säfte in den Pflanzen, und keinen echten Kreislauf, wie aus dem Kontext hervorgeht.²⁷

Unter den Protagonisten der neuen Pflanzenphysiologie spielte die Saftkreislauflehre keine Rolle. Während Senebier diese Vorstellung, ohne überhaupt auf die üblicherweise zu ihren Gunsten vorgebrachten Argumente einzugehen, ablehnte, wurde sie von Jan Ingenhousz überhaupt nicht behandelt. Die Gründe hierfür sind darin zu suchen, daß die Saftkreislauflehre weder für die Untersuchung noch Erklärung der Vorgänge des Gasaustauschs relevant war. Die Saftkreislauflehre konnte nur in einer Zeit, in der physikalische Fragestellungen und Erklärungsmuster im Vordergrund standen, eine Wirkung entfalten. Darüber hinaus befaßte sich die Saftkreislauflehre mit einem die gesamte Pflanze betreffenden Phänomen, wohingegen mit der zunehmenden Konzentration auf chemische Vorgänge die lokalen Geschehnisse in den Vordergrund rückten, etwa die Frage, wie sich die verschiedenen Pflanzenteile in bezug auf Aufnahme und Abgabe unterschiedlicher Gase verhalten. Gerade Ingenhousz erzielte auf diesem Gebiet interessante Ergebnisse, indem er etwa nachwies, daß einige Pflanzenteile (Blüten, Früchte, fast alle Wurzeln) auch tagsüber und im Sonnenlicht die Luft „verderben“.²⁸

²⁵Vgl. Senebier, 1791, S. 266; 1800, Bd. 4, S. 123–124. Senebiers Argumente sind natürlich nicht absolut stichhaltig, denn wenn sich die Safttransportrichtung prinzipiell umkehren läßt, dann könnte man sich auch vorstellen, daß sich ein etwaiger Saftkreislauf den neuen Verhältnissen anzupassen vermag.

²⁶Vgl. Senebier, 1791, S. 267; 1800, Bd. 4, S. 126–127.

²⁷Vgl. Senebier, 1776, S. 30–31; 1778, S. 327; 1779, S. 382–383; 1782, Bd. 1, S. 106; Bd. 2, S. 216–217, 235; 1791, S. 264, 268; 1800, Bd. 4, S. 133, 164.

²⁸Ingenhousz, 1780, S. 59–66.

8.2 Die Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße

Noch ein weiterer Faktor spielte beim Zurückdrängen der Saftkreislauflehre gegen Ende des 18. Jahrhunderts eine Rolle: die Herauentwicklung der Lehre von der Irritabilität der Pflanzen bzw. einzelner Pflanzenteile. Diese Anschauung entstand aus einer Übertragung der von Albrecht von Haller (1708–1777) für die Verhältnisse bei Tieren und Menschen begründeten Irritabilitätslehre auf Pflanzen. Zu den Vertretern²⁹ der Irritabilität der Pflanzen bzw. pflanzlicher Organe zählen u. a. G. B. dal Covolo³⁰, J. G. Kölreuter³¹ (1733–1806) und J. F. Gmelin³² (1748–1804).³³ Während diese und andere Autoren sich auf eine Konstatierung der Irritabilität der Laub- und Staubblätter bestimmter Pflanzen beschränkten, wurde von van Marum, Coulon³⁴ und Corti³⁵ auch den *Saftgefäßen* eine Irritabilität zugesprochen.

Durch die Theorie der Irritabilität der Pflanzengefäße ließ sich eine Reihe von physiologischen Vorgängen erklären und einige Probleme lösen, die bislang von alternativen Vorstellungen nur unbefriedigend gedeutet worden waren. Letzteres betraf insbesondere den Mechanismus des Saftaufstiegs. Selbst die wohlbegründete Theorie Hales', wonach der Saftaufstieg von der Transpiration der Blätter abhängig sei, konnte den (vermeintlichen)³⁶ Aufstieg des Blutungssaftes naturgemäß nicht erklären, da zur Zeit des „Blutens“ im Vorfrühling noch keinerlei Blätter vorhanden sind. Dieser Schwachpunkt der Halesschen Theorie wurde bereits von Duhamel du Monceau unterstrichen.³⁷ Eine Erklärung des Saftaufstiegs, sei es des Blutungssaftes oder des sonstigen „Saftes“, mit Hilfe der Kapillarität der Gefäße erfreute sich nie einer allgemeinen Akzeptanz, da man sich stets der physikalischen Tatsache bewußt war, daß allein aufgrund der Kapillarkräfte der Saft nicht in die Wipfel hoher Bäume gelangen könnte.³⁸

Van Marum, der die „perspiratio“ der Blätter als Ursache für den Saftaufstieg zur Zeit der Belaubung anerkannte,³⁹ scheint der erste gewesen zu sein, der den Aufstieg des Blutungssaftes auf eine abwechselnde Kontraktion und Dilatation

²⁹Bei Haller selbst finden sich z. T. widersprechende Äußerungen zum Vorkommen einer Irritabilität in Pflanzen (vgl. Gmelin, 1768, S. 4). An Stellen, an denen er auch den Pflanzen eine Irritabilität zuschreibt, können genannt werden: Haller, 1751, S. 252–253, §408; Haller, 1762, S. 440, 458.

³⁰Siehe Covolo, 1764.

³¹Siehe Kölreuter, 1766, §66.

³²Siehe Gmelin, 1768.

³³Zu weiteren Autoren, die den Pflanzen Irritabilität zusprachen, s. Gmelin, 1768, S. 5.

³⁴Julius Vitringa Coulon (1767–1843). Coulon war als Arzt in seiner Geburtsstadt Leeuwarden tätig.

³⁵Corti, 1774, S. 187–188; s. o., S. 118–119.

³⁶Siehe hierzu S. 142, Fußn. 38.

³⁷Siehe Kap. 4.3, Fußn. 129.

³⁸Vgl. van Marum, 1773a, S. 52.

³⁹Van Marum, 1773a, S. 43, 55.

der Gefäße zurückführte⁴⁰ und dafür eine Eigenschaft der Gefäße postulierte, die der Kontraktilität der Blutgefäße mehr oder weniger entsprach.⁴¹ Der Begriff der Irritabilität fiel zu diesem Zeitpunkt (1773) zwar noch nicht, doch beruhte van Marums Theorie letztlich auf diesem Konzept. In einer 19 Jahre später erschienenen Publikation betrachtete er schließlich die Irritabilität der Pflanzengefäße als *alleinige* Ursache des Saftaufstiegs und der Saftbewegung allgemein.⁴²

Als ein Meilenstein für den Ausbau der Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße erwies sich die Arbeit des holländischen Arztes Julius Vitringa Coulon (1767–1843), der diese postulierte Eigenschaft der Pflanzen auch experimentell nachzuweisen trachtete. Coulon behandelte angeschnittene Gefäße von *Euphorbia myrsinites* mit Alaun- und Eisenvitriollösung („vitriolum martis“). Im Vergleich zu unbehandelten Schnittwunden sei das Herausfließen des Milchsafts deutlich früher zum Stillstand gekommen, was Coulon der Irritabilität der Gefäße zuschrieb, die sich, durch die genannten Stimulantien gereizt, ähnlich wie Blutgefäße kontrahieren und auf diese Weise ein weiteres Herausfließen des Safts verhindern würden.⁴³

Van Marum wiederholte Coulons Versuche an anderen *Euphorbia*-Arten, jedoch ohne Erfolg. Daher unternahm er einen anders gestalteten Versuch, die Irritabilität der Pflanzengefäße experimentell nachzuweisen⁴⁴. Ausgehend von der Beobachtung, daß elektrischer Strom in ausreichender Stärke die Irritabilität von Muskelfasern zerstört, leitete er elektrischen Strom verschiedener Stärke und unterschiedlich lang (von 10 Sekunden bis zu 2 Minuten) durch Zweige und Stiele verschiedener Euphorbienarten sowie Zweige des Feigenbaums in der Überzeugung, auf diese Weise die Irritabilität der Saftgefäße zu zerstören. Nach Anschneiden der so behandelten Pflanzenteile sei kein Saft ausgetreten. Durch Drücken mit den Fingern habe sich jedoch ein wenig Saft herauspressen lassen. Der elektrische Strom habe demnach zu keiner Entleerung der Gefäße geführt,

⁴⁰Um auszuschließen, daß der Aufstieg des Blutungssaftes auf eine „perspiratio“ von seiten des Stammes zurückzuführen sei, rieb van Marum den Stamm überall mit einer Salbe aus Wachs und „terebinthina“ ein, um sämtliche „perspiratio“ zu verhindern. Der Aufstieg der „humores“ wurde dadurch jedoch nicht vermindert. (Van Marum, 1773a, S. 55–56.)

⁴¹Van Marum, 1773a, S. 56: „Diametro alternatim diminui, et augeri plantarum vasa, et hac ratione contentos humores urgeri ex una vasorum parte versus alteram, requiri videtur. Utrum vero haec vasorum constrictio oriatur a vi quadam contractili ipsis insita, quae a contractilitate vasorum animalium non diversa est; an vero ab alia quadam vasorum facultate derivanda, haud facile determinare licebit.“

⁴²Van Marum, 1792, S. 214–215. In seiner Rückschau stellt van Marum es so dar, als sei er schon immer dieser Ansicht gewesen. Von seinem früheren Zugeständnis an die Vorstellung Hales' ist jetzt nicht mehr die Rede: „L'ascension de la séve dans les plantes a été jusqu'à nos jours un phénomène absolument incompréhensible. Dans une dissertation académique, publiée en 1773 [van Marum, 1773a], j'ai démontré par des expériences décisives, qu'on ne pouvoit l'expliquer par aucune des causes qu'on avoit imaginées jusqu'à ce tems-là, [...]“ (van Marum, 1792, S. 214).

⁴³Coulon, 1789, S. 12–13.

⁴⁴Van Marum, 1792, S. 217–220.

sondern diese hätten nur die Fähigkeit verloren, sich zu verengen und auf diese Weise den Saft ausströmen zu lassen. Diese Beobachtungen wertete van Marum als Beweis für die Irritabilität der Saftgefäße, denn die Saftbewegung beruhe auf einer Kontraktion der Gefäße und diese wiederum sei eine Folge der Irritabilität. Werde demnach die Irritabilität durch elektrischen Strom zerstört, so müsse auch die Saftbewegung zu einem Stillstand kommen, und genau dies habe das Experiment gezeigt. Senebier, der einer Irritabilität der Pflanzen stets sehr kritisch gegenüberstand⁴⁵ und, wo immer es ging, mechanistische Erklärungen bevorzugte,⁴⁶ erhob gegen van Marums Experiment den naheliegenden Einwand, die Feinstruktur der Pflanzen sei durch die Behandlung mit elektrischem Strom zerstört worden.⁴⁷ Doch nach einer gegenteiligen Beteuerung van Marums, wonach sich nach Wiederholung des Experiments kein „déchirement dans les organes du végétal, qui fut apparent“ habe feststellen lassen, gab er sich offiziell zufriedengestellt und betrachtete van Marums „expériences [...] comme l’argument le plus favorable pour l’irritabilité des végétaux, & comme étant le seul contre lequel je n’ai rien à opposer“.⁴⁸

Die Lehre von der Irritabilität der Pflanzen breitete sich im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts immer stärker aus und diente bald nicht mehr nur zur Erklärung der Bewegungserscheinungen einzelner Pflanzenorgane oder der Saftbewegung, sondern auch der physiologischen Wirkung verschiedener chemischer Agentien, etwa der keimungsbeschleunigenden Wirkung von Sauerstoff⁴⁹ oder der Düngewirkung bestimmter Salze⁵⁰. Schließlich wurde die Irritabilität von einigen Autoren als eine Art universelles Erklärungsprinzip betrachtet, auf das sämtliche physiologische Prozesse der Pflanzen zurückgeführt wurden.⁵¹ Wie in der Tier-

⁴⁵Vgl. Senebier, 1800, Bd. 5, S. 115: „[...] je ne nie pas l’existence de l’irritabilité dans les végétaux comme on la conçoit dans les animaux; mais je crois qu’elle n’est pas encore suffisamment établie, & qu’elle offre un vaste champ de recherches aux naturalistes soit pour l’établir, soit pour la détruire.“

⁴⁶Siehe Senebier, 1800, Bd. 5, S. 115–121.

⁴⁷Senebier, 1800, Bd. 5, S. 111–112.

⁴⁸Senebier, 1800, Bd. 5, S. 112.

⁴⁹Siehe hierzu v. Humboldt, 1794, S. 61–69. Humboldt wurde, wie er selbst mitteilt (v. Humboldt, 1794, S. 61; Ders., 1797, Bd. 2, S. 36), zu seinen Versuchen zur Wirkung des Sauerstoffs auf die Keimung von Samen durch einen Artikel Girtanners angeregt, in dem dieser eine direkte Proportionalität zwischen Sauerstoffgehalt und Reizbarkeit eines Organismus postulierte (s. Girtanner, 1790).

⁵⁰Siehe Coulon, 1789, S. 27–29; v. Humboldt, 1794, S. 71–72, 77.

⁵¹John Gahagan etwa war der Ansicht (1793, S. 58–59), „che le funzioni de’vegetabili, cioè la germinazione, la nutrizione, l’impulso dei fluidi[,] la perspirazione, l’assorbimento, la respirazione, e generazione, dipendano intieramente e unicamente da questo principio [die Irritabilität], e vengono diretti da ogni modificazione o cangiamento al quale esso è soggetto.“ Es handelt sich bei dem 1793 in Brugnatellis „Annali di Chimica e storia naturale“ veröffentlichten Aufsatz um eine italienische Übersetzung einer ursprünglich von Andrew Duncan 1790 publizierten Kurzfassung eines von Gahagan vor der „Society of Natural History“ in Edinburgh verlesenen Mémoires (s. Gahagan, 1793, S. 38–40). Gahagan stand natürlich unter dem Eindruck des von John Brown (1735–1788) an der Universität Edinburgh aufgestellten medizinischen Systems.

physiologie⁵² wurde auch in der Pflanzenphysiologie die Irritabilität mehr und mehr vitalistisch interpretiert, indem sie als eine bzw. *die* Lebenskraft der Pflanzen gedeutet wurde,⁵³ so z. B. von Coulon⁵⁴ und Alexander von Humboldt⁵⁵.

Durch die Konzentration in Fragen der Saftbewegung auf den Faktor Irritabilität der Pflanzengefäße wurden alternative Erklärungsmodelle in den Hintergrund gedrängt. Diese Entwicklung betraf natürlich auch die Saftkreislauflehre, insbesondere, da sie, wie oben bereits erwähnt, letztlich keine eigene, spezifische *kausale* Erklärung des Mechanismus der Saftbewegung bot bzw. bieten konnte, sondern immer auf Erklärungen zurückgreifen mußte, die nicht notwendig an die Existenz eines Saftkreislaufs gebunden waren. Solche immer wieder diskutierten Ursachen des Saftaufstiegs, wie z. B. die Kapillarität der Gefäße, der durch die Transpiration der Blätter hervorgerufene Sog oder die Einwirkung einer „pulsierenden“ Bewegung der Tracheen auf die benachbarten Gefäße, waren eben unabhängig davon, wie man sich den weiteren Verlauf der Bewegung des Safts, wenn er einmal an der Sproßspitze angelangt war, dachte. In einer Zeit, in der viele in der Irritabilität der Pflanzengefäße eine Ursache für die Saftbewegung gefunden zu haben dachten, die sich noch dazu mit vitalistischen Vorstellungen gut verknüpfen ließ, mußte das Interesse an einer so generellen Theorie wie der des Saftkreislaufs, die keine immanente Bewegungsursache angeben konnte, zwangsläufig schwinden.

Nach Brown lag allen Lebenserscheinungen der Tiere und des Menschen das Prinzip der „Erregbarkeit“ („incitabilitas“) zugrunde. Krankheiten führte er entweder auf ein Übermaß oder einen Mangel an Erregung zurück. Browns Prinzip der „incitabilitas“ ist weiter gefaßt als das der „irritabilitas“. Es lag natürlich nahe, das „Brownsche System“ auf Pflanzen zu übertragen und hierfür auf das Prinzip der „irritabilitas“ zurückzugreifen. (Von einer „incitabilitas“ konnte man im Fall der Pflanzen nicht sprechen, da diese Eigenschaft ein Nervensystem voraussetzt.) Zu John Brown s. Henkelmann, 1981; Tränkle, 1986, S. 59–61.

⁵²Vgl. Steinke, 1998, S. 166–168.

⁵³Wie sehr eine solche Interpretation den Ansichten Hallers selbst entgegenstand, zeigt folgende Äußerung desselben (Haller, 1762, S. 464): „Vim vitalem [...] maluerunt nuperi Cl. viri vocare, quae vox non perinde placet, cum vis nostra [die Irritabilität] vitae aliquantum super-privat.“

⁵⁴Vgl. Coulon, 1789, S. 20–29. Die enge Verknüpfung zwischen *vis vitalis* der Pflanze und *irritabilitas* ihrer Gefäße zeigt sich für Coulon darin, daß diejenigen Faktoren (Kälte, Wärme, Licht, Nährsalze, Alter der Pflanze), die seiner Ansicht nach die Vitalität der Pflanzen erhöhen bzw. vermindern, zugleich die Absorptionsleistung der Pflanzengefäße steigern bzw. verringern sollen. Zudem habe Bonnet experimentell festgestellt, daß ausgetrocknete und damit tote Pflanzen nicht in der Lage seien, Flüssigkeit aufzusaugen (Coulon, 1789, S. 14; vgl. Bonnet, 1754, S. 266–267 [s. a. oben, S. 83, Fußn. 105]).

⁵⁵Vgl. v. Humboldt, 1794, S. 30 (Hervorhebung nicht im Original): „Diejenigen Theile der Pflanzen, welche vorzüglich *Lebenskraft* oder *Reizbarkeit* besitzen, sind folgende: die Saftgefäße, das Zellgewebe, die Luftgefäße (*vasa spiralia*), welche durch jeden vegetabilischen Körper mannichfaltig verbreitet sind. Die Bewegung oder die Contractilität einiger Staubfäden, Blätter und Blattstiele, scheint zu zeigen, dass die Pflanzen auch Muskelfibern haben.“ Vgl. *ibid.*, S. 36: „Dass die Gefäße der vegetabilischen Geschöpfe Lebenskraft besitzen, beweist die Bewegung der Flüssigkeiten oder das Aufsteigen des Saftes.“

Theoretisch hätte man natürlich die neue Vorstellung der Irritabilität der Pflanzengefäße in die Zirkulationslehre inkorporieren, wie dies denn auch Erasmus Darwin tat,⁵⁶ bzw. die Saftkreislauflehre der Irritabilitätslehre gewissermaßen „aufoktroyieren“ können. Ein solches Vorgehen wäre aber weder von Empirikern noch von Methodikern, sondern nur von den in „Systemen“ denkenden Forschern zu erwarten gewesen. Das Konzept der Irritabilität erfüllte jedoch bereits für sich allein das „Bedürfnis nach einem ‘System’“.

Die persönliche Entwicklung van Marums selbst könnte ein Beispiel für diesen Prozeß sein. In seinen beiden Dissertationen von 1773 zur Erlangung des medizinischen und des philosophischen Doktorgrades erweist sich van Marum noch als ein Vertreter eines echten Saftkreislaufs. Sicherlich wurde van Marum zu einer solchen Annahme durch seinen Lehrer Petrus Camper (1722–1789) angeregt. Camper, der einen starken Einfluß auf van Marum hatte,⁵⁷ stellte in seiner Antrittsrede anläßlich der Übernahme der Professur für Theoretische Medizin, Anatomie, Chirurgie und Botanik an der Universität Groningen 1764 so weitgehende Analogien zwischen den Tieren und Pflanzen auf, daß er letztere schließlich als Tiere ansah.⁵⁸ Natürlich fehlte auch nicht der Verweis auf einen Saftkreislauf,⁵⁹ wobei Camper hier in der Tradition Perraults⁶⁰ und Bradleys stand, auch wenn er letzteren in anderem Zusammenhang erwähnt.

Van Marum unterscheidet zwei Arten von „Lympe führenden Gefäßen“ („lymphaefera vasa“), in denen die von den Wurzeln aufgenommenen „humores“ transportiert würden, nämlich absteigende und aufsteigende,⁶¹ wobei die „vasa ascendentia“ Klappen besitzen sollen⁶². Sowohl das Auf- als auch das Absteigen der „humores“ finde nur im Holz statt,⁶³ wobei der Aufstieg hauptsächlich in den äußeren Schichten des Holzes erfolge⁶⁴. In den „vasa descendentia“ steigen nach van Marum nicht nur die aus der Luft aufgenommenen „humores“ herab, sondern auch ein Teil der „humores“, die ursprünglich über die Wurzel aufgenommen worden und inzwischen in der Pflanze aufgestiegen seien. Die hierzu nötigen Anastomosen zwischen den auf- und absteigenden „lymphaefera vasa“ befänden sich

⁵⁶Vgl. E. Darwin, 1800, S. 65–66.

⁵⁷Vgl. Forbes, 1969–1976, Bd. 3, S. 99–100.

⁵⁸Vgl. die folgenden Äußerungen: „Si, omnes ambages evitando, plantas animalia esse, dicam, [...]“ (Camper, 1764, S. 11); „Bradleji [Richard Bradley] igitur utar suffragio, qui, plantas animalibus omnino analogas esse, demonstravit [...]“ (ibid., S. 12). Campers erheblicher Einfluß auf van Marum im Hinblick auf die Analogien zwischen dem Tier- und Pflanzenreich manifestiert sich besonders in dessen medizinischer Doktorarbeit (van Marum, 1773b).

⁵⁹Camper, 1764, S. 10, 15–16, 47–48.

⁶⁰Zum Einfluß Perraults, den Camper namentlich erwähnt, s. Camper, 1764, S. 15–16.

⁶¹Van Marum, 1773a, S. 26–27.

⁶²Van Marum, 1773a, S. 27, 35.

⁶³Van Marum, 1773a, S. 28–34.

⁶⁴Van Marum, 1773a, S. 35.

in den Blättern und Blüten.⁶⁵ Auch an den Enden der „Wurzelfäserchen“⁶⁶ seien die auf- und absteigenden „lymphæfera vasa“ miteinander verbunden. Herabgeleitete „lympha“ steige, da sie zu roh sei, um in Wurzelsubstanz umgewandelt zu werden, wieder auf.⁶⁷ Van Marum nimmt demnach einen echten, geschlossenen Kreislauf der „Lympe“ an.⁶⁸

Ferner geht van Marum davon aus, daß die „vasa ascendentia“ und „descendentia“ über „transversa ligni vasa“ (gemeint sind wohl die Holzstrahlen) seitlich miteinander kommunizieren.⁶⁹ Die „transversa ligni vasa“ dienten außerdem dazu, der Rinde und der übrigen „substantia utriculosa“ (dem Zellgewebe) die absorbierten „humores“ zu- und die von der Rinde sekretierten „humores“ wieder zurückzuleiten.⁷⁰

Die eigentliche Nährsaftzubereitung finde, wie bereits Malpighi angenommen habe, hauptsächlich in den Blättern, aber auch in der Rinde statt.⁷¹ Die Gefäße der Rinde dienten dem Abwärtstransport der „succī præparati“.⁷² Außer diesen in der Rinde transportierten „succī proprii“ gebe es noch „succī proprii“ im Mark, die, so hält es van Marum für wahrscheinlich, der Fruktifikation dienten.⁷³

Die von van Marum geäußerten pflanzenphysiologischen Vorstellungen fußen nur auf wenigen eigenständigen Beobachtungen und Experimenten und stellen überwiegend eine Verarbeitung der aus der einschlägigen Literatur entnommenen Ansichten dar. Van Marums philosophische Doktorarbeit ist nicht das Werk eines Empirikers oder Methodikers, sondern eines Systematikers.⁷⁴ Auch wenn natürlich die vorgetragenen Ansichten formell auf Beobachtungen und Experimente gestützt sind, so ist doch offenkundig, daß van Marum unter Annahme einer weitgehenden Analogie zwischen dem Tier- und Pflanzenreich, die er von seinem Lehrer Camper übernahm und zum Gegenstand seiner medizinischen Doktorarbeit machte, von der Existenz eines Saftkreislaufs a priori ausging und die beobachteten Phänomene unter dieser Prämisse interpretierte.

Während van Marum in seinen beiden Erstlingswerken noch ein Anhänger der Saftkreislauflehre war, ist davon in seinem oben behandelten Aufsatz von 1792 über die Irritabilität der Pflanzengefäße nicht mehr die Rede, obwohl hierfür rein inhaltlich betrachtet durchaus die Möglichkeit bestanden hätte. Van Marum hält zwar auch dort an einer Analogie zwischen dem Tier- und Pflanzenreich in puncto Saft- bzw. Blutbewegung fest, doch siedelt er diese Analogie diesmal auf einer weniger generellen Ebene an, indem er feststellt, „que le mouvement de

⁶⁵Van Marum, 1773a, S. 37–38.

⁶⁶„in [*ldots*] radicū fibrillis“; gemeint sind wohl die Wurzelhaare.

⁶⁷Van Marum, 1773a, S. 39.

⁶⁸Siehe auch van Marum, 1773b, S. 9.

⁶⁹Van Marum, 1773a, S. 40.

⁷⁰Van Marum, 1773a, S. 40–41.

⁷¹Van Marum, 1773a, S. 50.

⁷²Van Marum, 1773a, S. 49–51.

⁷³Van Marum, 1773a, S. 51.

⁷⁴Siehe zu diesen Kategorien Roths Schuh, 1962.

la sève dans les vaisseaux des plantes, & la circulation du sang dans les petits vaisseaux du corps animal, sont des effets d'une cause analogue [der Irritabilität]; & cette analogie de l'action des vaisseaux des plantes avec celle des vaisseaux sanguins étoit d'autant plus probable, parce qu'il y a dans les animaux & les plantes une analogie frappante entre plusieurs fonctions de leurs parties organiques, comme je l'ai fait voir dans l'année 1773 [van Marum, 1773b] [...].⁷⁵ Einem „gemäßigten“ Systematiker wie van Marum, der ja ein bekannter Experimentator war, genügte die in Gestalt der Irritabilität der Pflanzen- und kleinen Blutgefäße vorliegende Analogie. Daß van Marum immer ein Systematiker blieb und in seinen Erklärungen überwiegend deduktiv arbeitete, zeigt seine Äußerung, daß das Prinzip der „unité des causes“ im Tier- und Pflanzenreich und die „analogie frappante entre plusieurs fonctions“ der Organe der Tiere und Pflanzen eine analoge Tätigkeit der pflanzlichen und der kleinen Blutgefäße bereits als sehr wahrscheinlich erscheinen ließen, *avant qu'on ait su consulter l'expérience à cet égard*.⁷⁶

Je stärker jemand in „Systemen“ dachte, desto ausgeprägter war auch noch zur Zeit der neuen Pflanzenphysiologie und pflanzlichen Irritabilitätslehre der Hang, einen Saftkreislauf anzunehmen. Unter denjenigen, die sich intensiv mit den Errungenschaften der neuen experimentellen Pflanzenphysiologie und der Irritabilitätslehre beschäftigten oder sie sogar aktiv mitgestalteten, war eine solche Einstellung nicht zu erwarten. Für die Empiriker unter ihnen, die eine generelle Abneigung gegen Systeme besaßen, schied eine Vorstellung wie die Saftkreislauflehre von vornherein aus. Den Methodikern mußte die Saftkreislauflehre ebenfalls unattraktiv erscheinen, da sie als primär „physikalische“, jedoch selbst auf diesem Gebiet unspezifische (s. o.) Theorie für die neue, chemisch orientierte Pflanzenphysiologie sowie die Irritabilitätslehre kein Erklärungs- und Problemlösungspotential besaß. Aber auch für die „gemäßigten“ Systematiker, die zwar primär deduktiv vorgingen, jedoch auch der Empirie und Theoriekritik gerecht wurden, schied die Saftkreislauflehre aus. Es ist daher nicht verwunderlich, daß sich im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts so gut wie keine Vertreter der Saftkreislauflehre finden lassen. An einem generellen Zurückdrängen des Denkens in Analogien kann dies nicht gelegen haben, denn ohne das Bedürfnis, Analogien zwischen den Tieren und Pflanzen aufzufinden, wäre es wohl erst gar nicht zu einer Übertragung der Irritabilitätslehre auf das Pflanzenreich gekommen.

Die Saftkreislauflehre konnte nur noch für diejenigen Autoren von Interesse bleiben, deren „esprit de système“⁷⁷ derart stark ausgeprägt war, daß sie die Trennung zwischen dem Tier- und dem Pflanzenreich vollständig beseitigen wollten. Eine solche Anschauung vertrat etwa Erasmus Darwin (1731–1802), der Großvater des berühmten Charles Darwin.

⁷⁵Van Marum, 1792, S. 220.

⁷⁶Van Marum, 1792, S. 220 (Hervorhebung nicht im Original).

⁷⁷Siehe zu diesem Begriff *Encyclopédie*, Bd. 1, *Discours préliminaire des editeurs*, S. XXXI; vgl. Steinke, 1998, S. 147, Fußn. 22.

8.3 Erasmus Darwin (1731–1802)

Bekanntlich entwickelte bereits Erasmus Darwin eine Theorie der Evolution der Lebewesen, indem er behauptete, daß nicht nur alle warmblütigen Tiere, sondern letztlich sämtliche Lebewesen, also auch die kaltblütigen Tiere und die Pflanzen, von ein und derselben Art von „living filament“ abstammten,⁷⁸ das die Fähigkeit besessen habe,⁷⁹ sich durch „its own inherent activity“ ständig zu „verbessern“ („improve“), also immer neue Möglichkeiten der Reizantwort, Sinneswahrnehmung, Willensäußerung und gedanklichen Assoziation zu entwickeln, und diese „Verbesserungen“ auf seine Nachkommenschaft zu übertragen. Auch in seiner „Phytologia“ bleibt er diesem Prinzip vom gemeinsamen Ursprung der Lebewesen treu und hält Pflanzen für „in reality an inferior order of animals“.⁸⁰ Zum besseren Verständnis des Begriffs „Pflanze“ bei E. Darwin gilt es ferner zu berücksichtigen, daß für ihn im Prinzip jede Knospe eine Einzelpflanze darstellt. Ein Baum sei daher „a family or swarm of individual plants, like the polypus, with its young growing out of its sides, or like the branching cells of the coral-insect.“⁸¹

In völliger Analogie zur Anatomie und Physiologie der Tiere („animal economy“) nimmt E. Darwin drei verschiedene Arten absorbierender Gefäße in den Pflanzen an, von denen die einen die Nährlösung („nutritious moisture“) aus der Erde aufnehmen, wie die Milchgefäße („lacteals“) der Tiere den Chylus aus dem Magen und dem Darm aufsaugten. Eine zweite Art absorbierender Gefäße, die den in der Haut der Tiere enthaltenen „lymphatic vessels“ entsprächen, nehme über die Cuticula der Blätter und Äste Luftfeuchtigkeit auf. Ferner gebe es noch Gefäße, die sekretierte Flüssigkeiten aus dem Pflanzeninneren aufnehmen, wie die inneren Lymphgefäße („cellular lymphatics“) der Tiere. Darüber hinaus besäßen die Pflanzen ein „pulmonary system“ in den Laub- und Blütenblättern, das den Lungen von Landtieren bzw. den Kiemen von Wassertieren entspreche und über das die von den „Milch-“ und „Lymphgefäßen“ der Pflanzen absorbierte Flüssigkeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt werde. Über ein „arterielles Gefäßsystem“ („arterial system“) werde die im Lungensystem aufbereitete Flüssigkeit zu den verschiedenen pflanzlichen Drüsen transportiert, um dem Wachstum, der Ernährung und der Produktion von Sekreten zu dienen. Schließlich gebe es noch ein „venöses System“ („system of veins“), über das das restliche „Blut“ zurücktransportiert werde.⁸²

⁷⁸E. Darwin, 1794–1796, Bd. 1, 1794, S. 505–509.

⁷⁹E. Darwin, 1794–1796, Bd. 1, 1794, S. 505.

⁸⁰E. Darwin, 1800, S. 1; s. a. Ders., 1794–1796, Bd. 1, 1794, S. 102.

⁸¹E. Darwin, 1800, S. 2; s. a. Ders., 1794–1796, Bd. 1, 1794, S. 102–103.

⁸²E. Darwin, 1800, S. 5–6. Es wurden hier nur diejenigen Vorstellungen E. Darwins wiedergegeben, die die für die Saftverarbeitung relevanten Strukturen betreffen. E. Darwin geht so weit (1800, S. 7), nicht nur „Längsmuskeln“ („longitudinal muscles“) für Blütenblattbewegungen und das Ausrichten der Laubblätter zur Sonne hin sowie Gefäßmuskeln („vascular muscles“) samt zugehörigen Nerven anzunehmen, sondern sogar für jede einzelne Knospe und jeden Samen ein „Gehirn“ („brain, or common sensorium“).

Angesichts dieser völligen Übertragung der tierischen auf die pflanzlichen Verhältnisse verwundert es nicht, daß E. Darwin einen Saftkreislauf annimmt, der, abgesehen vom Fehlen eines Herzens, dem tierischen völlig analog ist. Es handelt sich aber nicht um einen einzigen Kreislauf, sondern Darwin ordnet jeder Achselknospe („bud“) einen eigenen Kreislauf zu, wobei das zugehörige Blatt, in dessen Achsel die Knospe entspringt, die Funktion der Lunge übernimmt. Eine solche Sichtweise ist im Prinzip nur konsequent, da E. Darwin, wie bereits erwähnt, jede einzelne Knospe für eine individuelle Pflanze hält.

Den Ablauf der Zirkulation des absorbierten Wassers bzw. des verarbeiteten Safts stellt sich E. Darwin folgendermaßen vor:⁸³ Die von den Wurzeln aufgenommene Feuchtigkeit steigt in den „absorbent vessels“ im Stamm bzw. Stengel bis zum oberen Ende der „bud“ an der Basis des korrespondierenden Blattstiels auf. An dieser Stelle vereinigen sich die „absorbent vessels“ mit den Lymphgefäßen, die aus dem Inneren der Pflanze sowie aus der Oberfläche Flüssigkeit herantransportieren, sowie mit den „Venen“, die das „venous blood“ heranzuführen. Von dort aus führt ohne Zwischenschaltung eines Herzens eine „Arterie“⁸⁴ den Saft („sap“, gemeint ist die von der Erde aufgenommene Flüssigkeit) sowie das „venöse Blut“ in das jeweilige Blatt, wo sich die „Arterie“ verästelt. Auf der Blattoberseite werde das „venöse Blut“ der Luft ausgesetzt, dabei werde es oxidiert, „probably acquires some warmth, and phosphoric acid, and the spirit of vegetable life“,⁸⁵ verändere es seine Farbe und werde zu „pflanzlichem Blut“ („vegetable blood“). Das „pflanzliche Blut“ sammle sich in einem der Lungenvene („pulmonary vein“) entsprechenden Gefäß, das die Funktion der Aorta übernehme, und werde über die Blattunterseite und den Blattstiel zur Spitze der Knospe sowie über die Rinde des Stammes zu den Wurzeln geleitet. Nach Verteilung des „Blutes“ im Pflanzenkörper und Entnahme alles dessen, was für Sekretionen und Ernährung benötigt werde, gelange das Blut als venöses Blut schließlich wieder über „Venen“ zur Basis des Blattstiels zurück.⁸⁶

An milchsaftführenden Pflanzen wie „Picris“ (Bitterkraut) und „Tragopogon scorzonera“ (eine Schwarzwurzel) glaubte E. Darwin, die „Arterien“ und „Venen“ identifizieren zu können. Nachdem er Stengel dieser Pflanzen oben und unten durchgeschnitten hatte, stellte er zwei konzentrische Ringe von Gefäßen fest, aus denen Milchsaft austrat. Da aus dem inneren Ring des oberen und dem äußeren Ring des unteren Schnittes mehr und schneller Milchsaft austrat als aus dem

⁸³E. Darwin, 1800, S. 57–59, 62–63, 65–66, 67–68.

⁸⁴E. Darwin (1800, S. 62) vergleicht diese „Arterie“ mit der Pfortader (*Vena portae*, bei E. Darwin „Vena portarum“), die das venöse Blut aus dem Magen-Darm-Trakt sammelt und zur Leber leitet, somit ohne Zwischenschaltung eines Herzens die Funktion einer Arterie übernimmt.

⁸⁵E. Darwin, 1800, S. 68.

⁸⁶Auch die Deckblätter („bractes or floral-leaves“) sowie die Nektarien und Blütenblätter („corols“) seien an einem Saftkreislauf beteiligt. In den Deckblättern werde auf diese Weise der Saft für die Ernährung des Perikarps und der Samen aufbereitet, während die Nektarien und „corols“ den Honig zubereiteten, mit dem die Antheren und Stigmen ernährt würden. (E. Darwin, 1800, S. 66–67.)

äußeren Ring des oberen und dem inneren Ring des unteren Schnittes, folgerte er, bei den Gefäßen des inneren Rings handele es sich um „Arterien“, also um Gefäße, in denen das „pflanzliche Blut“ absteigt, und bei denen des äußeren Rings um „Venen“, in denen das „Blut“ aufwärts transportiert wird.⁸⁷

Die treibende Kraft für den Saftkreislauf führt E. Darwin auf die Irritabilität der pflanzlichen „Arterien“ und „Venen“ zurück.⁸⁸ Aufgrund ihrer Irritabilität reagierten diese Gefäße auf den Reiz, den die Flüssigkeit auf sie ausübe, mit Absorption. So absorbierten die „Venen“ das „Blut“ aus den „Arterien“, wobei das nachfolgende „Blut“ das vordere vorantreibe. Für die „absorbent vessels“, die das Wasser aus dem Boden aufnehmen, sowie die lymphatischen Gefäße nimmt E. Darwin eine Spiralstruktur an⁸⁹ und identifiziert sie demnach offenbar mit den Tracheen. Zusätzlich zur Absorptionskraft der Öffnungen dieser Gefäße, die wohl auch auf Irritabilität beruht, obwohl E. Darwin dies nicht explizit ausführt, treibe die Kontraktion der „spiral fibres“ die enthaltene Flüssigkeit voran.⁹⁰

Die mikroskopischen Untersuchungen und Experimente, auf die E. Darwin seine Ansicht vom Saftkreislauf der Pflanzen stützt, sind, auch unter Berücksichtigung der zeitgenössischen Umstände, alles andere als aussagekräftig und von einer gewissen Beliebigkeit. Es ist nur zu offenkundig, daß E. Darwin, ausgehend von seiner Evolutionsvorstellung, wonach Tiere und Pflanzen einen gemeinsamen Ursprung haben, a priori für die Pflanzen einen Saftkreislauf annahm und diese Theorie erst nachträglich auf eine empirische Basis zu stellen versuchte. Deutlich ist er von Richard Bradley beeinflusst, dessen Werken er die Variegationsexperimente von Fairchild und Lawrence als Argumente für einen Saftkreislauf entnimmt.⁹¹

E. Darwins „Phytologia“ enthält ausführliche praktische Anleitungen und Verbesserungsvorschläge zur Agri- und Hortikultur und steht in dieser Hinsicht in der Tradition unzähliger entsprechender englischer Werke. Seine Abhandlung ist ein anschauliches Beispiel dafür, daß auch die Einbeziehung der modernen chemischen Pflanzenphysiologie, auf die er in anderen Abschnitten seines Werks durchaus rekurriert, nicht notwendigerweise eine Ablehnung der Saftkreislauflehre zur Folge hatte. Auch die Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße war, wie oben bereits erwähnt, mit der Annahme eines Saftkreislaufs durchaus vereinbar, wie E. Darwins Werk zeigt.

⁸⁷E. Darwin, 1800, S. 59.

⁸⁸E. Darwin, 1800, S. 65–66.

⁸⁹E. Darwin, 1800, S. 68.

⁹⁰E. Darwin, 1800, S. 67.

⁹¹E. Darwin, 1800, S. 60–61, 539–540; vgl. oben, Kap. 3.2.

9. Das Wiederaufleben der Saftkreislauftheorie im 19. Jahrhundert

9.1 Neue Strömungen in der Pflanzenanatomie und ihr Verhältnis zur Pflanzenphysiologie

Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert ist eine deutliche Schwerpunktverlagerung auf dem Gebiet der Pflanzenanatomie und -physiologie zu verzeichnen, die letztlich zur Herausbildung der Zellentheorie führte. Die Pflanzenanatomie, die nach den glänzenden Arbeiten Malpighis, Grews und Leeuwenhoeks nicht nur keine nennenswerten Fortschritte mehr zu verzeichnen hatte, sondern ganz im Gegenteil im 18. Jahrhundert weit hinter den Arbeiten ihrer Begründer zurückblieb, erlebte um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert eine Wiederbelebung. Zunehmend wandte man sich wieder mehr einer detaillierten Untersuchung der Feinstrukturen der Pflanzen zu. An solchen Feinstrukturen unterschied man traditionell zwischen „Zellen“, „Fasern“ und „Gefäßen“ oder „Röhren“. Auch interessierte man sich nun mehr für die Entwicklungsgeschichte dieser Strukturelemente, ihre morphologische Plastizität und Wandelbarkeit sowie ihre Verbindungen untereinander. Ferner richtete sich der Blick verstärkt auf die physiologischen Prozesse in und zwischen den verschiedenen „Geweben“ der Pflanze. Beispielhaft für diese Tendenz ist der „*Traité d’anatomie et de physiologie végétales*“ des französischen Botanikers Charles François Brisseau de Mirbel (1776–1854).

Mirbel war sich des desolaten Zustands der zeitgenössischen Pflanzenanatomie und ihres mangelnden Fortschritts, ja deutlichen Zurückbleibens gegenüber den Arbeiten Malpighis, Grews und Leeuwenhoeks bewußt und setzte sich eine Wiederbelebung dieser Wissenschaft zum Ziel:

„Il est temps enfin de tirer l’anatomie végétale de l’oubli où elle est plongée depuis si longtemps. Faut-il le dire? depuis Leewenhoek, Malpighi, Grew, on n’a rien fait qui surpasse ni même qui égale leurs travaux; nous ne savons rien que ce qu’ils nous ont appris; nous avons adopté leurs opinions sans examen; ou, ce qui est pis, nous les avons

rejetées d'après quelques observations imparfaites. Toutes les sciences ont pris un vol rapide et nous ne connoissons pas encore les premiers élémens de l'anatomie végétale.“¹

Von einer Förderung der Pflanzenanatomie versprach sich Mirbel nicht nur – im Anschluß an Desfontaines' Begründung einer vergleichenden Anatomie der monocotylen und dicotylen Pflanzen – Erkenntnisgewinne für die Klassifikation der Pflanzen,² sondern er betont auch die gegenseitige Abhängigkeit zwischen Pflanzenphysiologie und -anatomie. So erkennt er zwar die großen Fortschritte der Pflanzenphysiologie an, hebt aber hervor, daß es zu einem gesicherten Voranschreiten der Physiologie exakter Kenntnisse der inneren Struktur der Pflanzen bedürfe. Beide Wissenschaften seien untrennbar miteinander verbunden, da eine Kenntnis der Organe ohne Kenntnis ihrer Funktion von keinem Interesse sei und sich umgekehrt keine deutliche Vorstellung pflanzlicher Funktionen gewinnen lasse ohne genaue Kenntnis der Gestalt und Lage der entsprechenden Organe.³

Als Vorbild für eine Erneuerung der Pflanzenanatomie wird Mirbel die gerade in Frankreich hoch entwickelte vergleichende und funktionelle Anatomie der Tiere gedient haben. Natürlich war er sich bewußt, daß die Pflanzenanatomie sich erheblich schwieriger gestaltet als die Tieranatomie, da die Pflanzen keine so deutlich unterschiedenen Organe wie die meisten Tiere besitzen und sich somit nur sehr schwer Korrelationen zwischen Form und Funktion pflanzlicher Strukturelemente aufstellen lassen, zumal sich bei den Pflanzen im Gegensatz zu den (höheren) Tieren keine Analogien zu den Organfunktionen des Menschen anbieten.⁴ Die Feinheit der inneren Pflanzenstruktur erfordert intensive Detailstudien, und so verwundert es nicht, daß Mirbel in seinem „Traité d'anatomie et de physiologie végétales“ ein Plädoyer für die Detailforschung hält, um sein Vorgehen zu rechtfertigen.⁵ So hätten die „Alten“ generalisiert, die Gesamtheit betrachtet und sich von der sinnlichen Wahrnehmung der Naturdinge leiten lassen, wogegen man sich jetzt nicht von Begeisterung und Leidenschaft, sondern von der „ruhigen und kühlen Vernunft“ („raison calme et froide“) leiten lasse und von den Details zur Kenntnis der Gesamtheit schreite.⁶ Mirbel stand bei dieser Feststellung wohl auch unter dem Eindruck der gesellschaftspolitischen Ereignisse im Frankreich des letzten Jahrzehnts des 18. Jahrhunderts und der Jahrhundertwende.

Für Mirbel bestehen die Pflanzen aus „Zellen“ („cellules“) und „Röhren“ („tubes“), und er unterscheidet dementsprechend zwei „genres d'organes élémentaires“, auf die sich sämtliche Modifikationen des „tissu membraneux“ der Pflanzen zurückführen ließen: das Zellgewebe („tissu cellulaire“) und das „Röhrengewe-

¹Mirbel, [1801d], S. 213; vgl. Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 32.

²Mirbel, [1801a], S. 356.

³Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 33, 35.

⁴Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 28–29.

⁵Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 11–12, 24.

⁶Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 11–12.

be“ („tissu tubulaire“).⁷ Die Zellen hätten die Tendenz, sich in ihrer Entwicklung nach allen Seiten auszudehnen, würden jedoch durch den Widerstand benachbarter Zellen oder anderer Körper daran gehindert. Je nach den Widerständen, die sie in ihrer Entwicklung erführen, ändere sich ihre Form. Wenn sie sich nur gegenseitig Widerstand entgegenseetzten, so erlangten sie eine im Transversal- und Längsschnitt hexagonale Form wie die Bienenwaben.⁸ Flüssigkeiten würden vom Zellgewebe nicht geleitet oder zumindest nur sehr langsam. Im Unterschied zum „Röhrengewebe“ werde das Zellgewebe durch Mazeration in Wasser sehr schnell zerstört.⁹

Das „Röhrengewebe“ dient nach Mirbel der Leitung von Flüssigkeiten. Mirbel unterscheidet 5 Arten von „Röhren“ („tubes“): „tubes simples“, „tubes poreux“, „tubes fendus, ou fausses trachées“, „trachées“ sowie „tubes mixtes“. Die einfachen Röhren enthielten keinerlei Poren oder Spalten, in den porösen Röhren seien dagegen Poren in transversalen Reihen angeordnet, während die „gespaltenen Röhren oder falschen Tracheen“ transversale Spalten aufwiesen. Bei den „falschen Tracheen“ handelte es sich, wie sich aus Mirbels Beschreibung sowie den Deutungen nachfolgender Pflanzenanatomien erschließen läßt,¹⁰ wohl in der Hauptsache um Treppentracheiden bzw. Leitergefäße (nach zeitgenössischer Terminologie „Treppengänge“ oder „Treppengefäße“). Die „porösen“ Röhren erinnern an Tüpfeltracheiden und Tüpfelgefäße.

Als „Tracheen“ bezeichnet Mirbel Leitungselemente mit spiraliger Wandverdickung. Die letzte Art von Gefäßen, die „tubes mixtes“, sollen eine Mischung bzw. Übergangsform zwischen den genannten anderen vier Arten darstellen, indem dieser Gefäßtyp Poren, Spalten, spiralige Verdickungen sowie Stellen ohne jegliche Öffnungen aufweise.¹¹

Von jedem dieser 5 Gefäß- bzw. Röhrenarten gebe es kleine und großlumige Formen. Die einfachen Röhren, die sich hauptsächlich in der „Rinde“ (Bast) befänden, enthielten für gewöhnlich die (seit Malpighi so genannten) „eigentümlichen Säfte“ („sucs propres“, z. B. Öle, Milchsäfte, Harze usw.).¹² Die übrigen Röhrenarten seien fast immer Leitungsbahnen für die „sève“, d. h. für das von den Pflanzen über die Wurzeln, aber auch die Blätter und jungen Zweige aufgenommene Wasser mit darin gelösten Nährstoffen.¹³

⁷Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 54–55 (= Mirbel, [1802], S. 282). Auch für die Tiere nimmt Mirbel einen Aufbau aus „tissu cellulaire“ und „tissu vasculaire“ an; s. Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 13.

⁸Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 56.

⁹Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 57; s. zu diesem Absatz auch Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, Tafellegende.

¹⁰Vgl. Sprengel, 1812, S. 138–146.

¹¹Siehe zu diesem und dem vorhergehenden Absatz Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 63–69 u. die Tafellegende.

¹²Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 63–64 u. die Tafellegende.

¹³Siehe zu diesem Absatz Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, Tafellegende.

Mirbel betont, daß es zwischen den von ihm aufgestellten Röhrentypen keine bestimmten Grenzen gebe.¹⁴ Grundsätzlich betrachtet er alle Röhrenarten nur als Modifikationen ein und desselben Organs.¹⁵ Hinzu kommt, daß die Röhren durch Metamorphose der Zellen entstehen sollen. Mirbel zeigt dies zunächst am Beispiel des Zuckerrohrs,¹⁶ dann generell für die monocotylen¹⁷ und dicotylen Pflanzen¹⁸. Mirbels Äußerungen zur Umwandlung und Entstehung der verschiedenen Röhrenarten waren allerdings nicht immer deutlich und führten zu Mißverständnissen.¹⁹

Mirbel geht von einem „balancement“, also einem alternierenden Auf- und Absteigen der „sève“ aus, jedoch finde diese Bewegung nicht in ein und denselben Gefäßen statt. Tagsüber werde der „Saft“ von den Wurzeln aufgesogen, im Stamm bzw. Stengel zu den Blättern geleitet und dort durch die Wärme verdunstet. Nachts nähmen die Blätter die durch die Kälte kondensierte Luftfeuchtigkeit auf und leiteten sie zusammen mit dem Rest des tagsüber nicht verdunsteten Saftes zu den Wurzeln.²⁰ Der Saftaufstieg finde, wie Coulomb²¹ gezeigt habe,²² in den „tubes“ nahe dem Mark statt,²³ der Saftabstieg dagegen in den „petits tubes“, besonders denen, die sich nahe der Peripherie befänden, nicht jedoch in denen der Rinde.²⁴ Die von Mirbel als „petits tubes“ beschriebenen Elemente

¹⁴Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 68–69.

¹⁵Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 63.

¹⁶Mirbel, [1801c], S. 72–73.

¹⁷Mirbel, [1801d], S. 209.

¹⁸Mirbel, [1802], S. 298.

¹⁹Vgl. Sprengel, 1812, S. 140–142, 145–146.

²⁰Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 318–319, 321–322.

²¹Charles Augustin Coulomb (1736–1806), der bekannte Physiker.

²²Vgl. Coulomb, [1799]. Coulomb ließ im Frühjahr 1796 einige Pappeln fällen, als sie gerade die ersten Blätter ausbildeten. Dabei stellte er fest, daß, als die Bäume schon fast bis zur Mitte eingeschnitten waren, eine sehr klare, geschmacklose Flüssigkeit („eau très-limpide et sans saveur“) ausfloß und ein Geräusch ertönte, wie wenn Luft in großer Menge aus einer Flüssigkeit austrete. Diese und weitere Beobachtungen ließen ihn vermuten, der Saft steige in der Gegend um den Markkanal herum auf. Um diese Vermutung weiter experimentell zu verifizieren, ließ er mehrere Pappeln anbohren. Erneut stellte sich das Geräusch und ein reichlicher Saftaustritt erst ein, nachdem man mit dem Bohrer bis auf zwei, drei Zentimeter an die Achse der Bäume vorgedrungen war. Den ganzen Sommer hindurch sei das – allerdings kontinuierlich abnehmende – Geräusch zu hören gewesen, und zwar am lautesten, wenn die Blätter an heißen Tagen stark transpiriert hätten, während es in der Nacht und an feuchten und kalten Tagen fast ganz ausgeblieben sei. Wegen der großen Menge an Luftblasen im auslaufenden Saft schloß Coulomb, daß viel mehr Luft als Saft aufsteige. Coulombs Experiment wurde gerne zitiert, doch ließen sich gegen seine Deutung, wonach der Saft nur in der unmittelbaren Nachbarschaft des Marks aufsteige, die Ergebnisse zahlreicher Injektionsexperimente anführen, die gezeigt hatten, daß der Saft eigentlich im gesamten Holzteil aufsteigt (vgl. Senebier, 1800, Bd. 4, S. 163–164). Zum angeblichen Luftaustritt ist aus heutiger Sicht zu sagen, daß die Verhältnisse gerade umgekehrt liegen, denn wegen des in den wasserleitenden Gefäßen herrschenden starken Unterdrucks dringt bei Verletzung der Wasserleitungsbahnen Luft von außen in die Gefäße ein.

²³Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 319–321.

²⁴Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 321–322. Manchmal fließe der Saft sogar im Zellgewebe der Rinde und des Marks herab (Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 98).

sind wahrscheinlich Holzfasern.²⁵ Dem Zeitgeist entsprechend betrachtet Mirbel die „Lebenskraft“ („force vitale“) als Hauptursache für die Saftbewegung.²⁶ Von den sonst üblicherweise angeführten physikalischen Ursachen – bzw. in vitalistischer Interpretation – Mitursachen des Saftaufstiegs (z. B. die kapillare Anziehung der Gefäße) betrachtet Mirbel nur die Wärme als gesichertern, den Saftaufstieg beschleunigenden Faktor.²⁷

Deutlich beeinflusst von Bonnet²⁸, auch wenn er ihn nicht namentlich nennt, konstatiert Mirbel eine „communication intime“ zwischen allen Teilen der Pflanze.²⁹ Sämtliche Pflanzenteile befänden sich untereinander in einem Zustand des Saugens und der Absorption.³⁰ Entsprechend nimmt Mirbel Poren in den Zellwänden an,³¹ eine Beobachtung, die nach Link³² kein anderer bestätigt habe.

Mirbels Zellen- und „Röhren“-Theorie war der Ausgangspunkt für zahlreiche Kontroversen und bot somit einen Anreiz für weitere Forschungen. Von einem Theoriedefizit in der Pflanzenanatomie zu Beginn des 19. Jahrhunderts zu sprechen, wie dies Breidbach tat,³³ erscheint bei näherer Betrachtung etwas voreilig. Natürlich ist die Situation um 1800 nicht zu vergleichen mit der nach der Begründung der Zellentheorie durch Schwann und Schleiden Ende der 1830er und Anfang der 1840er Jahre. Gleichwohl verliehen bereits die Mirbelschen Vorstellungen der weiteren Entwicklung der Pflanzenanatomie und -physiologie deutliche Impulse und lenkten sie in Richtung auf die Zellentheorie. Derart „steuerlos“, wie Breidbach dies darstellt, war demnach die Pflanzenanatomie zu Beginn des 19. Jahrhunderts nicht.

9.2 Auswirkungen der „neuen Pflanzenanatomie“ auf die Saftkreislauflehre

Mirbels Ausführungen und Theorien übten auch einen Einfluß auf die weitere Diskussion um die Saftkreislauflehre aus. Dadurch, daß seine und ähnliche Arbeiten anderer Autoren die Entwicklung, Gestalt, Metamorphose und *Funktion* der Feinstrukturen der Pflanzen in den Vordergrund stellten, wurde die Aufmerksamkeit der Pflanzenanatomien und -physiologen von den großräumigen Transportprozessen im Pflanzenkörper auf die unmittelbaren Kommunikationsphänomene zwischen den Zellen und „Röhren“ abgelenkt. So stellte sich z. B. die Frage, ob die

²⁵Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 70–72. Dies ist nur eine Deutung, denn Mirbel selbst lehnte die Existenz echter Fasern im Pflanzenkörper ab (s. Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 54).

²⁶Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 325–326.

²⁷Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 327–328.

²⁸Vgl. Bonnet, 1754, S. 288.

²⁹Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 310–311.

³⁰Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 312; s. a. Mirbel, [1801d], S. 209.

³¹Mirbel, [1801/1802], Bd. 1, S. 57.

³²Link, 1812, S. 12.

³³Vgl. Breidbach, 1982, S. 37–46.

von Mirbel postulierten Poren in den Zellwänden wirklich existierten oder auf welche Weise sonst eine Verbindung und ein Stoffaustausch zwischen den Zellen und Röhren stattfinden könne. Link etwa entwickelte eine Theorie, wonach „der Saft aus den Gefäßen in die anliegenden Zellen unmittelbar übergehe, oder so zu sagen, durchschwitze“.³⁴ Auch zwischen den Zellen selbst finde „keine offene Communication“ statt, sondern ebenfalls ein „Durchschwitzen“ des Safts durch „feine“, „unsichtbare“ Poren in den Scheidewänden.³⁵

Für Forscher, die sich solchen mikrophysiologischen Vorgängen und Fragestellungen zuwandten, konnte eine vergleichsweise „grobe“ Theorie wie die eines Saftkreislaufs nur von geringem Interesse sein. Symptomatisch für diese Situation ist, wenn wir uns dem deutschsprachigen Raum zuwenden – und nur dieser ist vorerst von Interesse, da die Saftkreislauflehre Anfang der 1820er Jahre durch einen Berliner Botaniker wieder aufgegriffen, wenn auch deutlich modifiziert wurde –, die Bearbeitung der von der „Königlichen Societät der Wissenschaften“ in Göttingen im Jahre 1804 gestellten Preisfrage. Gegenstand der Preisfrage war der Gefäßbau der Pflanzen, d. h. die Frage, ob die Pflanzen überhaupt echte Gefäße aufweisen, wie diese gebaut sind, welche verschiedenen Arten von Gefäßen sich unterscheiden lassen sowie ob sie Flüssigkeiten oder Luft führen.³⁶ Eine der Spezialfragen griff die (angebliche)³⁷ Meinungsverschiedenheit zwischen Mirbel und Sprengel bezüglich der Entwicklungsgeschichte der „Treppengänge“³⁸ auf. Auch in anderen Punkten zeigt sich deutlich der prägende Einfluß, den Mirbel mit

³⁴Link, 1807, S. 80–83.

³⁵Link, 1807, S. 13, 83–84; s. a. *ibid.*, Nachträge, S. 24.

³⁶Der Wortlaut der Preisaufgabe findet sich in Rudolphi, 1807, S. V–VI: „Da der eigentliche Gefäßbau der Gewächse von einigen neuen Physiologen geläugnet, von andern, zumal ältern, angenommen wird: so wären neue mikroskopische Untersuchungen anzustellen, welche entweder die Beobachtungen Malpighi's, Grew's, Du Hamel's, Mustel's, Hedwig's, oder die besondere von dem Thierreich abweichende, einfachere Organisation der Gewächse, die man entweder aus einfachen eigenthümlichen Fibern und Fasern (Medicus) oder aus zelligem und röhrigem Gewebe (tissu tubulaire Mirbel) hat entstehen lassen, bestätigen müssten. – Dabey wären nachfolgende untergeordnete Fragen zu berücksichtigen. a) wie vielerley Gefässarten lassen sich von der ersten Entwicklungsperiode derselben mit Gewissheit annehmen? und wenn diese wirklich existiren; b) sind jene gewundenen Fasern, welche man Spiralgefäße (vasa spiralia) nennt, selbst hohl, und bilden sie also Gefäße, oder dienen sie durch ihre Windungen zur Bildung eigener Kapseln? und wie c) bewegen sich in diesen Kapseln die tropfbaren Flüssigkeiten sowohl als Luftarten? d) entstehen durch Verwachsung dieser gewundenen Fasern die Treppengänge (Sprengel) oder umgekehrt diese aus jenen (Mirbel)? entstehen von den Treppengängen Splint (alburnum, aubier) und Holzfasern, oder diese aus ursprünglich eigenthümlichen Gefäßen oder dem röhrigen Gewebe.“

³⁷Kurt Sprengel kolportierte (1802–1804, Bd. 1, 1802, S. 105), Mirbel sei der Ansicht, die Spiralgefäße entstünden aus den „Treppengängen“. Er selbst hingegen vertrat die umgekehrte Auffassung, die „Treppengänge“ seien umgebildete Spiralgefäße. Sprengel hat aber, so scheint es, in Mirbels Äußerungen zuviel hineingelesen (vgl. Bernhardt, 1805, S. 34; vgl. a. Sprengels „Rechtfertigung“ [1812, S. 140–146]).

³⁸Bei den „Treppengängen“ handelt es sich um Leitungselemente, die heute als „Treppentracheiden“ bzw. „Leitergefäße“ bezeichnet werden (vgl. Strasburger, 1983, S. 127).

seinen Vorstellungen auf die Wiederbelebung und weitere Entwicklung der Pflanzenanatomie und der damit verbundenen physiologischen Aspekte ausübte.

Es ist hier nicht der Ort, all die pflanzenanatomischen Streitfragen aufzuzeigen, die die Göttinger Akademie veranlaßten, ihre oben genannte Preisfrage zu stellen. Allein was den Bau, die Entwicklung und Funktion der Spiralgefäße betrifft, herrschte die größte Meinungsvielfalt. Im Grunde genommen wurden sämtliche überhaupt denkbaren Ansichten vertreten, wobei sich selbstverständlich jeder einzelne Autor nichtsdestoweniger auf Beobachtungen und Experimente stützte.³⁹

Auch wenn in der Preisfrage der Göttinger Akademie die Saftkreislauflehre und auch sonstige physiologische Theorien, die die gesamte Pflanze betreffen, nicht erwähnt werden, so erlauben die beiden preisgekrönten Arbeiten Johann Heinrich Friedrich Links⁴⁰ (1767–1851) und Karl Asmund Rudolphis⁴¹ (1771–1832) sowie die mit dem „Accessit“ ausgezeichnete Arbeit von Ludolph Christian Treviranus⁴² (1779–1864) doch einen Einblick in die für eine Diskussion der Saftkreislauflehre sehr ungünstige Situation zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Zu einer adäquaten Bearbeitung der Preisfrage konnten Probleme des Safttransports und der -bewegung natürlich nicht ausgespart werden. Daher ist es aufschlußreich, daß von den genannten drei Autoren die Frage eines Saftkreislaufs entweder gar nicht angeschnitten oder eine echte Zirkulation des Pflanzensaftes von vornherein mit dem Hinweis auf die kleinräumigen Transportprozesse abgelehnt wurde. Auch in den Werken anderer Autoren (Bernhardi, G. R. Treviranus, Sprengel) findet sich dieser generelle Trend.⁴³

Link konstatiert, es gebe „keine bestimmte und regelmässige Circulation, wie schon die saftigen Pflanzen lehren, deren Blätter, wenn es erfordert wird, ihren Saft dem ganzen Gewächse zurückgeben, von dem sie es ursprünglich empfangen“.⁴⁴ Erneut zeigt sich hier, wie eine früher zugunsten der Saftkreislauflehre angeführte Beobachtung unter neuen Prämissen, in diesem Fall der Konzentration auf kleinräumige Transport- und Austauschprozesse zwischen Zellen und Gefäßen, nun als Argument gegen eine Saftzirkulation verwendet wird. Link postuliert nämlich aufgrund von Injektionsexperimenten einen Übergang des Saftes

³⁹Die Ansicht Reichels (1758), der durch sorgfältig ausgeführte Injektionsexperimente nachzuweisen versuchte, daß die Spiralgefäße nur Flüssigkeiten und keine Luft enthielten, konnte sich nicht allgemein durchsetzen. Zu widersprüchlich waren die Ergebnisse anderer Autoren und zu uneins war man sich bezüglich des Einflusses der Versuchsbedingungen. Selbst M. J. Schleiden behauptete noch 1845 apodiktisch, die Gefäße der Pflanzen führten nur Luft (Schleiden, 1845, S. 319). Zu einem Überblick über die Anfang des 19. Jahrhunderts diskutierten Ansichten zu Bau, Entwicklung und Funktion der Spiral- und anderer Pflanzengefäße s. z. B. Link, 1807, S. 42–49; Moldenhawer, 1812, S. 181–335; Sprengel, 1812, S. 115–178.

⁴⁰Link, 1807.

⁴¹Rudolphi, 1807.

⁴²L. C. Treviranus, 1806.

⁴³Siehe unten, S. 168–170.

⁴⁴Link, 1807, S. 84.

von Zelle zu Zelle und von den Spiralgefäßen zu den Zellen.⁴⁵ Seiner Ansicht nach könnte die Pflanze sogar ganz ohne Gefäße auskommen, da diese die Saftbewegung nur beschleunigten.⁴⁶ Alles in allem fließe der Saft „dahin, wo es dessen bedarf; er dringt durch das Zellgewebe, aber die Spiralgefäße sind seine schnellern Leiter.“⁴⁷ Von der Notwendigkeit eines geregelten Saftkreislaufs, der die gesamte Pflanze umfaßt, ist unter solchen Voraussetzungen natürlich nicht mehr die Rede.

Auch Rudolphi hält fest: „Der Saft kann überall hinkommen [...], und Circulation im eigentlichen Sinn ist niemals da, nicht einmal Rückfluss durch die Gefäße eines eignen Theils, wie man ihn sonst in der Rinde annahm [...], sondern in denselben Gefäßen, in dem nämlichen Zellgewebe steigen die Flüssigkeiten auf und ab und zur Seite, wie es das Bedürfniss und die Umgebung der Pflanze heischt.“⁴⁸ Ferner könne die „im Zellgewebe enthaltene Flüssigkeit [...] nach allen Richtungen bewegt werden, nach diesem, nach jenem Theil, und zwar sehr schnell“. Dies sehe „man unter andern bey den künstlichen Anfüllungen mit gefärbten Flüssigkeiten.“⁴⁹

Bernhardi hebt die Unregelmäßigkeit und geringe innere Bestimmtheit der Saftbewegungen sowie ihre Abhängigkeit von äußeren Faktoren hervor und hält daher einen „vollkommenen Kreislauf“ des Pflanzensafts für unwahrscheinlich. Seine Ausführungen enthalten einen deutlichen Niederschlag der Experimente Mustels⁵⁰ bzw. Duhamel du Monceaux⁵¹:

„Dass die Pflanzensäfte sich wirklich bewegen, daran kann niemand mehr zweifeln, wie diese Bewegung aber geschehe, darüber ist man bis jetzt noch nicht einig. So viel kann als wahrscheinlich angenommen werden, dass kein vollkommener Kreislauf statt findet, dass die Bewegungen bald langsamer, bald schneller, überhaupt unbestimmter und mehr theilweise erfolgen, daher man einen Zweig eines im Freyen stehenden Weinstocks ins Gewächshaus leiten und zum Blattreiben bringen kann, während der aussenstehende Theil unbeblättert bleibt

⁴⁵Um den Übergang des Saftes aus den Gefäßen in die benachbarten Zellen zu untersuchen, stellte Link (1807, S. 81) Zweige und Blätter von Pflanzen, in denen ihm „Gerbestoff oder Gallussäure zu seyn schien“ („Zweige von der gemeinen Eiche, von *Sempervivum glutinosum*, *Sedum Telephium* [Große Fetthenne]“ und Rhabarberblätter), in eine „verdünnte Auflösung von schwefelsaurem Eisen“. Dabei beobachtete er, daß „die Spiralgefäße ungefärbt, aber die Zellen neben diesen mit einer schwarzen Feuchtigkeit angefüllt“ waren. (Polyphenole wie die Gallussäure bilden mit Eisen(III)-Ionen blauschwarze Komplexe.)

⁴⁶Link, 1807, S. 83.

⁴⁷Link, 1807, S. 84.

⁴⁸Rudolphi, 1807, S. XIII. Das Zitat dient nur dazu, die Ähnlichkeit der Einstellung Links und Rudolphis zur Saftkreislauflehre hervortreten zu lassen. Die unterschiedlichen Ansichten beider Autoren bezüglich der Transportwege für den ab- und aufsteigenden Saft stehen hier nicht zur Debatte.

⁴⁹Rudolphi, 1807, S. 251.

⁵⁰Siehe Kap. 7.1.

⁵¹Siehe Kap. 7.1.

[. . .]; [. . .] dass alle Zellen durch Oeffnungen unter einander verbunden sind, dass insbesondere die Zellen der Rinde und des Bastes durch das mauerförmige Zellgewebe⁵² des Splints mit den Zellen des Marks im Stengel durch Oeffnungen zusammenhängen, und das junge Mark seine Säfte aus jenen erhält. Was für eine Verbindungsart aber zwischen den Gefäßen und Zellgewebe vorhanden ist, wissen wir nicht, und können daher auch sehr unsicher auf das Fliessen der Säfte aus dem einen in das andere schliessen. Vielleicht haben die Wassergefäße⁵³ nicht nur an ihren Enden, sondern auch zu ihren Seiten Mündungen, wodurch die Säfte in das sie umgebende Zellgewebe fließen.“⁵⁴

L. C. Treviranus erwähnt in seinem Werk „Vom inwendigen Bau der Gewächse und von der Saftbewegung in denselben“ die Saftkreislauflehre mit keinem Wort, was nicht besonders verwundert, da auch er hervorhebt, daß „der Saft im Zellgewebe [. . .] sich in allen Richtungen“ bewege,⁵⁵ und somit mehr an den lokalen Transportprozessen interessiert ist. Sein Bruder, Gottfried Reinhold Treviranus, schreibt im 4. Band seiner „Biologie, oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte“, ebenfalls beeinflusst von Mustels Experimenten⁵⁶:

„Es giebt in den Pflanzen keinen so regelmässigen Umlauf der Säfte, wie in den Thieren, sondern *der Trieb⁵⁷ der Pflanzensäfte ist immer nach denjenigen Theilen gerichtet, worauf äussere Potenzen am meisten wirken*. Das Ausströmen von Luftblasen aus den Blättern geschieht nur beym Einfluss des Sonnenlichts. Wirkt dieses in Verbindung mit Wärme auf den obern Theil einer Pflanze, z. B. eines in ein Treibhaus geleiteten Asts eines Weinstocks, so fängt derselbe schon an zu grünen, wenn die Vegetation des untern Theils noch weit zurück ist.“⁵⁸

G. R. Treviranus' Einstellung ist umso aufschlußreicher, als er zwar Perrault, Mariotte und Major erwähnt, aber auf deren Zirkulationstheorie nicht näher ein-

⁵²Gemeint sind die Markstrahlen; vgl. Bernhardi, 1803, S. 120.

⁵³Zu den „Wassergefäßen“, die „Wassersaft“ (also das von den Wurzeln aufgesogene Wasser mit darin gelösten Stoffen) enthalten, rechnet Bernhardi (1803, S. 121–123) „Fasergefäße“, „Schraubengefäße“ und „Treppengefäße“. Erstere Art von Gefäßen läßt sich an Hand seiner Beschreibung kaum identifizieren, bei den „Schraubengefäßen“ handelt es sich um Tracheen mit spiraliger Wandverdickung; zu den „Treppengefäßen“ s. o., S. 166, Fußn. 38.

⁵⁴Bernhardi, 1803, S. 197–198.

⁵⁵Treviranus, L. C., 1806, S. 13.

⁵⁶Dies muß nicht bedeuten, daß G. R. Treviranus Mustels Versuche oder auch die ähnlichen Experimente Duhamel du Monceaux selbst kannte, da deren Ergebnis bzw. Deutung inzwischen längst in die einschlägige Literatur Eingang fanden, ohne daß jedesmal ihre Urheber erwähnt wurden.

⁵⁷Orig.: „Triebe“.

⁵⁸Treviranus, G. R., 1814, S. 58 (Hervorhebung im Original). Siehe auch das Zitat aus G. R. Treviranus' Manuskript „Physiologische Collectaneen“, Bd. 1, in Hoppe, 1976, S. 284.

geht, sondern nur auf deren „Beweis“, „dass es ein Auf- und Abfließen des Safts in den Gewächsen giebt, und dass beyde in verschiedenen Theilen geschehen“, abhebt.⁵⁹

Dieselbe Haltung wie G. R. Treviranus, nur noch ausgeprägter, nimmt Kurt Sprengel (1766–1833) in seiner zwei Jahre früher (1812) erschienenen Abhandlung „von dem Bau und der Natur der Gewächse“ ein. Auch er ignoriert, wann immer er auf Perraults, Mariottes und De la Baisses Vorstellungen zu Safttransport und -bewegung zu sprechen kommt, die Saftkreislauflehre völlig.⁶⁰ Selbst als er Experimente Perraults erwähnt, mit denen dieser seine Saftkreislauflehre untermauerte, vermeidet es Sprengel, den Begriff „Saftkreislauf“ zu verwenden.⁶¹ Statt dessen deutet er Perraults Äußerungen um, indem er behauptet, Perrault habe die Lebenskraft der Pflanzen mit der tierischen Lebenskraft verglichen „und nicht so gar sehr verschieden“ gefunden.⁶²

Auch von Sprengel werden die Experimente Mustels, ferner die bekannten Argumente La Quintinies⁶³ vom Eigenleben der Stecklinge gegen die Saftkreislauflehre ins Feld geführt, denn durch sie werde „wenigstens die Nothwendigkeit eines allgemeinen Zusammenhangs aller Theile und besonders die Idee von einem Kreislaufe widerlegt“.⁶⁴ Einen „wahren Kreislauf“ hält er allenfalls auf lokaler Ebene im Rahmen der Anastomosen zwischen „Saftröhren“ und „Schraubengängen“ für möglich.⁶⁵

Der Leitgedanke, von dem Link, Rudolphi, die beiden Treviranus, Bernhardt und Sprengel bestimmt sind, auch wenn sie ihn nicht immer explizit ausführen, ist die zumindest relative Unabhängigkeit der pflanzlichen Teile voneinander. Dies gilt nicht nur für größere Pflanzenteile wie Blätter und Zweige oder ganze Stammabschnitte, sondern natürlich auch in zunehmendem Maße für die elementarerer

⁵⁹Treviranus, G. R., 1814, S. 64.

⁶⁰Sprengel, 1812, S. 23–25, 107–108, 154–155.

⁶¹Sprengel, 1812, S. 294, 301, 390.

⁶²Sprengel, 1812, S. 301; s. a. S. 294.

⁶³Siehe oben, Kap. 7.1, Fußn. 9.

⁶⁴Sprengel, 1812, S. 438.

⁶⁵Sprengel, 1812, S. 496: „Das Netz, welches die Saftröhren und Schraubengänge in vollkommenern Pflanzen bilden, geht oft in wirkliche Zusammenmündungen über; so daß ein wahrer Kreislauf, wenn irgendwo, hier unverkennbar ist.“ Die „Schraubengänge“ führen nach Sprengel im natürlichen Zustand (Injektionsexperimente besitzen für Sprengel keine Aussagekraft) keinen Saft (Sprengel, 1812, S. 174, 177). Die wirklichen Organe des Saftaufstiegs seien die „Saftröhren“. Bei diesen handele es sich um „Röhren“ im Bast, wobei sich Sprengel – wegen der zahlreichen Experimente, die zeigen, daß der Saft nur immer im Holz, nicht jedoch in Rinde oder Mark aufsteigt – auch das Holz mit Bast durchsetzt vorstellt (Sprengel, 1812, S. 431). Außerdem rechnet er den Splint zum Bast (ebd., S. 444). Die Schraubengänge wiederum, „dem Einflusse des Lichts besonders unterworfen“, seien „die Organe der Reizbarkeit und theilen diese den benachbarten Saftröhren mit“ (ebd., S. 177). Auf diese Weise gäben sie den „Saftröhren“ den für den Safttransport nötigen „Antrieb“ (ebd., S. 176–177, 431). Sprengel beruft sich auf Oken, dem gemäß die „Schraubengänge eine höhere Bedeutung“ hätten, „das Lichtsystem der Pflanze“ seien und eine „polarisirende“ Funktion ausübten (Sprengel, 1812, S. 175; vgl. Oken, 1810, S. 50–56).

Bestandteile, wie Zellen, Fasern und Gefäße. Im Gefolge der Zellentheorie führte dies später zu der Ansicht, daß jede Zelle ein eigenständiger Organismus sei.⁶⁶

Es wäre jedoch verfehlt, anzunehmen, daß die Saftkreislauflehre zu Beginn des 19. Jahrhunderts völlig aufgegeben worden sei. Was den deutschsprachigen Raum betrifft, ist der Forstwissenschaftler (Johann) Heinrich Cotta (1763–1844) als Anhänger dieser Theorie zu nennen. Für seine Arbeit, in der er diese Vorstellung vertritt,⁶⁷ erhielt er den Preis der Kaiserlichen Akademie der Naturforscher, die im Jahre 1798 eine Preisfrage zur Aufklärung der Transportwege des Saftes stellte.⁶⁸

Cotta nahm einen Kreislauf des „Bildungssaftes“ an. Dieser „Saft“, der dem Aufbau der pflanzlichen Organe diene, werde in den Blättern aus dem „rohen Saft“, den die Pflanze aus der Erde aufnehme und im Holzteil transportiere, sowie aus (nicht näher bezeichneten) Stoffen, die aus der Luft aufgenommen würden, „unter dem Einflusse des Lichtes und der Wärme“ zubereitet.⁶⁹ Der „Bildungssaft“ steige in der Rinde zu den Wurzeln herab⁷⁰ und „kommt sodann abermals im Gewächse wieder aufwärts, und bewegt sich auch in horizontaler Richtung nach allen Seiten“⁷¹. Cotta folgert:

„Demnach fehlte diesem Saftgange, damit ihm der Name Kreislauf noch eigentlicher zukomme (wiewohl ich schon nach dem Bisherigen keinen schicklicheren zu wählen wüsste) nichts mehr, als daß der hinaufgedrungene Bildungssaft auch wieder von oben zurückgelange. So wenig sich hoffen lässt, diesen letzten Satz mit aller Evidenz darzuthun; so wenig ist doch auch die für denselben sprechende grosse Wahrscheinlichkeit zu verkennen.“⁷²

Ein wesentlicher Unterschied zu früheren Saftkreislaufvorstellungen, etwa Perroult's, besteht darin, daß für Cotta nur *eine* Art von Saft, nämlich der „Bildungssaft“, in einem Kreislauf bewegt wird, wohingegen der von den Wurzeln aufgenommene und in der Pflanze aufsteigende „rohe Saft“, aus dem der „Bildungssaft“ erst zubereitet wird, am Kreislauf nicht beteiligt ist. Frühere Vertreter

⁶⁶Bereits vor Aufstellung der eigentlichen Zellentheorie, zu einer Zeit, als die Zellen noch nicht als die einzigen echten Elementarorgane betrachtet worden waren, sprach Meyen den Zellen die größtmögliche Eigenständigkeit zu (Meyen, 1830a, S. 445; s. a. Ders., 1834, S. 17–18): „Wir halten jede Zelle für einen für sich bestehenden Organismus, und die ganze Pflanze ist aus vielen solchen kleinen Organismen zusammengesetzt.“

⁶⁷Cotta, 1806.

⁶⁸Die Preisfrage lautete: „In welchem der bekannten Haupttheile eines Gewächses, Rinde, Splint, Holz und Mark, steigt der Saft in den Gewächsen aufwärts? Geht er in der Rinde wieder abwärts nach der Wurzel zu und bis in dieselbe? Und wenn dieses ist, durch welche Wege gelangt er aus den innern Theilen in die Rinde?“ (Zitiert nach Cotta, 1806, Vorrede, S. 1.)

⁶⁹Cotta, 1806, S. 18, 28.

⁷⁰Cotta, 1806, S. 28, 46.

⁷¹Cotta, 1806, S. 46.

⁷²Cotta, 1806, S. 46.

eines geschlossenen Saftkreislaufs stellten sich dagegen vor, daß der zubereitete Saft oder ein Teil davon wieder absteigt und sich in der Wurzel mit dem rohen, aufsteigenden Saft vermennt, um gemeinsam mit ihm wieder aufzusteigen. Diese Beschränkung der Zirkulation auf den „Bildungssaft“ ist auch ein Charakteristikum des von Schultz angenommenen „Lebenssaft“-Kreislaufs, wie weiter unten noch ausgeführt werden wird.⁷³

Auch wenn „Ausnahmen“ wie Cotta nicht übergangen werden können, so läßt sich dennoch zusammenfassend feststellen, daß die Saftkreislauflehre zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der deutschen pflanzenanatomischen und -physiologischen Literatur fast keine Rolle mehr spielte. Selbst ein Vertreter der romantischen Naturphilosophie mit entsprechendem Hang zur Spekulation wie Dietrich G. Kieser (1779–1862)⁷⁴ hielt sich in dieser Hinsicht an die Position der bekannten Pflanzenanatomien und -physiologen.⁷⁵ Auch der bekannte Naturphilosoph Lorenz Oken (1779–1851) votierte gegen den Saftkreislauf, wenn auch aus anderen Prämissen heraus als Kieser.⁷⁶ Daß Kiesers und Okens ablehnende Haltung gegenüber der Saftkreislauflehre nicht etwa „zwangsläufig“ aus den Prämissen und

⁷³Siehe Kap. 9.3.

⁷⁴Zu Kiesers Leben und Werk s. Brednow, 1970.

⁷⁵Siehe Kieser, 1808, S. 55–56 (Hervorhebungen im Original): „Eben so wenig kann etwas Bestimmtes über die *Bewegung des Saftes* gesagt werden. Dass in der Pflanze kein thierischer Circulationsprocess vorhanden ist, wie Corti meint, ist hinlänglich dargethan. Wahrscheinlich ist die Bewegung nach allen Richtungen, folgend der verschiedenen Action der verschiedenen Pole der Pflanze.“

⁷⁶Okens Deutung der Saftbewegung (Oken, 1810, S. 105–106; Ders., 1831, S. 210–211; Ders., 1843, S. 219–220) beruht auf dem Prinzip der Polarität, einer der „Grundideen“ der romantischen Naturphilosophie (Hoppe, 1967, S. 380). Die Saftbewegung ist für Oken ein „galvanischer Process“, vermittelt durch den „Gegensatz des Athmungsprocesses und des Verdauungsprocesses“, denn „diese zwei Prozesse sind die Combination des Chemischen [des „Verdauungsprocesses“] mit dem Electricischen [dem „Athmungsprocess“], welche der Galvanismus ist“. Beide galvanischen Pole, Wurzel und Stamm, ziehen den Saft an und stoßen ihn ab. Der „Sauerstoffpol“ sei jedoch stärker, und so steige der Saft im Stamm auf, je stärker die Luftpolarität, desto schneller. Kommt die Luftpolarität zum Erliegen oder wird die Pflanze ihrer Blätter, der „Polarisierungsorgane“ beraubt, wie im Herbst, so übt die Wurzel eine stärkere Anziehung aus und der Saft fällt. Entsprechend diesen Mechanismen besteht für Oken die „Saftbewegung [...]“ bloß in einem Aufsteigen und Fallen ohne allen Kreislauf. Ein Kreislauf wäre nur dann möglich, wenn die Pflanze ein von den Elementen losgerissener Organismus wäre; da aber noch die Erde und die Luft mit zu ihrer Organisation gehören, so schwebt sie nothwendig zwischen beiden, und die Bewegungen können auch nur Schwebungen zwischen ihnen sein.“ Auch Nees von Esenbeck nimmt ein „reines Auf- und Absteigen in demselben Saftweg (der einfachen, freien, gestreckten Zelle oder Röhre)“ an (Nees von Esenbeck, 1820, Bd. 1, S. 443). Er spricht zwar in diesem Zusammenhang von einem „Kreislauf“ und vergleicht das „Auf- und Absteigen“ mit der Zirkulation in den Internodien der Charen; doch der gesamte Kontext sowie die Formulierung „in demselben Saftweg“ zeigt, daß er, was die höheren Pflanzen betrifft, keinen echten, „klassischen“ Kreislauf im Sinn hatte. Der Begriff „Kreislauf“ kann, wie wir dies schon öfters sahen, auch einfach nur „Bewegung“ bedeuten. Unter den „Saftwegen“ verstand Nees von Esenbeck – genauso wie Kieser (1815, S. 224) und später Voigt (1827, S. 349) und Oken (1831, S. 204; 1843, S. 214) – die „Interzellulargänge“ (Nees von Esenbeck, 1820, Bd. 1, S. 343, 435, 437).

Prinzipien deutscher romantischer Naturphilosophie folgte, zeigt die positive Haltung Hegels gegenüber der Schultzschen Lehre vom Kreislauf des Milchsafts, wie später noch dargelegt werden wird⁷⁷.

Nun stellt sich die Frage, ob die Saftkreislauflehre zu Beginn des 19. Jahrhunderts empirisch widerlegt worden war, ihre Ablehnung somit eine „notwendige“ Folge von Beobachtungen und experimentellen Befunden war. Nach Ansicht des Verfassers muß diese Frage verneint werden. Letztlich wurde die Saftkreislauflehre als unwahrscheinlich betrachtet bzw. schlichtweg ignoriert, da man inzwischen, wie dargelegt, andere Forschungsschwerpunkte besaß. Aus den postulierten lokalen physiologischen Austauschprozessen wie dem Safttransport von Zelle zu Zelle oder von Gefäß zu Zelle folgte aber nicht zwangsläufig die Nichtexistenz eines Saftkreislaufs. Überdies war aufgrund des mangelnden Kenntnisstandes der Zeit eine solche Kommunikation zwischen den Zellen alles andere als gesichert bzw. die Art der Verbindungen völlig unklar, wie z. B. Bernhardi selbst eingesteht.⁷⁸ Ferner waren die von Mustel gegen die Saftkreislauflehre angeführten Experimente, die sich, wie wir sahen, einer großen Beliebtheit erfreuten, auch nicht so eindeutig, wie sie auf den ersten Blick erschienen bzw. wie sie in den hier genannten Werken als Beweise gegen die Saftzirkulation vorgeführt wurden. *Wenn man wollte*, so konnte man, wie am Beispiel Cortis gezeigt wurde,⁷⁹ Mustels Beobachtungen durchaus mit einem Saftkreislauf vereinbaren.

9.3 Carl Heinrich Schultz (1798–1871) und der Kreislauf des „Lebenssaftes“

Durch die Arbeiten des Botanikers Carl Heinrich Schultz⁸⁰ (1798–1871) kam es Anfang der 20er Jahre des 19. Jahrhunderts zu einem erneuten Aufleben der Saftkreislauflehre. Sicherlich wäre es angesichts der soeben geschilderten Entwicklungen, die in der Pflanzenphysiologie und -anatomie in den ersten beiden Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts stattfanden, und auch angesichts der mangelnden Attraktivität dieser Theorie selbst für Vertreter der romantischen Naturphilosophie zu keinem solchen Wiedererstarken der Saftkreislauflehre gekommen,

⁷⁷Siehe Kap. 9.3.3.

⁷⁸Siehe oben das Zitat aus Bernhardi, 1803, S. 198: „Was für eine Verbindungsart aber zwischen den Gefäßen und Zellgewebe vorhanden ist, wissen wir nicht, und können daher auch sehr unsicher auf das Fliessen der Säfte aus dem einen in das andere schliessen.“

⁷⁹Siehe Kap. 7.1.

⁸⁰Schultz wurde 1825 a. o., 1833 o. Prof. der Medizin in Berlin. Seit 1848 nannte er sich Schultz-Schultzenstein, um sich von dem gleichnamigen, aus Zweibrücken stammenden Botaniker Karl Heinrich Schultz (1805–1867), nach seiner Heimatstadt „Bipontinus“ genannt, zu unterscheiden. Zu Schultz' Leben und einigen seiner wissenschaftlichen Theorien s. den Artikel in der ADB, Bd. 32, S. 723–725. Außer einem kurzen Beitrag von Scholz (1990, S. 368–369) scheint es bisher keinerlei neuere Forschungsarbeiten zu diesem oft unkonventionellen Botaniker zu geben.

wenn nicht ein völlig oder zumindest in seiner Art neuer Aspekt hinzugekommen wäre: die direkte mikroskopische Beobachtung einer, wenn man wollte, zirkulierenden Bewegung des durch seine gelbe Farbe sehr auffälligen Milchsafte des Schöllkrauts (*Chelidonium majus*). Auch gegenüber der Cortischen Entdeckung stellte dies etwas Neues dar, denn abgesehen davon, daß Cortis Entdeckung der Saftzirkulation in den Chara-Internodien z. T. wieder in Vergessenheit geriet,⁸¹ was erst recht für seine Konstatierung dieses Phänomens in den Zellen höherer Pflanzen galt, handelte es sich bei der von Schultz beobachteten Bewegung der „Kügelchen“ in den Milchröhren des Schöllkrauts und anderer milchsafführender Pflanzen um einen im Prinzip die gesamte Pflanze durchlaufenden Prozeß, was die Vorstellung eines echten Kreislaufs nahelegen konnte.

Schultz postulierte in mehreren, hauptsächlich zwischen 1822 und 1841 erschienenen Schriften einen Kreislauf des sog. „Lebenssaftes“, den er für ein Verarbeitungsprodukt des von der Wurzel aufgenommenen und in den „Spiralgefäßen“⁸² emporgeleiteten „rohen Nahrungssaftes“ (Wasser und darin gelöste Stoffe) und für die eigentliche Ernährungsgrundlage der Pflanzen hielt. In milchsafführenden Pflanzen, in denen er als erstes seine „Entdeckung“ machte, betrachtete er den je nach Pflanzenart verschieden gefärbten Milchsaff als „Lebenssaft“, während die nichtmilchsafführenden Pflanzen einen farblosen „Lebenssaft“ enthalten sollten. Aus dieser Entsprechung leitete Schultz einen allgemeinen, in allen Gefäßpflanzen stattfindenden Kreislauf des Lebenssaftes ab. Eine detaillierte Darstellung der Schultzschen pflanzenphysiologischen Vorstellungen findet sich in Kap. 9.3.1.

Obwohl sich Schultz' Vorstellung eines Kreislaufs des „Lebenssaftes“ in den Pflanzen formal mit früheren Vorstellungen eines Saftkreislaufs in Verbindung bringen läßt, ergeben sich durch Schultz' besonderen Ansatz wesentliche Unterschiede zu seinen Vorgängern. Schultz war durch die romantische Naturphilosophie beeinflusst, auch wenn er sich ihr gegenüber einen kritischen Standpunkt bewahrte, und vertrat einen ausgeprägten holistischen und vitalistischen Standpunkt. Daraus ergaben sich weitreichende Konsequenzen für seine Einstellung zur chemischen und physikalischen Pflanzenphysiologie.

Schultz verneinte strikt die Reduktion bzw. die Möglichkeit einer Reduktion der Lebenserscheinungen auf physikalisch-chemische bzw. generell mechanische Prozesse.⁸³ Jedes „Phänomen des individuellen organischen Lebens“ sei

⁸¹L. C. Treviranus berichtete 1810 (L. C. Treviranus, 1810, S. 132–134; s. a. Ders., 1811, S. 91–95) von seiner Entdeckung einer Rotationsbewegung in den Internodien der *Chara flexilis*, offenbar ohne von Cortis Publikation zu wissen. In der *Chara vulgaris* konnte er keine solche Bewegung beobachten.

⁸²Die Bezeichnung „Spiralgefäße“ steht hier wie bei vielen anderen Autoren nicht nur für die mit spiralförmigen Wandverdickungen versehenen Tracheen, sondern diente als Sammelausdruck für oft nicht weiter unterschiedene Elemente der Wasserleitung, d. h. für sämtliche Arten von Tracheen und Tracheiden.

⁸³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. X–XIII, XVIII, 17–18, 36–39, 91–92, 141–143, 500–501; vgl. Schultz, 1822b, S. 83–90.

vom Gebiet der Physik und Chemie ausgeschlossen.⁸⁴ Es gelte nicht, die chemischen Bestandteile eines Organismus zu untersuchen, sondern seine „organischen Bestandtheile“⁸⁵: „die Pflanzenchemie gehört nicht zur Pflanzenphysiologie“⁸⁶. Deutlich betont Schultz die Autonomie des Lebens gegenüber dem „allgemeinen Naturleben“, d. h. gegenüber den physikalischen und chemischen Prozessen der anorganischen Natur:

„Gestaltung aus innerer Macht ist also der allgemeinste Charakter des Organischen⁸⁷. Das Leben gestaltet sich selbst gegen den allgemeinen physikalischen Prozeß, und der Begriff dieser Eigenmächtigkeit und Selbstständigkeit ist es vorzüglich, welcher den individuellen Organismus von den Momenten des allgemeinen Naturlebens unterscheidet.“⁸⁸

Hinzu kommt, daß sich für Schultz das „allgemeine Naturleben“ und die organischen Körper nicht nur selbständig gegenüberstehen, sondern man müsse sie auch als „die größten gegenseitigen Feinde betrachten“⁸⁹. Die physiko-chemischen Prozesse, wie sie in der anorganischen Natur beobachtbar seien, stünden jedoch in den Organismen nicht einfach unter der Oberherrschaft des Lebens, wie dies einige Vitalisten annähmen, sondern die Stoffaufnahme durch die Organismen geschehe unter völligem Verlust der ursprünglichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der resorbierten Substanzen.⁹⁰ Erst nach dem Tod des Lebewesens nähmen sie wieder ihre ursprüngliche Natur an, was dann zu den entsprechenden Zersetzungs- und Auflösungsprozessen führe.

Generell lehnt Schultz „das rein äußere Auffassen der Natur durch die Sinne“ als „rohe Empirie“, die „den innern Zusammenhang der Erscheinungen“ vernachlässige, ab⁹¹ und beklagt auf polemische Weise die „empirischen Verwüstungen in der Wissenschaft“⁹². Entsprechend negativ ist auch seine Einstellung ge-

⁸⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 22.

⁸⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. X–XII, 91–92.

⁸⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 38; vgl. S. 141–142.

⁸⁷Zum Reich des Organischen zählt Schultz nicht nur Tiere und Pflanzen, sondern auch Kristalle; s. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 38–40, 58–60, 131–133.

⁸⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 128.

⁸⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. XVIII; s. a. S. 142; Schultz, 1822b, S. 83.

⁹⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 36–39. Schultz hält sich hier an A. v. Humboldts Definition des Lebens bzw. der „Lebenskraft“: „Diejenige innere Kraft, welche die Bande der chemischen Verwandtschaft auflöst, und die freie Verbindung der Elemente in den Körpern hindert, nennen wir Lebenskraft. Daher giebt es kein untrüglicheres Zeichen des Todes, als die Fäulniß, durch welche die Urstoffe in ihre vorigen Rechte eintreten, und sich nach chemischen Verwandtschaften ordnen. Unbelebte Körper können nicht in Fäulniß übergehen.“ (Humboldt, 1794, S. 9.)

⁹¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 15.

⁹²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. XII.

genüber dem chemischen und physikalischen Experiment, da es die „inneren, lebendigen Verhältnisse, gerade zerstört“.⁹³

Auf der anderen Seite konstatiert Schultz, daß eine rein geistige Betrachtung der Natur, eine „Konstruktion der Natur durch den Geist“,⁹⁴ in die Irre führe.⁹⁵ Die Naturwissenschaft sei weder rein empirisch noch rein spekulativ.⁹⁶ Trotz dieser verbalen Vorbehalte gegen die zeitgenössische Naturphilosophie und Ideenlehre offenbaren Schultz' Schriften starke Einflüsse Hegelscher und Schellingscher idealistischer Naturphilosophie.

Während sich Bonnet an der Verschiedenheit der Formen der Tiere und Pflanzen erfreut habe, ging es Schultz immer um die „innere Allgemeinheit und Einheit“.⁹⁷ Das „Bleibende und Gesetzmäßige“ wollte er auffinden, „was die höchste Veränderlichkeit und Flüchtigkeit der Naturerscheinungen ordnet und regiert“.⁹⁸ Implizit kontrastiert Schultz eine sozusagen „deutsche“ Betrachtungsweise der Natur mit dem „französischen Wissenschaftsstil“.⁹⁹

Schultz ist gemeinhin der Ansicht, daß sich durch die Betrachtung der Pflanzen nach äußeren Kriterien, also durch morphologische und anatomische Untersuchungen ihrer äußeren und inneren Gestalt, das eigentliche Wesen der Pflanzen nicht erfassen lasse. Die Pflanzenanatomie nach Art eines Malpighi und Grew habe eine „zersplitterte Mannigfaltigkeit im Innern der Pflanze“ vor Augen geführt, vor deren Deutung der Naturforscher kapitulieren müsse. Durch die Vielzahl der Interpretationsmöglichkeiten der durch die Pflanzenanatomie aufgezeigten Strukturen sei es zu einer bedauernswerten „Zwietracht“ und „Unruhe in der Wissenschaft“ gekommen.¹⁰⁰

Die gebräuchliche äußere Unterteilung einer Pflanze in Wurzel, Stamm bzw. Stengel und Blätter hält Schultz für verfehlt, da es sich bei diesen Pflanzenteilen um keine essentiellen, integralen Bestandteile der Pflanze handle. So stelle etwa die Wurzel keinen wesentlichen Teil der Pflanze dar, in dem Sinne, daß ohne die Wurzel die Pflanze nicht überleben könnte, denn der Fall der Stecklinge, die sich nachträglich bewurzeln, beweise das Gegenteil.¹⁰¹ Umgekehrt seien bekann-

⁹³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. XXX.

⁹⁴Vgl. z. B. Schellings Standpunkt einer „Ableitung aller Naturerscheinungen [...] aus einer absoluten Voraussetzung“ und somit einer „Konstruktion der Natur selbst, d. h. [...] [einer] Wissenschaft der Natur a priori“ (Schelling, 1927 [1799], S. 278).

⁹⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 15; vgl. ebd., S. 11–12.

⁹⁶Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 14–17.

⁹⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 83; vgl. S. 403–408.

⁹⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 14.

⁹⁹Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 231: „Es ist sonderbar, daß die meisten Franzosen immer in der Mannichfaltigkeit und Vielheit der Dinge ihr Wesen suchen. So machte es Bonnet bei seiner Vergleichung der Thiere und Pflanzen, und Duhamel giebt hier [bei seinen Ausführungen über die Blätter in der „Physique des Arbres“] wieder einen Beweis davon ab.“ Auch Hegel (1970 [1827 bzw. 1830], S. 34–35) trat einer Verherrlichung des „unendlichen Reichtum[s]“ und der „Mannigfaltigkeit der Formen“ entgegen.

¹⁰⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 403–404, 408.

¹⁰¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 177–178.

termaßen viele Wurzeln in der Lage, für sich allein zu überleben und später die gesamte Pflanze erneut aus sich hervorzubringen, wie dies etwa bei denjenigen perennierenden Pflanzen zu beobachten sei, die im Herbst alle oberirdischen Teile abwerfen.¹⁰² Im übrigen bestehe kein wesentlicher Unterschied zwischen Wurzel und Stamm, da umgekehrt eingepflanzte Bäume an ihren Wurzeln Zweige und an ihren Zweigen Wurzeln trieben.¹⁰³ Auch im anatomischen Aufbau entsprächen sich Wurzel und Stamm, da in beiden der Holzteil von der Rinde umgeben sei.¹⁰⁴ Schultz beruft sich u. a. auf Linné, der den Baumstamm als eine „über die Erde verlängerte Wurzel“ auffasse.¹⁰⁵ Doch bereits Christian Wolff kam aufgrund des berühmten Leeuwenhoekschen Experiments sowie eigener physiologischer Versuche zu dem Schluß, daß „Wurzeln und Stamm von einerley Art“ seien.¹⁰⁶ Überhaupt scheint Schultz von Christian Wolff einige Anregungen übernommen zu haben, ohne ihn jedoch namentlich zu erwähnen.

Da Schultz die Ähnlichkeiten in Struktur und Funktion der einzelnen Pflanzenteile als das Entscheidende betrachtet, wohingegen die rein äußere Mannigfaltigkeit letztlich unwesentlich sei, fordert er eine radikale Abkehr von den bisher gebräuchlichen morphologischen Einteilungskriterien:

„[...] der Begriff des Stengels, als eines in der Pflanzennatur begründeten allgemeinen Unterschiedes, [muß] ganz und gar wegfallen [...]. Der Baumstamm ist seiner ganzen Natur nach Wurzel, der Krautstengel nichts als ein zusammengesetzter Blattstiel,¹⁰⁷ der Schaft ist ein offener Blumen- und Fruchtstiel,¹⁰⁸ und gehört zur individuellen Pflanze gar nicht,¹⁰⁹ der Farnstamm und der Grashalm sind durchaus nichts, als verknotete Blätter und Wurzeln,¹¹⁰ und so bleibt an der äußern Pflanzengestalt nichts übrig als Wurzel und Knospe, oder Blatt. Wir müssen am Ende ganz einfach zu Theophrast zurückkehren, und sagen, die Pflanze besteht äußerlich aus Wurzel und Knospe, radix und surculus.“¹¹¹

¹⁰²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 176–177.

¹⁰³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 206–207. Siehe zu diesem auf Leeuwenhoek zurückgehenden Experiment Leeuwenhoek, *Coll. Letters*, Teil 7, S. 367–373.

¹⁰⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 208.

¹⁰⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 205; vgl. Linné, 1751, S. 38–39.

¹⁰⁶Siehe Wolff, 1723, S. 605–607; vgl. Ders., 1730, S. 654–658.

¹⁰⁷Schultz (1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 209–210) begründet dies mit dem analogen anatomischen Aufbau des Stengels der Krautpflanzen und der Blattstiele der Holzpflanzen.

¹⁰⁸Siehe Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 210–211.

¹⁰⁹Unter „individueller Pflanze“ versteht Schultz die Pflanze ohne die der geschlechtlichen Fortpflanzung dienenden Teile. Da er den Schaft, etwa der Zwiebelgewächse, als „Blumen-“ bzw. „Fruchtstiel“ betrachtet, ordnet er ihn der „geschlechtlichen Pflanzengestalt“ zu.

¹¹⁰Siehe Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 214–215.

¹¹¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 221.

In der „äußeren Gliederung der Pflanze“ lasse sich demnach „ihre wesentliche Differenzierung“ nicht finden.¹¹² Auch die Lehre von der Metamorphose, der Umwandlung der einzelnen Pflanzenteile ineinander, sei nicht in der Lage gewesen, ein einheitliches und bleibendes Gesetz des Pflanzenlebens zu konstituieren, da man sich eben auf die Gestalt konzentriert habe „und dadurch wieder außer Stand war, zu sagen, welches bleibende Gesetz diese Metamorphose im Zaume hält, damit nicht das ganze Pflanzenleben über die Grenze seiner Sphäre hinaus sich umgestalte, und aus der ewigen Veränderung seiner Existenz am Ende zu einer ganz anderen Natur übergehe.“¹¹³

Schultz spricht somit der Morphologie und insbesondere der auf ihr fußenden Metamorphosenlehre Goethes die Fähigkeit, die Gestaltungsprinzipien des „Pflanzenlebens“ zu ergründen, ab und verfolgt statt dessen einen physiologischen Ansatz¹¹⁴. So sieht er die „Gesetzmäßigkeit des Pflanzenlebens“ in einer „inneren Differenz“ begründet, und diese bestehe in einer Unterscheidung zwischen „Ernährungs-“ („Assimilations-“) und „Bildungssystem“:

„Das Pflanzenleben hat ein anderes Gesetz, als diese Verwandlung ihrer äußeren Theile in einander, und ich habe, ohne es gekannt zu haben, immer einen festen Glauben an eine bleibende innere Natur, bei aller Wandelbarkeit und Flüchtigkeit in der äußeren Entfaltung der Pflanze, gehabt.

Diese Gesetzmäßigkeit des Pflanzenlebens, ruht in seiner innern Trennung, in Ernährungs- und Bildungssystem, und die Abänderungen in den Verhältnissen beider, liegen gesetzmäßig den Modificationen zum Grunde, mit welchen die concrete Pflanze in die Erscheinung tritt.“¹¹⁵

Die Vereinigung aus Assimilations- und Bildungssystem macht für Schultz die „Totalität“ einer Pflanze aus. Alle Teile einer Pflanze, in denen diese beiden physiologischen Systeme zusammenblieben, seien überlebensfähig; sobald sie jedoch voneinander getrennt würden, erlösche das pflanzliche Leben.¹¹⁶ Im folgenden

¹¹²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 278–279.

¹¹³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 404.

¹¹⁴Hiermit ist nicht die physikalisch-chemische Pflanzenphysiologie eines Senebier oder De Saussure gemeint, denn wir haben bereits gesehen, daß Schultz die Möglichkeit einer Reduktion des „Pflanzenlebens“ auf physiko-chemische Prozesse ausschließt (s. o.). Schultz setzt vielmehr auf der Ebene ganzer physiologischer Systemeinheiten an.

¹¹⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 290.

¹¹⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 687–688 (vgl. S. 70–71, 98, 309–310): „Denn Theile des ganzen Pflanzenlebens sind nur die Momente des Assimilations- und Bildungssystems, und alle sogenannten äußeren Theile der Pflanze: Wurzel, Stengel, Blätter etc. sind nichts als unwesentliche Veränderungen der Formen, in welchen die Totalität zu Tage kömmt. Spricht man daher von der Individualität der Pflanzen [...] so gehört zu dieser nur die Theilung in Assimilations- und Bildungssystem: alles andere läßt sich, ohne die Totalität zu Grunde zu richten, zertheilen und von einander trennen, aber sobald die Theile der Totalität getrennt werden, hört das Leben auf.“ Schultz nennt hierfür Beispiele (Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 309): „So kann z[um]

werden Schultz' Vorstellungen zu Aufbau und Funktion des Assimilations- und Bildungssystems näher erläutert. Dabei wird der Saftkreislauf eine wesentliche Rolle spielen, da das „Bildungssystem“ auf ihm beruht.

9.3.1 Das „Assimilations“- , „Kreislauf“- und „Bildungssystem“ der höheren Pflanzen nach Schultz

9.3.1.1 Der Saftkreislauf als Grundlage des „Bildungssystems“

Schultz „entdeckte“ nach eigenem Bekunden im April 1821 den Kreislauf des „Lebens-“ bzw. Milchsafte im Schöllkraut.¹¹⁷ Es läßt sich recht gut rekonstruieren, was Schultz dazu gebracht hatte, überhaupt Untersuchungen am Milchsaft des Schöllkrautes vorzunehmen. Offenbar ist er über seine Untersuchungen der „Bewegungen des Blutes in sich und in den Haargefäßen der Thiere“ sowie der „Veränderungen [des Blutes] [...] in absichtlich erregten Entzündungen“ auf den Gedanken gekommen, „über den frischen gelben Saft der aus den verwundeten Theilen des Schöllkrautes fließt, mikroskopische und chemische Versuche anzustellen“.¹¹⁸ Es ist auch leicht nachvollziehbar, daß Schultz aufgrund der Ähnlichkeiten des Blutes und des Milchsafte (intensive Färbung, Hervorquellen nach Verletzungen, ähnliche Konsistenz, Gerinnung) auf den Gedanken gekommen sein könnte, den Milchsaft auf dieselbe Weise wie das Blut, über dessen „Lebensprozess“ er ebenfalls 1822 eine Arbeit¹¹⁹ publizierte, zu untersuchen.

Im übrigen hatten bereits C. Wolff¹²⁰, C. G. Rafn¹²¹ und G. R. Treviranus¹²² die Ähnlichkeit des Milchsafte mit dem Blut der Tiere hervorgehoben. G. R. Tre-

E[xempel] ein Stück Rinde ohne Holz, und ein Stück Holz ohne Rinde, unter keiner Bedingung fortleben, weil in dem einen die Assimilations-, in dem anderen die Bildungsorgane enthalten sind. Dagegen kann jeder Pflanzenzweig, in welchem sich Holz- und Rindensubstanz findet, unter günstigen Umständen fortwachsen, weil er die Totalität der Vegetation in sich enthält.“

¹¹⁷Siehe Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 503. In Schultz, 1822b, S. XIII, ist von Mai die Rede.

¹¹⁸Siehe Schultz, 1822a, S. 3.

¹¹⁹Schultz, 1822b.

¹²⁰Siehe Wolff, 1730, S. 621–626.

¹²¹Rafn (1798, S. 87–91) untersuchte die Milchsäfte verschiedener Euphorbienarten, des „morgenländischen Mohns“ (*Papaver orientale*) und des großen Schöllkrautes (*Chelidonium majus*) mikroskopisch und fand darin „Kugeln“ und in einigen Säften auch noch „Prismen“. Bezüglich des Milchsafte von *Chelidonium majus* schreibt er (ibid., S. 90): „Die Kugeln, welche dicht auf einander gepackt lagen, glichen bis zur Ueberraschung den Blutkugeln, dagegen zeigte sich keine Spur von Prismen, oder irgend etwas andern, außer den Kugeln.“ Da Rafn aber auch in „ungefärbten Feuchtigkeiten“ verschiedener Pflanzen „Kugeln“ vorfand, schloß er generell, nicht nur in bezug auf die Milchsäfte: „Der Pflanzensaft enthält sonach, wie das Blut der Thiere, eine organische Materie, woraus wahrscheinlich sowohl die festen Theile zum gewöhnlichen Wachsthum der Pflanze gebildet, als auch die verloren gegangenen wieder ersetzt werden“ (ibid., S. 91).

¹²²G. R. Treviranus, 1816, S. 156–158.

viranus bezeichnete den Milchsafte daher als „vegetabilischen Bildungssaft“.¹²³ Ferner beobachtete er eine Bewegung der „Kügelchen“ im ausgetretenen Milchsafte von *Rhus cotinus* (Perückenstrauch) und *Vinca major* und sah darin eine Entsprechung zu den Bewegungen der „Kügelchen“ im gerinnenden Blut.¹²⁴ Schultz vertritt zwar, wie sich noch zeigen wird,¹²⁵ ähnliche Ansichten, was die Analogie zwischen Blut und Milchsafte und insbesondere ihre „inneren Bewegungen“ betrifft, so daß die Vermutung naheliegt, daß er durch G. R. Treviranus' Ausführungen angeregt wurde, doch läßt sich dies nicht mit Bestimmtheit nachweisen.

Desgleichen ist unklar, inwieweit Schultz bereits 1821 oder früher über die Arbeiten Perraults und anderer Vertreter eines Saftkreislaufs Bescheid wußte und daraus Anregungen erhielt. Jedenfalls fehlt in Schultz' erster Abhandlung über den Saftkreislauf¹²⁶ jegliche Auseinandersetzung mit oder Bezugnahme auf Schriften anderer Autoren zur Saftkreislauftheorie. Dagegen distanziert er sich 1823 deutlich von E. Darwins Vorstellung eines Saftkreislaufs¹²⁷, der man ansehe, „daß der Urheber ein Dichter gewesen ist.“¹²⁸ E. Darwins Ausführungen seien „Hirngespinnste“ und von „einer vorgefaßten Meinung von der Analogie der Pflanzen mit den höhern Thieren“ geprägt.¹²⁹ Im übrigen sei es gar nicht nötig, den Pflanzen ein so kompliziertes Kreislaufsystem zuzusprechen, da die meisten niederen Tiere ebenfalls kein solches Kreislaufsystem besäßen.¹³⁰ Schultz selbst ging es darum, gerade nicht die Übereinstimmungen, sondern die wesentlichen Unterschiede zwischen dem „centralen“ Kreislaufsystem der Tiere und dem „peripheren“ der Pflanzen aufzuzeigen, wie weiter unten noch näher ausgeführt werden wird. In diesem Punkt distanzierte er sich von seinen „Vorgängern“.¹³¹

¹²³Auch für Christian Wolff stellt der Milchsafte die Ernährungsgrundlage der Pflanzen dar (s. Wolff, 1730, S. 623–625). Wegen seiner auffälligen Farbe und seiner eigentümlichen Konsistenz lag es natürlich schon immer nahe, dem Milchsafte eine besondere Bedeutung zuzuschreiben. Bereits Mariotte (vgl. Kap. 2.2.) bezeichnete den Milchsafte gegenüber dem sonst in den Pflanzen vorhandenen „suc aqueux“ als „suc plus parfait pour nourrir ensemble toute la plante“ (Arch. Acad. Sci., Reg. Proc.-verb., Bd. IV, f. 82r). Desgleichen rechnet Malpighi den Milchsafte zu den „eigentümlichen Säften“ („succu peculiares“), die die eigentliche Ernährungsgrundlage darstellen sollen (Malpighi, 1675, S. 17; Malpighi, 1698, S. 77; vgl. oben, Kap. 2.4, S. 24).

¹²⁴G. R. Treviranus, 1816, S. 156–157.

¹²⁵Siehe unten, S. 187–188.

¹²⁶Schultz, 1822a.

¹²⁷Siehe Kap. 8.3.

¹²⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 65.

¹²⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 66.

¹³⁰Ibid.

¹³¹Siehe Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 468–469, 503–504. Nebenbei sei hier bemerkt, daß Schultz über die Chronologie der Theorien zum Saftkreislauf falsch informiert war, indem er Major und Perrault nach Malpighi und Grew einordnet (1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 504–505). Seine Behauptung, Malpighi habe einen (echten) Saftkreislauf angenommen, stammt wahrscheinlich aus Duhamel du Monceaux „Physique des Arbres“. Wie oben ausgeführt (s. Kap. 2.4), läßt sich eine solche Auffassung in Malpighis Werken nicht nachweisen, und auch Schultz nennt keine Quelle. Was Grews angebliche Annahme „einer dem thierischen Kreislauf

Was auch immer Schultz von den Werken früherer Vertreter der Saftkreislauftheorie zur Zeit seiner ersten Untersuchungen gewußt haben mag, worüber sich letztlich nur spekulieren läßt, steht doch fest, daß er durch die mikroskopische Untersuchung des Milchsafte und dessen (z. T. allerdings nur scheinbarer¹³²) Bewegung einen völlig neuen Forschungsansatz unternahm, der an den Vorschlag Hales' erinnert,¹³³ man müsse den Saft direkt durch „ocular inspection“ beobachten, um die Frage des Saftkreislaufs überzeugend zu klären.

Schultz begann seine mikroskopischen Untersuchungen am Milchsafte von *Cheledonium majus*. Die Beobachtung, daß „aus den abgeschnittenen Stengeln des Krauts [d. h. des Schöllkrauts] sowohl am untern als am obern Ende der gelbe Saft, in gleicher Masse hervorquoll“, veranlaßte ihn zu der Vermutung, „dass sich vielleicht in abgesonderten Röhren der Saft der Pflanze in aufwärts und abwärts steigender Richtung bewegen möchte.“ Dieses Detail wird hier deshalb wiedergegeben, da es ein Indiz darstellt, daß Schultz wahrscheinlich bereits mit der Erwartung, es müsse regelmäßige ab- und aufsteigende Milchsaftebewegungen geben, an seine mikroskopischen Untersuchungen herantrat.

Schultz beobachtete fast überall im Schöllkraut, d. h. in den Laub-, Kelch-, Blumen- und Staubblättern, in den Schotenvalveln und -rippen, im Stengel und in den Wurzeln, eine lebhafte Strömung des Milchsafte in entsprechenden Gefäßen, deren Lage zu den Spiralgefäßen er grob beschreibt.¹³⁴ Bis auf die Staubblätter ließen sich in allen diesen Organen, besonders deutlich im Stengel, auf- und absteigende Ströme in voneinander getrennten Gefäßen beobachten. Darüber hinaus stellte Schultz in den Kelchblättern und Schotenvalveln Verbindungen und

ähnlichen Saftbewegung“ betrifft, beruft sich Schultz (1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 487) auf die lateinische Übersetzung der „Anatomy of Vegetables begun“ (Grew, 1672) in den „Miscellanea curiosa“ der Leopoldina (Grew, 1678). Nun dachte Grew, wie sich oben zeigte (Kap. 2.3), nur an einen Saftkreislauf in der Wurzel. Ein Teil der entsprechenden Ausführungen, aus denen dies deutlich hervorgeht, ist jedoch erst in der 2. Auflage der „Anatomy of Vegetables begun“ enthalten, die 1682 unter dem Titel „The Anatomy of Plants, begun“ in Grews „The Anatomy of Plants“ (Grew, 1682, Teil 2, S. 1–49, hier S. 17, §30) erschien. In der ersten Auflage von Grews „Anatomy of Vegetables begun“ und somit auch in der lateinischen Übersetzung fehlen diese Sätze noch. Es ist daher verzeihlich, daß Schultz Grews Ausführungen irrtümlich auf die Gesamtpflanze übertrug.

¹³²Vom heutigen Standpunkt aus betrachtet beruhten einige der von Schultz am Milchsafte beobachteten Strömungserscheinungen und „Wechselwirkungen“ der „Milchsaftekügelchen“ untereinander und mit den Gefäßwänden offenbar auf optischer Täuschung – ein Vorwurf, den bereits seine zeitgenössischen Kritiker erhoben (s. u.).

¹³³Siehe Kap. 3.4.2.

¹³⁴Schultz, 1822a, S. 5–20. Anfangs war Schultz bemüht, getreu seinem Prinzip, Lebewesen möglichst unter natürlichen Bedingungen zu studieren, die untersuchten Pflanzenorgane in ihrem Verbund mit der Gesamtpflanze zu belassen, doch stellte er bald fest, daß dies unnötig war und sich z. B. auch in abgelösten Blättern dieselben Phänomene zeigten (ibid., S. 7–8). Den Stengel untersuchte er an Hand von zurechtgeschnittenen Längsschichten, die Lagen unverletzter Milchrohre enthielten. Sämtliche Blattarten untersuchte er als Ganzes, ebenfalls die feinen Wurzelfasern.

Übergänge zwischen den gegensätzlichen Saftströmen fest.¹³⁵ So habe er in den Kelchblättern bemerkt, daß „ein Theil des [aufsteigenden] Saftes in den absteigenden Strom, wie es scheint durch das Zellgewebe hinüberrollt und nun mit einem Male mit diesem den Rückweg antritt.“¹³⁶ Ferner würden sich andere „zuführende Gefäße [...] in ziemlich grossen Bögen, ähnlich den Arterien in den Schwimmhäuten der Frösche,“ umbiegen und auf diese Weise in zurückführende übergehen.¹³⁷ Diese Beschreibungen Schultz' klingen nach netzartig miteinander anastomosierenden Milchröhren, wie sie in einigen milchsaftführenden Pflanzen (z. B. den Gattungen *Taraxacum*, *Papaver*, *Hevea*, *Lactuca*) vorkommen, allerdings nicht in Schultz' Untersuchungsobjekt *Chelidonium majus*.¹³⁸

Schultz behauptet, daß der Milchsaft im Schöllkraut „in einem abgeschlossenen Systeme“, d. h. in einem geschlossenen Kreislauf, bewegt werde.¹³⁹ An den „Extremen des Stammes“ befänden sich „mannichfache Anastomosen“ der ansonsten im Stengel gesondert verlaufenden Gefäße, „so dass es scheint als ob die Hauptgemeinschaft oder der Vereinigungspunkt des ganzen Saftsystems in den Extremen (sicher in den Blättern welche die Lungen der Pflanzen darstellen) zu suchen sei“.¹⁴⁰

Ähnliche Saftbewegungen wie in *Chelidonium majus* stellte Schultz auch noch an weiteren Pflanzen fest.¹⁴¹ Jedoch konnte er, wie er selbst bemerkt,¹⁴² eine Saftbewegung bzw. -zirkulation immer nur in milchsaftführenden Pflanzen (darunter *Papaver somniferum*, *Lactuca sativa*, verschiedene *Euphorbia*-, *Aloe*-, *Agave*- und *Ficus*-Arten) mehr oder weniger deutlich beobachten. In *Chelidonium laciniatum*¹⁴³ seien die Milchsaftbewegungen genauso gut wie in *Chelidonium majus* zu sehen gewesen.¹⁴⁴

Ein Jahr später baute Schultz seine Vorstellungen vom Saftkreislauf in seinem umfangreichen Werk über die „Natur der lebendigen Pflanze“, das in zwei Teilen 1823 und 1828 erschien, weiter aus. Eine der wesentlichen Änderungen gegenüber seiner ursprünglichen Auffassung besteht darin, daß er den Milchsaft nicht mehr zu den „eigenthümlichen Säften“ zählt, wie er dies in seiner ersten Schrift getan hatte,¹⁴⁵ sondern diesen gegenüber als „Lebenssaft“ hervorhebt. Die „eigenthümlichen Säfte“ (z. B. Öle, Harze)¹⁴⁶ seien nichts als „todte

¹³⁵Schultz, 1822a, S. 10, 17.

¹³⁶Schultz, 1822a, S. 10.

¹³⁷Ibid.

¹³⁸Siehe Strasburger, 1983, S. 135.

¹³⁹Schultz, 1822a, S. 21.

¹⁴⁰Schultz, 1822a, S. 21; vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 558.

¹⁴¹Schultz, 1822a, S. 23–30.

¹⁴²Schultz, 1822a, S. 27, 29.

¹⁴³Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine Varietät von *Chelidonium majus*.

¹⁴⁴Schultz, 1822a, S. 23.

¹⁴⁵Vgl. Schultz, 1822a, S. 54, 59, 64.

¹⁴⁶Der Begriff der in den „vasa propria“ enthaltenen „succii proprii“ stammt von Malpighi (s. o., S. 24).

Absätze“ (Absonderungen), während der „Lebenssaft“ die Ernährungs- und Bildungsgrundlage für die Pflanze darstelle.¹⁴⁷

Die Gefäße, in denen sich der „Lebenssaft“ („latex“) bewege, die „Lebensgefäße“ („vasa laticis“), befinden sich nach Schultz im „Rindenkörper“ (gemeint ist [auch] der Bast) der Wurzeln und Stämme der Bäume und Sträucher bzw. vergesellschaftet mit dem Holzteil der Gefäßbündel in den Krautpflanzen und Blättern. Seiner Beschreibung nach zu urteilen handelt es sich bei diesen „Lebensgefäßen“ nicht nur um Milchröhren, sondern auch die nach heutiger Nomenklatur als Siebzellen und Siebröhren bezeichneten Leitungselemente des primären bzw. sekundären Phloems.¹⁴⁸ Je nach Verteilung des Holzes und der „Rindensubstanz“ in den einzelnen Pflanzenteilen, ihrer Lage zueinander sowie je nach Verlauf der „Lebensgefäße“ unterscheidet Schultz drei verschiedene Formen des Kreislaufs des „Lebenssaftes“: im „Rindenkörper“, „in den Gefäßbündeln der Kraut- und Blattstiele“ und in den Blättern.¹⁴⁹ Auf diese Einzelheiten¹⁵⁰ braucht hier jedoch nicht näher eingegangen zu werden.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem pflanzlichen Saftkreislauf und dem tierischen Blutkreislauf bestehe darin, daß in den Pflanzen kein zentrales Kreislauforgan vergleichbar dem Herzen vorhanden sei.¹⁵¹ Hierin spiegele sich der generelle Unterschied zwischen tierischem und pflanzlichem Leben wider. Die Tiere führen nach Schultz ein „centrales“, die Pflanzen ein „peripherisches Leben“.¹⁵² Alle höheren Tiere besäßen Zentralorgane, und selbst in den niederen Tieren, in denen „Ernährungs- und Bildungssystem“ nicht durch getrennte Organe repräsentiert seien, „versinken diese Systeme [...] in eine centrale thierische Einheit“, „ein allgemeines Centrum, [...] [worin] sich Magen und Herz [...] vereinigen“.¹⁵³ Dagegen verfügten die Pflanzen, egal wie hoch sie organisiert seien, niemals über irgendeine Form von zentraler Organisation. Zwar konzentrierten sich in den Pflanzen die „Lebensgefäße“ in einzelnen Bereichen, etwa dem „Rindenkörper“, den Schultz daher als „Heerd“ des pflanzlichen Kreislaufsystems bezeichnet, doch handele es sich selbst in diesem Falle um kein *zentrales Organ*, da „die einzelnen Theile des Systems schon vollkommen abgesondert nebeneinander liegen, und keinesweges eine innerliche centrale Vereinigung und Durchdringung darstellen“.¹⁵⁴ Die größte Übereinstimmung zwischen dem pflanzlichen Saftkreislauf und dem tierischen Blutkreislauf besteht für Schultz darin, daß sich der

¹⁴⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 530–531; s. a. S. 506–507, 538.

¹⁴⁸Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 516 (noch undeutlich); Schultz, 1839, S. 20–35; Schultz, 1841, S. 240–254.

¹⁴⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 569–570.

¹⁵⁰Siehe Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 570–593.

¹⁵¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 598.

¹⁵²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 96–104, 132–133.

¹⁵³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 103.

¹⁵⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 570–571.

„Lebenssaft“ überall in der Pflanze auf dieselbe Art bewege, wie das Blut in den „Haargefäßen“ (Kapillaren) der Tiere:

„Das Blut bewegt sich in den Haargefäßen der Thiere durch innere Bestimmungen, und darum kann man einen thierischen Theil abschneiden, und die Bewegung hört nicht gleich auf.¹⁵⁵ So bewegt sich der Lebenssaft der Pflanze überall, und man kann den Kreislauf des Lebensaftes, z. E. in einer Schotenvalvel oder einem Kelchblatt vom Schöllkraute, von der Bewegung des Blutes in den Haargefäßen, z. E. des Mesenteriums¹⁵⁶ einer Maus, durchaus in keinem wesentlichen Punkte unterscheiden.“

Die „periphere“ Organisationsstruktur der Pflanzen bringe es mit sich, daß der Kreislauf des „Lebensaftes“ „sich nach außen in allerhand Productionen [verliere], ohne in sich selbst zurückzukehren, und [...] in allen seinen Theilen ein Abbild der Totalität“ sei.¹⁵⁷ Aus dieser Eigenschaft, daß sich in allen Pflanzenteilen ein Abbild des gesamten Kreislaufs wiederfindet, ergibt sich, daß die Pflanze nicht nur *einen* Lebensaftkreislauf besitzt, sondern letztlich alle Organe und Teile einer Pflanze, z. B. jedes Blatt, für sich über einen eigenen Kreislauf verfügen. Zahlreiche Äußerungen Schultz' gehen in diese Richtung, und in späteren Werken zieht er selbst explizit diese Folgerung.¹⁵⁸ Dies ändert jedoch nichts daran, daß letztlich alle diese Kreisläufe miteinander zusammenhängen,¹⁵⁹ da sie ja gemeinsam das „Bildungssystem“ darstellen und der „Lebenssaft“ über die gesamte Pflanze verteilt werden muß.

In seinem ersten Werk über den Saftkreislauf (1822a) zog Schultz noch die Möglichkeit in Betracht, daß die milchsafführenden Pflanzen, in denen allein von allen untersuchten Pflanzen Saftbewegungen feststellbar waren (s. o.), durch die besondere Beschaffenheit ihres Milchsaffs eine höhere Organisation als die übrigen Pflanzen aufweisen.¹⁶⁰ Schultz dachte wohl zu diesem Zeitpunkt noch an die Möglichkeit, daß der Saftkreislauf nur in den milchsafführenden Pflanzen vorkomme. Obgleich sich an der reinen Beobachtungslage nichts Wesentliches geändert hatte, glaubte Schultz ein Jahr später mit dem Argument, die übrigen höheren Pflanzen besäßen einen farblosen „Lebenssaft“,¹⁶¹ dessen Bewe-

¹⁵⁵Vgl. Schultz, 1822b, S. 57–72.

¹⁵⁶Orig.: „Meserteriums“.

¹⁵⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 101; s. a. S. 596–597.

¹⁵⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 2, 1828, S. 486–488; Ders., 1828b, S. 36–37; Ders., 1841, S. 327–332.

¹⁵⁹Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 596; Ders., 1828b, S. 38–39.

¹⁶⁰Schultz, 1822a, S. 29–30.

¹⁶¹Zu Beispielen von Pflanzen mit farblosem „Lebenssaft“ s. Schultz, 1823, S. 531–533. Auch wenn die Milchsäfte vieler Pflanzen auffällig gefärbt sind, so betrachtet Schultz doch nicht alle gefärbten Säfte als „Lebenssäfte“. So kämen „in *Beta rubra*, und besonders in vielen Blumen, gefärbte Säfte im Zellengewebe vor, während der Lebenssaft eine mattweiße Farbe“ habe (Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 532).

gungen sich eben nicht beobachten ließen, einen Kreislauf des „Lebensaftes“ in sämtlichen „Holzpflanzen“ (Gefäßpflanzen)¹⁶² annehmen zu können.¹⁶³

9.3.1.2 Das „Assimilationssystem“

Das pflanzliche Leben basiert für Schultz nicht nur auf dem „Bildungssystem“, das durch den Kreislauf des „Lebensaftes“ bewirkt werde, sondern auch auf dem „Assimilationssystem“ oder „Ernährungssystem“. Das „Assimilationssystem“ diene der „Aneignung der Nahrung und deren Ueberlieferung in das Kreislaufssystem“.¹⁶⁴

Die Nahrungsaufnahme der Pflanzen betreffend referiert Schultz¹⁶⁵ zunächst die Ansichten Grews¹⁶⁶, Malpighis und Duhamels¹⁶⁷, wonach in der Erde unter Einwirkung des Wassers, der Sonnenstrahlen und anderer Agentien physiko-chemische Prozesse ablaufen, die die dort enthaltenen Nährstoffe für die Aufnahme durch die Pflanzen zubereiteten bzw. freisetzen. Für Schultz findet die erste Zubereitung der Nahrung aber nicht allein im Boden statt, sondern unter Mitwirkung der Pflanzen, indem diese über ihre Wurzelrinde bestimmte Sekrete abgeben,¹⁶⁸ die die Nährstoffe im Boden (vor)verdauen („digeriren“).¹⁶⁹ Daher sei der „Einsaugungsakt der Pflanzennahrung [...] gewiß ursprünglich schon ein lebendiges Verhältniß der physikalisch getödteten Stoffe¹⁷⁰ zur Pflanze“ und geschehe „auf dieselbe Weise, wie die Einsaugung des Milchsafte¹⁷¹ der Thiere“.¹⁷² Wie

¹⁶²Zu den „Holzpflanzen“ rechnet Schultz nicht nur Bäume und Sträucher, sondern auch Kräuter, Stauden und Farne. Entscheidendes Kriterium für diese Zuordnung ist ihm das Vorhandensein eines getrennten „Assimilations- und Bildungssystems“ mit entsprechenden Gefäßen (Spiralgefäße im Falle des Assimilationssystems, „Lebensgefäße“ im Falle des Bildungssystems). Schultz' „Holzpflanzen“ entsprechen demnach nach heutiger Terminologie den „Gefäßpflanzen“. Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 310–316.

¹⁶³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 598–600.

¹⁶⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 409.

¹⁶⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 410–411.

¹⁶⁶Vgl. Grew, 1673, S. 103–106; Ders., 1682, Teil 2, S. 81–82, §8–14.

¹⁶⁷Vgl. Duhamel du Monceau, 1758, Bd. II, S. 189–191.

¹⁶⁸Schultz macht sich hier die Beobachtungen Brugmanns' über Absonderungen der Wurzeln zunutze (s. hierzu Coulon, 1789, S. 77–79).

¹⁶⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 412–414, 481–482, 684; s. a. Schultz, 1828b, S. 27. Ähnliche Vorstellungen finden sich bei J. J. P. Moldenhawer (1812, S. 319–320), der annahm, daß die Wurzelhärcchen sowie die „zellige Hülle der Wurzelfasern“ eine Flüssigkeit ausschwitzen, „welche, wenigstens zum Theil, als ein Auflösungsmittel des chemischen Processes benutzt wird, durch welchen die nährenden Bestandtheile des Bodens zur Aufnahme in die Wurzel vorbereitet und der Natur jeder Pflanze assimilirt werden. Es wäre der Speichel des Thierreiches.“

¹⁷⁰Es sei hier daran erinnert, daß sich für Schultz Organisches und Anorganisches als „Feinde“ gegenüberstehen (s. o.) und das Leben die anorganischen Eigenschaften der Stoffe „tödtet“.

¹⁷¹Mit „Milchsaft“ ist die Lymphe aus dem Darmtrakt gemeint, die als „Chylus“ bezeichnet wird. Nach fettreichen Mahlzeiten enthält sie Fettkörnchen, die ihr ein milchigtrübes Aussehen verleihen. „Einsaugung des Milchsafte“ bedeutet den Übertritt des Chylus in die entsprechenden Lymphgefäße, die Chylusgefäße.

¹⁷²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 414.

diese „Einsaugung“ im einzelnen ablaufen soll, erfährt der Leser nicht. Dies ist auch nicht verwunderlich, da Schultz entsprechend seinen Prinzipien eine physikochemische Erklärung des „Einsaugungsaktes“ als widersinnig erachtet hätte. Statt dessen rekurriert er wie gewohnt auf die inneren Verhältnisse der Pflanzen und die besonderen Eigenschaften des Lebendigen, indem er behauptet, „daß sich die Pflanze durch die Absonderungen der Theile, vermittelt welcher sie ihre Nahrung einsaugt, sogleich in eine *lebendige Spannung* und in ein *inneres Wechselverhältniß* mit den Nahrungsstoffen setzt [...] und [...] eine *lebendige Anziehung* dieser durch die Sekrete digerirten Nahrungsstoffe statt findet“.¹⁷³

Die von den Wurzeln aufgesogenen Nährstoffe steigen nach Schultz als „Holzsaft“ in den (verholzten) Spiralgefäßen im Holzteil der Pflanze auf.¹⁷⁴ Als „Holzsaft“ („liquor xylinus“) definiert Schultz den „aus dem verwundeten Holze ausfließenden Saft“.¹⁷⁵ Damit ist nicht nur der im Frühjahr aus einigen Bäumen austretende „Blutungssaft“ gemeint, sondern generell der zu jeder Jahreszeit in den Spiralgefäßen enthaltene Saft. Schultz schloß sich der zu seiner Zeit gängigen Meinung einer „Metamorphose der Spiralgefäße in die großen Holzhöhlen“ (gemeint sind die weitulmigen Tracheen) *nicht* an,¹⁷⁶ sondern behauptete eine fortschreitende Verholzung der Spiralgefäße bis zum Zustand der Malpighischen „fistulae ligneae“.¹⁷⁷ Schultz’ „verholzte Spiralgefäße“ entsprechen demnach den nach heutiger Terminologie als „Holzfasern“ bezeichneten Elementen. Die „Treppengänge“ (heute als „Treppentracheiden“ bzw. „Leitergefäße“ bezeichnete Leitungselemente)¹⁷⁸ stellen für Schultz gewissermaßen eine Übergangsstufe in diesem Verholzungsprozeß dar.¹⁷⁹

Erwartungsgemäß lehnt Schultz alle Versuche, den Aufstieg des Holzsafts in den Pflanzen unter Zugrundelegung rein physikalisch-mechanistischer Prinzipien zu erklären, ab.¹⁸⁰ Hales’ und Senebiers Vorstellungen (s. o.) vom Saftaufstieg sowie die Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße werden von Schultz in dieser Frage völlig ignoriert. Äußere Einflüsse, wie z. B. die Wärme, scheiden für Schultz als unmittelbare Ursachen des Aufstiegs des Holzsafts aus, vielmehr bringe die Pflanze auch diese Erscheinung „durch innere Bestimmungen hervor“.¹⁸¹ Während Schultz 1822 der „Capillaraction“, d. h. der kapillaren Anziehung durch

¹⁷³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 493 (Hervorhebungen nicht im Original).

¹⁷⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 415–488.

¹⁷⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 464.

¹⁷⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 433, 446–488. Das Innere der „Holzhöhlen“ besteht für Schultz aus Zellen (1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 455–456; s. a. S. 475–476). Offenbar wurde er durch die Beobachtung von Thyllen zu dieser Interpretation veranlaßt (ibid., S. 455–456). Da die „Holzhöhlen“ mit Zellen angefüllt seien, betrachtet er sie nicht als Gefäße (ibid.).

¹⁷⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 429–433.

¹⁷⁸Vgl. Strasburger, 1983, S. 127.

¹⁷⁹Vgl. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 425–426.

¹⁸⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 488–494.

¹⁸¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 490–492.

die Spiralgefäße, noch eine unterstützende Rolle beim Saftaufstieg zusprach,¹⁸² lehnt er dies ein Jahr später kategorisch ab.¹⁸³

Der Holzsaft sei noch unvollkommen, ohne „innere Gestaltung zu Kügelchen“ und vermische sich im Gegensatz zum „Lebenssaft“ leicht mit Wasser.¹⁸⁴ Die Assimilation des Holzsaftes erfolge in den „obersten Gliedern der Spiralgefäße, namentlich der Blätter und blattartigen Ausbreitungen“. Dort erlange der Holzsaft unter Einwirkung der Luft „eine höhere Organisation und Kügelchenbildung, wie sie der Lebenssaft hat“.¹⁸⁵ Ein normalerweise intensiv gefärbter Lebenssaft wie etwa der des Schöllkrauts sei in diesem Stadium der Assimilation allerdings noch farblos.¹⁸⁶ Der Übergang des Holzsaftes aus den Spiralgefäßen in die benachbarten Lebensgefäße erfolge durch „sehr deutliche Wechselwirkung“ zwischen den Teilen beider Säfte und der Gefäßwandungen nach Art des Übertritts des Safts in der *Chara*¹⁸⁷ von einem Internodium in das nächste.¹⁸⁸ Der Übergang finde in den Blättern, „ferner in den Blumen- und Fruchtheilen“ statt.¹⁸⁹ Aus dem Holz der Stämme und den „Holzbündeln“ (Xylemanteil der Leitbündel) gehe dagegen kein Holzsaft in den Kreislauf des Lebenssaftes über.¹⁹⁰ Nach dem Eintritt des Holzsaftes in die Lebensgefäße werde er, „wie der Chylus dem Blute, dem Lebenssaft völlig gleich, sowohl in seiner inneren Gestaltung und Bewegung, als in seiner ganzen übrigen Natur“.¹⁹¹

9.3.1.3 Das „Bildungssystem“

Der dritte konstituierende Faktor des pflanzlichen Lebens ist für Schultz das sog. „Bildungssystem“, dem der Kreislauf des „Lebenssaftes“ zugrunde liegt. Das Bildungssystem umfaßt die Produktion neuer Pflanzensubstanz, also das Wachstum der Pflanzen, sowie die Hervorbringung von Sekreten.¹⁹²

Die Teile des „Lebenssaftes“ seien „in einer lebendigen gegenseitigen Wechselthätigkeit [...] begriffen“.¹⁹³ So finde eine dauernde Vereinigung der Lebenssaftteilchen mit- und Trennung voneinander statt. Bei diesen Wechselwirkungen handele es sich aber um keine reine Abstoßung und Anziehung, sondern um „eine wirkliche Durchdringung und Vermischung der Substanz zweier Safttheile, so daß

¹⁸²Schultz, 1822a, S. 50–53.

¹⁸³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 490.

¹⁸⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 466–467.

¹⁸⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 562–563; s. a. S. 499; vgl. Schultz, 1822a, S. 59–60.

¹⁸⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 562–563.

¹⁸⁷Siehe hierzu Kap. 9.3.2.

¹⁸⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 562–564. Ein Nachweis dieses angeblich beobachteten Übergangs mit Hilfe von Injektionsexperimenten mit farbigen Flüssigkeiten ist Schultz nicht gelungen (s. *ibid.*, S. 484, 563).

¹⁸⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 564.

¹⁹⁰*Ibid.*; zu einer Erklärung hierfür s. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 568–569, 588.

¹⁹¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 569.

¹⁹²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 615.

¹⁹³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 534; s. a. Schultz, 1822a, S. 30–33, 49–50.

im Fall die einzelnen einen verschiedenen Inhalt haben, dieser sich gleichmäßig unter beide vertheilen muß, sobald sie sich voneinander trennen“.¹⁹⁴ Diese „innere Bewegung“ des Lebenssaftes entspreche der des Blutes.¹⁹⁵ Schultz stellte an Hand einer „Lebenssaftprobe“ aus *Asclepias syriaca* (Seidenpflanze, Staudengummibaum) experimentell fest, daß weder Elektrizität noch die „galvanische Wirkung“, noch starke Erhitzung einen Einfluß auf die „innere Bewegung“ des Lebenssaftes ausübten.¹⁹⁶

Doch es fänden nicht nur Wechselwirkungen zwischen den Saftteilchen untereinander, sondern auch eine „lebendige Wechselthätigkeit“ zwischen dem Saft und den Gefäßen statt.¹⁹⁷ Diese Wechselwirkungen zwischen den Saftteilchen und den Gefäßwänden wollte Schultz auch mikroskopisch beobachtet haben.¹⁹⁸ In ihnen sieht er die Ursache der Bewegung des Lebenssaftes, wohingegen er nach gewohntem Muster äußere Ursachen für die Lebenssaftbewegung ablehnt. Van Marums Elektrisierungsversuche zum Nachweis einer Reizbarkeit und Kontraktilität der Pflanzengefäße¹⁹⁹ hält er für nicht aussagekräftig.²⁰⁰ Zwar beobachtete Schultz – unabhängig von Elektrisierungsversuchen – eine Zusammenziehung der Gefäße, aber er sieht darin keine Ursache für die Erregung des Saftstroms, sondern nur für dessen Aufrechterhaltung.²⁰¹

Mit Hilfe der Wechselwirkungen zwischen Lebenssaft und Gefäßen erklärt Schultz auch die Wachstumsprozesse der Pflanzen. Sowohl der Lebenssaft als auch die bereits vorhandene pflanzliche Substanz bestünden aus „organischen Urtheilen“, nur mit dem Unterschied, daß diese „organischen Elementarformen“ im Lebenssaft in rascher Bewegung seien, während sie in der organischen Substanz zu ruhen schienen.²⁰² Das Wachstum geschehe dadurch, daß diese Urtheile mit den Gefäßen „und über diese hinaus“ mit der organischen Substanz in Wechselwirkung träten und sich mit ihr vereinigten.²⁰³ Dabei „verwische“ sich die Bewegung der Saftteilchen in die „ruhende Substanz“, „und in sehr saftreichen Theilen“ sehe „man oft die ganze, zwischen den Saftströmen liegende Substanz, in einer innern, wiewohl langsamern, Bewegung, so wie sie die Masse des Saftes selbst zeigt“.²⁰⁴

Schultz ist der Ansicht, daß dieser Prozeß der Bildung pflanzlicher Substanz aus Lebenssaft auf dieselbe Weise abläuft, wie der Übergang des Blutes in tieri-

¹⁹⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 534.

¹⁹⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 535; vgl. Schultz, 1822b, S. 30–35.

¹⁹⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 539–550.

¹⁹⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 604–605; vgl. S. 79, 593–596; vgl. Schultz, 1822a, S. 33–35, 49–50.

¹⁹⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 593–596; s. a. Schultz, 1822a, S. 33–35.

¹⁹⁹Siehe Kap. 8.2.

²⁰⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 600–602.

²⁰¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 602–603.

²⁰²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 616.

²⁰³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 616.

²⁰⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 616.

sche organische Substanz.²⁰⁵ Letzteren Vorgang stellte er in seiner Schrift über den „Lebensprocess im Blute“ ausführlich dar.²⁰⁶ Eine der Kernfragen, wie aus ein und demselben Blut verschiedene Organe werden – eine Frage, die mutatis mutandis natürlich auch für den pflanzlichen Bildungsprozeß von größtem Interesse ist –, stellt er sich dort zwar, jedoch weicht er in seiner Antwort auf rein naturphilosophische Spekulationen aus,²⁰⁷ die hier nicht näher dargelegt zu werden brauchen.

Neben der Bildung neuer organischer Substanz dient das „Bildungssystem“ der Pflanzen der Produktion von gasförmigen, festen und tropfbar-flüssigen „Absonderungen“. Zu den gasförmigen Absonderungen rechnet Schultz die in den „Luftzellen“ bzw. „Luftzellenkanälen“²⁰⁸ sowie in anderen Hohlräumen enthaltene „Luft“.²⁰⁹ An tropfbar-flüssigen Absonderungen nennt Schultz die ätherischen Öle, die Balsame sowie das Gummi, an festen das „Mehl“ (Stärkekörner).²¹⁰ Da Schultz sich auf die Lebensäußerungen der „individuellen Pflanze“, d. h. die vegetativen Funktionen der Pflanze, beschränkt, behandelt er Sekretionen der Blüten und Früchte, die mit dem „geschlechtlichen Leben“ der Pflanze zusammenhängen, nicht.

Sekrete sind für Schultz zwar prinzipiell „todte Absätze“,²¹¹ doch erfüllen die nach außen gerichteten Absonderungen der Epidermis und ihrer Anhänge (Haare) genauso wie die bereits behandelten Verdauungsssekrete der Wurzelrinde eine wichtige physiologische Funktion, denn sie „sind Mittel, durch welche [die Pflanze] [...] die auf der Stelle wieder einzusaugenden äußeren Nahrungsstoffe digerirt, und dadurch zur Assimilation vorbereitet“.²¹²

Dadurch, daß das Bildungssystem digerierende Sekrete zur Vorbereitung der Assimilation bereitstellt, schließt sich der Kreis wieder. Das Verhältnis von Assimilations-, Kreislaufs- und Bildungssystem faßt Schultz folgendermaßen zusammen:

„Es zeigt sich also der Verlauf des individuellen Pflanzenlebens der Holzpflanzen in seinem Fortgange als eine Aufeinanderfolge des Assimilations-, Kreislaufs- und Bildungssystems, so daß das letztere sich mit dem ersteren wieder zusammenschließt, so wie es von ihm ausgegangen war. Das Bildungssystem digerirt durch seine Sekretionen die Nahrungsstoffe, und hat mittelbar wieder nur seine Existenz durch

²⁰⁵Siehe z. B. Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 556–557.

²⁰⁶Siehe Schultz, 1822b, S. 30–56.

²⁰⁷Siehe Schultz, 1822b, S. 49–56.

²⁰⁸Gemeint sind die Intercellularen, die zu größeren Gängen und Kammern bis zur Bildung eines ausgesprochenen Durchlüftungsgewebes in Sumpf- und Wasserpflanzen erweitert sein können (s. Strasburger, 1983, S. 111–113).

²⁰⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 666–671.

²¹⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 671–682.

²¹¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 506.

²¹²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 684.

die assimilierten Stoffe, aus welchen sich durch den Kreislauf die digerierende Materie erzeugt. Allein als eine solche Succession, wo der vorhergehende Prozeß gleichsam nur die Ursache des folgenden, oder vielmehr der folgende das Resultat des vorhergehenden ist, dürfen wir das Pflanzenleben nur auf dem Standpunkte der reflektierenden Betrachtung; aber nicht in der Totalität ansehen. Hier ist alles gleichzeitig und Eins. Das Assimilationssystem stellt sich dem Kreislauf ursprünglich gegenüber, und das Bildungssystem ist ihre vereinigende Mitte. Alle Prozesse treten in gleichzeitige Spannung und Wechselwirkung auseinander, und wenn sie sich gleich als Ursache und Wirkung, oder als Mittel und Zwecke zu einander verhalten, so haben sie ihren einen höhern Grund doch nur in ihrer Vereinigung.“²¹³

Hier zeigt sich deutlich der dialektische Ansatz Schultz'. Das Leben der höheren Pflanzen teilt („dirimirt“) sich für ihn in die deutlich unterschiedenen Prozesse der Assimilation, des Kreislaufs und der Bildung auf. Während die „reflektierende Betrachtung“ nur auf die Aufeinanderfolge dieser Prozesse und ihr Ursache-Wirkungs-Verhältnis abhebe, geht es Schultz um die Betrachtung der „Totalität“ der Pflanze. Unter diesem höheren, ganzheitlichen Gesichtspunkt „ist alles gleichzeitig und Eins“. Auf dieser Betrachtungsebene sind die „Gegensätze“ Assimilations-, Kreislauf- und Bildungssystem zu einer Einheit vereinigt.

9.3.2 Schultz' Behandlung der Ausführungen Cortis

Angeht die zentrale Bedeutung, die Schultz dem Kreislauf des „Lebenssaftes“ im Leben der Gefäßpflanzen beimißt, stellt sich natürlich die Frage, welche Haltung er Cortis Beobachtungen und Theorien gegenüber einnimmt. Dies betrifft zum einen Cortis Entdeckung der Plasmarotation in den Internodien der *Chara*, zum anderen Cortis Postulat eines Saftkreislaufs in den höheren Pflanzen.

Nach eigenem Bekunden hatte sich Schultz mit der „merkwürdigen Erscheinung in der *Chara*“ bereits einige Jahre vor seiner „Entdeckung“ des Kreislaufs des Milchsafts im Schöllkraut beschäftigt.²¹⁴ In seinem Erstlingswerk über den Saftkreislauf ist die Darstellung der Saftzirkulation in den Internodien der *Chara* allerdings noch sehr rudimentär und auch von einigen Zweifeln durchsetzt.²¹⁵ Ein Jahr später setzt sich Schultz bedeutend detaillierter mit den Erscheinungen in der *Chara* auseinander. Die ursprünglichen Beobachtungen Cortis sowie die weiterführenden Ergebnisse Amicis²¹⁶ bestätigt Schultz in den wesentlichen Punkten.²¹⁷

²¹³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 685–686.

²¹⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 338.

²¹⁵Vgl. Schultz, 1822a, S. 35–37.

²¹⁶Siehe Amici, 1818.

²¹⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 359–360, 362–364, 378–379.

Amici hatte festgestellt, daß die Internodien der *Chara* auf ihrer Innenseite einen grünlichen, in Streifen angeordneten Überzug besäßen, der nur einen schmalen Streifen ausspare, und der Saft sich nur entlang der grünen Streifen bewege, während im Bereich des hellen Streifens keine Saftbewegung stattfindet.²¹⁸ Durch mikroskopische Untersuchungen habe Amici beobachtet, daß der Überzug aus „vielen Reihen nebeneinander liegender grünlicher Körperchen gebildet sei, welche von einer sehr zarten Membran eingehüllt würden“ (wohl Chloroplasten).²¹⁹ Schultz kam dagegen zu dem Ergebnis, daß der Überzug aus weißen Kristallen „kohlenaurer Kalkerde“ (durch Aufschäumen nach Reaktion mit Schwefelsäure nachgewiesen) und einer „grünlichen Masse“ bestehe.²²⁰

Was die Ursache der Bewegung des Saftes in den *Chara*-Internodien betrifft, rekuriert Schultz auf sein von der Erklärung der Blut- und Lebenssaftbewegung her bekanntes Konzept. So gebe es nicht nur eine rege Wechselwirkung der Saftteilchen untereinander²²¹, sondern auch mit dem Überzug der Internodieninnenwand²²². Diese Wechselwirkung mit dem inneren Überzug der Internodiumswand erkläre, weshalb sich der Saft in seiner Bewegung immer genau an die durch die Streifen des Überzugs vorgegebene Richtung halte.²²³ Solange der Überzug in den jungen Internodien noch nicht gebildet sei, werde die Saftbewegung durch eine Wechselwirkung mit der Internodiumswand selbst erregt.²²⁴

Schultz ging davon aus, daß die Saftzirkulation in den Internodien in keinen eigenständigen Gefäßen stattfindet. Da er ferner keine feste Scheidewand zwischen dem auf- und absteigenden Saftstrom innerhalb eines Internodiums feststellen konnte, die entgegengesetzten Saftströme aber dennoch stets voneinander getrennt blieben, nahm er eine aus einer Luftschicht bestehende Scheidewand an²²⁵

²¹⁸Vgl. Amici, 1818, S. 9–13.

²¹⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 360. Amici mutmaßte, die nach Art von „Rosenkränzchen“ aneinandergereihten „grünen Körperchen“ („coroncine de’corpiciuoli [verdi]“) bildeten Voltaische Säulen und würden auf diese Weise die Saftbewegung verursachen, da ja der „Galvanische Strom“ („corrente Galvanica“) in der Lage sei „di trasportare l’acqua dal polo positivo al negativo, facendola passare attraverso i pori da prima impermeabili di una vescica, ed alzando il fluido oltre il livello, come ce ne assicura l’esperienza di Porret“ (Amici, 1818, S. 17).

²²⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 360–362; s. a. S. 379–381.

²²¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 349–350.

²²²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 364, 376–378, 382.

²²³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 376–378. Die Saftbewegung in den „kleinen Röhren der äußeren Haut“ (Rindenzellen) der *Chara* hänge zwar auch von den Wechselwirkungen mit dem grünen, inneren Überzug dieser „Röhren“ ab, doch erfolge diese Bewegung nur in *einer* Richtung von „Röhre“ zu „Röhre“, und nicht, wie Amici vermutet habe (vgl. Amici, 1818, S. 15), in Form einer Zirkulation innerhalb einer „Röhre“. Entsprechend kleide der grüne Überzug die *gesamte* Innenwand der „Röhren“ aus, ohne, wie in den Internodien, einen Streifen frei zu lassen. (Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 370–373.) Später schloß sich Schultz der Ansicht Amicis und Ehrenbergs an, daß auch in den „äußeren Stengelschläuchen“ (Rindenzellen) eine Zirkulation wie in den Internodien stattfindet (Schultz, 1823–1828, Bd. 2, 1828, S. 480–481).

²²⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 382.

²²⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 378–379; vgl. Bd. 2, 1828, S. 473–474.

– eine physikalisch schwer nachvollziehbare Idee, für die er verständlicherweise heftige Kritik einstecken mußte²²⁶.

Auf eine analoge Weise, wie Schultz bei den höheren Pflanzen den Übertritt des assimilierten Holzsaftes in die Gefäße des „Lebenssaftes“ erklärte, stellt er sich auch den Übergang des Saftes in der *Chara* von einem Internodium in das nächste vor.²²⁷ So träten die „Kügelchen“ des in den Internodien enthaltenen Safts mit den „Kügelchen“ der Wandungen der dazwischenliegenden Knoten in Wechselwirkung. Über die Vermittlung der Knotenwände erfolge somit eine Vermischung des Safts benachbarter Internodien. Schultz gelang es, diese Vermischung direkt nachzuweisen, indem er eine *Chara* in Färberröte-Lösung stellte und den Aufstieg der roten Färbung beobachtete. Dabei stellte er auch eine Verfärbung der „Scheidewand“ des Knotens²²⁸ fest, jedoch nicht der Internodialwände.²²⁹

Einer der wesentlichen Unterschiede zwischen den Charen und den „Holzpflanzen“ (Gefäßpflanzen)²³⁰ besteht für Schultz darin, daß in den Charen im Gegensatz zu den höheren Pflanzen Assimilations- und Bildungssystem nicht getrennt seien.²³¹ Damit nehme auch die Saftzirkulation in den Internodien der Charen eine andere Stellung im Lebensprozeß dieser holzlosen Pflanzen ein als der Lebenssaftkreislauf in den höheren Pflanzen:

„Vergleicht man [die Bewegung und Gestaltung des Saftes in den Charen] [...] mit dem Verlauf des Ernährungs- und Bildungsprocesses der höhern Pflanzen, so findet sich weder in dem Aufsteigen der rohen Nahrungsflüssigkeit in diesen, noch in ihrem Säftekreislauf auch nur die entfernteste Aehnlichkeit mit der Säftebewegung in der Chara.“²³²

Die Assimilation, die „innere Gestaltung“ des rohen, von den „Wurzeln“ (Rhizoiden) der Charen eingesogenen Nahrungssaftes geschehe durch zwei Prozesse. Zum einen²³³ finde eine über die Scheidewände in den Knoten vermittelte Wechselwirkung und Vermischung (s. o.) zwischen dem bereits höher organisierten Saft der oberen Internodien und dem noch rohen bzw. wenig innerlich gestalteten Saft

²²⁶Siehe Zenker, 1824, Sp. 338.

²²⁷Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 364–368.

²²⁸Was Schultz als „Scheidewand“ des Knotens ansah, ist keine einzelne Wand, sondern eine Ansammlung von Knotenzellen.

²²⁹Angesichts der von Schultz behaupteten Wechselwirkung zwischen den Saftteilchen und dem inneren Überzug der Internodienwand wäre eigentlich eine Verfärbung auch der Internodialwand, zumindest ihres Überzugs, zu erwarten gewesen. Schultz vermutet, daß die Charen nicht lange genug am Leben blieben, um dieses Phänomen zu zeigen (Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 367). In der Tat mußte er feststellen, daß sich die Färberröte-Lösung als schädlich erwies und die in seinen Versuchen verwendeten Charen schließlich eingehen ließ (Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 367–368).

²³⁰Siehe zur Bedeutung des Begriffs „Holzpflanzen“ bei Schultz oben, Fußn. 162.

²³¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 316–317, 387–388.

²³²Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 374.

²³³Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 375–376.

der unteren Internodien statt. Durch diese Vermischung mit dem organisierten Saft werde der rohe Nahrungssaft bereits zu einem großen Teil „veredelt“. Ferner Sorge die Vermischung dafür, daß der über die Pflanze verteilte Saft eine gleichmäßige Organisationsstufe aufweise. An anderer Stelle spricht Schultz auch noch davon, daß der Saft durch das Passieren der Knoten und die dabei erfolgenden Wechselwirkungen verarbeitet bzw. verdaut werde.²³⁴

Den zweiten Faktor im Assimilationsprozeß bilde die in den Internodien enthaltene Luft, denn Schultz interpretierte die großen „Körper“ im Saft der Charen für Luftblasen. Wie in den Blättern der höheren Pflanzen, so werde auch in den Charen der rohe Nahrungssaft durch Kontakt mit der Luft assimiliert.²³⁵

Die Saftzirkulation in den einzelnen Internodien der Charen müsse gleichzeitig die Aufgabe des Kreislauf- bzw. Bildungs- und des Assimilationssystems der höheren Pflanzen erfüllen.²³⁶ Daraus erklärten sich die besonderen Eigenschaften des Lebensprozesses der Charen. So gebe es keine *unmittelbaren* Übergänge zwischen den Internodien, da sich ansonsten der rohe Nahrungssaft, ohne vorher assimiliert worden zu sein, in der gesamten Pflanze verteilen würde. Es handele sich daher um relativ geschlossene Kreisläufe in den einzelnen Internodien, um zunächst eine entsprechende Gestaltung des Saftes erfolgen zu lassen, bis er in das nächsthöhere Internodium überwechsle. Gleichzeitig fungierten die Internodien bzw. die in ihnen ablaufende Zirkulation als Mittel zur Verteilung des assimilierten Saftes in der gesamten Pflanze und übernahmen damit zugleich die Aufgaben des Bildungssystems.²³⁷

Eine Übertragung der in den Charen vorgefundenen Zirkulationsverhältnisse auf die höheren Pflanzen lehnt Schultz kategorisch ab.²³⁸ Dazu sind ihm, wie erwähnt, die Organisationsstrukturen der „holzlosen“ und der „Holzpflanzen“ (Gefäßpflanzen) zu unterschiedlich. Die von Corti beschriebenen Zirkulationen in den Zellen höherer Pflanzen²³⁹ konnte Schultz ebenfalls nicht verifizieren.²⁴⁰ Es war ihm auch nicht möglich, „in irgend einer der übrigen holzlosen Pflanzen, einen ähnlichen Kreislauf, wie in der Chara zu entdecken.“²⁴¹

9.3.3 Rezeption und Kritik der Schultzschen Vorstellungen

Wie weiter oben bereits angemerkt, darf aus der Ablehnung der Saftkreislauflehre, wie sie vor Schultz bestand, durch Kieser und Oken nicht gefolgert werden, daß diese Zurückweisung aufgrund bestimmter Grundprinzipien der romantischen

²³⁴Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 383, 387.

²³⁵Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 375–376.

²³⁶Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 382–384, 387–388.

²³⁷Siehe zu diesem Absatz Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 382–384.

²³⁸Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 401.

²³⁹Siehe Kap. 6.2.

²⁴⁰Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 329–331.

²⁴¹Schultz, 1823–1828, Bd. 1, 1823, S. 402.

Naturphilosophie, mit denen die Saftkreislauflehre unvereinbar gewesen wäre, unumgänglich war. Dies gilt natürlich auch für die von Schultz entwickelte Lehre vom Kreislauf des „Lebenssafts“. Wie etwa die Saftkreislauflehre Schultz' durchaus in die Vorstellungswelt der romantischen Naturphilosophie hätte eingebunden werden können, zeigt ein entsprechender Interpretationsversuch Meyens²⁴², auch wenn Meyen selbst nicht zu den expliziten Vertretern der romantischen Naturphilosophie zählte.

Die Haltung der romantischen Naturphilosophie gegenüber der von Schultz aufgestellten Lehre vom Kreislauf des Lebenssafts war denn auch nicht einhellig ablehnend. Zwar behielt Oken auch nach Aufstellung der Schultzschen Lehre vom „Lebenssaft“-Kreislauf seine ablehnende Haltung mit den bereits genannten Argumenten²⁴³ bei,²⁴⁴ doch Hegel äußert sich an mehreren Stellen anerkennend über Schultz und zieht dessen „Natur der lebendigen Pflanze“ des öfteren in seinen Ausführungen zur „vegetabilischen Natur“ heran²⁴⁵. Als er auf die Lebensprozesse der Pflanzen zu sprechen kommt, bemerkt er:

„Interessante Aufschlüsse über die Physiologie der Pflanze gewährt das Werk meines Kollegen, des Herrn Prof. C. H. Schultz [die beiden Bände der *Natur der lebendigen Pflanze*] [...], das ich um so mehr hier anzuführen habe, als einige der in den folgenden Paragraphen angegebenen speziellen Grundzüge über den Lebensprozeß der Pflanze daraus geschöpft sind.“²⁴⁶

Angesichts dieser Äußerung überrascht es nicht, daß Hegel die Saftkreislaufvorstellung von Schultz voll und ganz übernimmt, ausführlich aus dessen Werk zitiert und den Kreislauf des „Lebenssaftes“ als „höchst wichtige Entdeckung“²⁴⁷ bezeichnet.²⁴⁸ Ferner erkennt er die von Corti und später von Amici beobachteten Zirkulationsphänomene in den Charen an.²⁴⁹

Für eine weitere Verbreitung der Schultzschen Saftkreislauftheorie unter den Botanikern dürfte jedoch der Umstand, daß Hegel sich diese Theorie zu eigen machte, eher kontraproduktiv gewirkt haben, denn Hegel war wegen seiner arroganten und abwertenden Haltung gegenüber der Empirie²⁵⁰, seiner notorischen

²⁴²Siehe unten, S. 197–198.

²⁴³Siehe oben, S. 172, Fußn. 76.

²⁴⁴Auffallend ist, daß sich in Okens „Lehrbuch der Naturphilosophie“ keinerlei Widerhall (also auch nicht in Form einer besonderen Widerlegung) der Schultzschen Saftkreislauflehre findet. Die hierfür einschlägigen Passagen in der zweiten und dritten Auflage des „Lehrbuchs“ weisen keine wesentlichen Änderungen gegenüber der ersten Auflage auf.

²⁴⁵Hegel, 1970 [1830], S. 373, 381, 400, 404–408.

²⁴⁶Hegel, 1970 [1830], S. 381.

²⁴⁷Hegel, 1970 [1830], S. 406.

²⁴⁸Hegel, 1970 [1830], S. 405–407.

²⁴⁹Hegel, 1970 [1830], S. 404–405.

²⁵⁰Zu Hegels Verhältnis zu den empirischen Wissenschaften s. Breidbach, 1982, S. 275–281; Oisermann, 1986; Leiber, 2000, S. 201–203.

Inkompetenz auf naturwissenschaftlich-mathematischem Gebiet und seinen z. T. grotesken Spekulationen bei den Naturforschern in hohem Maße diskreditiert.

Entscheidender als die Aufnahme unter den Naturphilosophen mußte für das weitere Schicksal der Schultzschen Lehre die Reaktion von seiten ausgewiesener Pflanzenanatomien und -physiologen sein. Verständlicherweise war Schultz von Anfang an darauf bedacht, seine „Entdeckung“ durch das Zeugnis anerkannter Wissenschaftler wie Rudolphi und Link bestätigen zu lassen.²⁵¹ Dennoch konnte es nicht ausbleiben, daß seine Vorstellungen bereits früh auf heftige „Gegenwehr“ stießen. Die Diskussion wuchs sich rasch zu einer scharfen Polemik aus, was nicht nur mit Schultz' Persönlichkeitsstruktur, seiner vehementen Art und seiner Neigung zu apodiktischen und arroganten Bemerkungen zu tun hatte. Hinzu kam, daß Schultz nicht nur mit seiner Saftkreislaufvorstellung eine unkonventionelle Theorie vertrat, sondern er hatte bereits durch seine Leugnung der Existenz von „Blutkügelchen“ (also den Blutkörperchen) allgemeines Unverständnis hervorgerufen. Auch auf diesem Feld wurde die Auseinandersetzung sehr bald persönlich. Der mit Johannes Müller ausgetragene Schlagabtausch legt davon beredtes Zeugnis ab.²⁵²

Eine der ersten negativen Reaktionen auf Schultz' Saftkreislauflehre erfolgte 1824 durch den Dresdener Botaniker Jonathan Carl Zenker (1799–1837) in der *Isis*.²⁵³ Zenkers Kritik kann als exemplarisch für viele weitere negative Beurteilungen der Schultzschen Ansichten gelten. So leugnet Zenker gar nicht, daß sich der Milchsaft bewegt, doch handele es sich dabei um keinen Kreislauf, da man z. B. keine „eigentliche Strömung der Flüssigkeit nach einer bestimmten Richtung hin“ bemerke, „wie das doch der Fall seyn müßte, wenn ein wahrer Kreislauf vorhanden wäre“. Zenker beobachtete an den „rundlichen oder länglichen Körperchen“ des Milchsafts nur „eine stetige Veränderung ihres relativen Ortes, ohne jedoch ihren absoluten Standort zu verrücken“. Im übrigen sei die „Saftbewegung [...] bloß durch Sonnenreiz bewirkt und durch die eigene Lebenskraft des Vegetabilis unterstützt und fortgeführt“. ²⁵⁴ Selbst die Plasmarotation in den Internodien der

²⁵¹Vgl. die positiven Stellungnahmen Links, Rudolphis und anderer, was das Vorkommen einer Milchsaftbewegung in entgegengesetzten Richtungen in *Chelidonium majus* und anderen Pflanzen betraf, in Schultz, 1822a, Vorwort von Link, S. IX–XI; Schultz, 1824a, S. 65–68. Rudolphi wird seine Unterstützung jedoch bald zurückgezogen haben. Zwar läßt sich dies nicht direkt nachweisen, doch deuten darauf sehr kritische Äußerungen Rudolphis (1821–1828, Bd. 2, 2. Abtlg., 1828, S. 316–319) zu anderweitigen Vorstellungen Schultz', das Blut und das Kreislaufsystem betreffend. So griff er in seinem „Grundriss der Physiologie“ Schultz' Ansicht, daß es keine Blutkörperchen und – wie bereits Johann Bernhard Wilbrand (1779–1846) behauptete (s. Probst, 1966, S. 157–161) – keine direkten Verbindungen zwischen den Arterien und Venen gebe, auf das heftigste an. Bei dieser Gelegenheit macht er Schultz den Vorwurf, seine mikroskopischen Beobachtungen im direkten Sonnenlicht angestellt zu haben und auf diese Weise optischen Täuschungen erlegen zu sein – ein prinzipieller Einwand, der auch von zahlreichen anderen Naturforschern gegenüber Schultz erhoben wurde.

²⁵²Siehe [Müller], 1824; Müller, 1828; Schultz, 1828a.

²⁵³Siehe Zenker, 1824.

²⁵⁴Zenker, 1824, Sp. 336.

Charen führt Zenker allein auf die Einwirkung des Sonnenlichts zurück.²⁵⁵ Die von Schultz postulierte „innere Wechselwirkung“ der „Saftkügelchen“ untereinander bzw. zwischen den „Saftkügelchen“ und der Gefäßwand der Milchröhren kommt für Zenker schon gar nicht in Betracht.

Als besonders schwerwiegend mußte sich die Kritik erweisen, die Ludolph Christian Treviranus an den Schultzschen Vorstellungen übte. L. C. Treviranus setzte sich in einem 1825 veröffentlichten Aufsatz intensiv mit Schultz' Ausführungen auseinander und äußerte sich in allen wesentlichen Punkten ablehnend. Zum einen konnte er im frisch ausgeflossenen Milchsafte verschiedener Pflanzenarten keinerlei selbständige, innere Bewegung der darin enthaltenen Teilchen feststellen.²⁵⁶ Zum anderen konnte er auch in den Milchsaftegefäßen selbst keine Bewegung des Milchsafte beobachten, weder eine „innerliche“ noch eine fortschreitende.²⁵⁷ Nur wenn irgendwo ein Gefäß verletzt worden sei und der Milchsafte ausströme, lasse sich auch andernorts eine Bewegung in Richtung auf die Austrittsstelle feststellen. Gegensätzliche Strömungen im Sinne eines Auf- und Absteigens des Milchsafte in verschiedenen Gefäßen habe er jedoch auch in diesen Fällen nicht bemerkt. Die von Schultz postulierte „innere Bewegung des Saftes“ hält er für einen „optischen Betrug“, hervorgerufen durch Beobachtungen im reflektierten Sonnenlicht.

Der eigentliche Ausgangspunkt für L. C. Treviranus' Kritik an Schultz besteht darin, daß er dem Milchsafte von vornherein eine Ernährungsfunktion abspricht und ihn als Sekret bzw. Exkret betrachtet, eine Auffassung, der sich Franz Unger (1800–1870) und Augustin Pyrame De Candolle (1778–1841) anschlossen²⁵⁸. Aufgrund seiner Konsistenz und Zusammensetzung – L. C. Treviranus geht von einer harzigen Grundlage des Milchsafte aus – könne der Milchsafte keine Nahrungsgrundlage darstellen, da die „ersten Anfänge aller Pflanzentheile [...] immer weich und gallertartig“ seien. Zudem finde sich in milchsafteführenden Pflanzen in den Teilen, die ein lebhaftes Wachstum aufwiesen, kein oder nur wenig Milchsafte. Ferner stelle ein Übermaß an „gummösen und harzigen Säften“ für einige Pflanzen einen Krankheitszustand dar.²⁵⁹

²⁵⁵Zenker, 1824, Sp. 337.

²⁵⁶L. C. Treviranus, 1825, S. 162–164. Sein Bruder Gottfried Reinhold hatte dagegen Bewegungen der im ausgeflossenen Milchsafte von *Rhus cotinus* (Perückenstrauch) und *Vinca major* enthaltenen „Kügelchen“ beobachtet (s. G. R. Treviranus, 1816, S. 157).

²⁵⁷L. C. Treviranus, 1825, S. 164–169; vgl. L. C. Treviranus, 1835–1838, Bd. 1, 1835, S. 349–352.

²⁵⁸Siehe Unger, 1838, S. 14; Unger, 1846, S. 55, 105; Unger, 1855, S. 370; De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 272–273. De Candolle war, nach eigenem Bekunden (ibid., S. 270), früher selbst der Ansicht, daß der Milchsafte der eigentliche Nahrungssaft sei.

²⁵⁹Siehe zu diesem Absatz L. C. Treviranus, 1825, S. 159–161, 178–179; vgl. L. C. Treviranus, 1835–1838, Bd. 1, 1835, S. 149, 419–420. Bereits Du Clos wertete in seinem Bericht aus dem Jahre 1668 über die Perrault- und Mariottesche Saftkreislauflehre die harzige Konsistenz des Milchsafte als Zeichen dafür, daß dieser Saft nicht der Ernährung dienen könne (s. o., S. 12).

Die Überzeugung, daß der Milchsafft nicht der Ernährung dienen könne²⁶⁰, könnte L. C. Treviranus' negative Beurteilung der Frage einer selbständigen Bewegung des Milchsaffts von Anfang an mitbestimmt haben. Da er nämlich davon ausging, „dass der ernährenden Materie ein selbstständiges Leben beiwohne“, so könne, wie er selbst schreibt, der Milchsafft, wenn er „kein Ernährendes, kein Belebtes“ sei, „auch keiner selbstständigen Bewegungen fähig sein, sondern nur einer mitgetheilten“.²⁶¹

Unter den deutschsprachigen Botanikern fand Schultz den letztlich einzigen bleibenden Anhänger seiner Theorie vom Kreislauf des Lebenssafts in Franz Julius Ferdinand Meyen (1804–1840)²⁶². Zwar erachtete auch Meyen die „lebendige Wechselwirkung“ der „Bläschen“, „Partikelchen“ oder „Theilchen“ im „Lebenssaft“ der Pflanzen untereinander sowie mit den Gefäßwänden und überhaupt den von Schultz postulierten „inneren Lebensprocess“ des Milchsaffts als eine „optische Täuschung“,²⁶³ doch sprach er den „Kügelchen“ bzw. „Bläschen“ des „Lebenssafts“ „eine selbstständige freie Bewegung gleich den Monaden [zu], welchen sie auch in Hinsicht der Grösse und Gestalt gänzlich gleichen.“²⁶⁴ G. R. Treviranus²⁶⁵ habe „diese Erscheinung zuerst [gesehen], und zwar an den Bläschen in der ausgeflossenen Milch von Vinca und Rhus“.²⁶⁶

Abgesehen von der eigenständigen Bewegung der „Lebenssaftkügelchen“ bzw. „bläschen“ leitet Meyen die Bewegung des „Lebenssafts“ von einer diesem „inwohnenden Propulsionskraft“ ab.²⁶⁷ Dabei vergleicht er die Bewegung des „Le-

²⁶⁰Auch in diesem Punkt hatte G. R. Treviranus die entgegengesetzte Ansicht vertreten, indem er den Milchsafft als „vegetabilischen Bildungssaft“ betrachtete (s. G. R. Treviranus, 1816, S. 156–158). Höchstens mittelbar will L. C. Treviranus dem Milch- und anderen „eigenthümlichen Säften“ eine Funktion im Ernährungsprozeß zugestehen, in Analogie zur tierischen Galle, deren Wirkungsweise allerdings noch weitgehend ungeklärt sei (L. C. Treviranus, 1825, S. 179–180).

²⁶¹L. C. Treviranus, 1825, S. 161–162.

²⁶²Zu Meyen s. ADB, Bd. 21, S. 549–553.

²⁶³Meyen, 1827, S. 634, 660, 667; Meyen, 1828b, Sp. 409–411; Meyen, 1834, S. 13; Meyen, 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 396–400, 416, 427.

²⁶⁴Meyen, 1830a, S. 367; vgl. Meyen, 1827, S. 668: „der Lebenssaft ist als ein Monaden-Heer zu betrachten“; vgl. ferner Meyen, 1828b, Sp. 409; Meyen, 1830b, S. 288, 299; Meyen, 1834, S. 14.

²⁶⁵Vgl. G. R. Treviranus, 1816, S. 157.

²⁶⁶Meyen, 1830a, S. 367.

²⁶⁷Siehe Meyen, 1830b, S. 295–299. Der Begriff der „Propulsionskraft“ stammt von Carl Friedrich von Kiemeyer (1765–1844), der unter dieser „organischen Kraft“ die „Fähigkeit [verstand], die Flüssigkeiten in den vesten Theilen in bestimmter Ordnung zu bewegen und zu vertheilen“ (Kiemeyer, 1793, S. 10). Kiemeyer führte diesen Begriff ein, um der allgemeinen Neigung, Flüssigkeitsbewegungen in Organismen mit der Annahme einer Irritabilität der Gefäße zu erklären, entgegenzutreten. Besonders störte es ihn, daß auch die Bewegung der Pflanzensäfte auf eine Irritabilität der Saftgefäße zurückgeführt worden war (s. Kap. 8.2), was jeglicher empirischer Grundlage entbehre. Aber nicht nur, was die Bewegung der Pflanzensäfte, sondern auch die Bewegung des Blutes und der Lymphe betrifft, hält Kiemeyer die Irritabilität, in diesem Fall des Herzens, der Arterien und der Lymphgefäße, als Erklärungsprinzip für unzureichend (ebd., S. 10–11, Fußn. **). Dabei war sich Kiemeyer durchaus bewußt und betont dies auch,

benssafts“ durch die Propulsionskraft mit der Bewegung der Planeten durch die Schwerkraft²⁶⁸ – eine Analogie, die er auch auf kreisende Saftbewegungen *innerhalb einzelner Zellen* anwendet²⁶⁹. Meyen baut diese Analogie noch weiter aus und gibt sich am Schluß seiner *Phytotomie* einigen Spekulationen hin, die den Eindruck erwecken, als wolle er die Saftkreislauflehre den Vertretern der romantischen Naturphilosophie andienen.²⁷⁰

Abgesehen von Meinungsverschiedenheiten, was die Art der Fortbewegungsweise der „Lebenssaft“-Partikel betraf, vertrat Meyen generell in Anlehnung an Schultz einen Kreislauf des Milch- bzw. „Lebenssaftes“.²⁷¹ Ein Unterschied zur Schultzschen Vorstellung scheint allerdings darin bestanden zu haben, daß Meyen annahm, der zu den Wurzeln zurückkehrende „Lebenssaft“ werde dort „mit rohem Nahrungssaft verdünnt“, ehe er „seine kreisende Bahn von Neuem beginnt“²⁷².

Daß Schultz mit seiner Vorstellung gerade bei Meyen auf offene Ohren stieß, hat wohl auch damit zu tun, daß Meyen schon immer ein reges Interesse für Bewegungserscheinungen im Pflanzenreich auf mikroskopischer Ebene besaß. Generell waren die 1820er Jahre eine Zeit, in der die Suche nach selbstbeweglichen „Teilchen“ im Tier- und Pflanzenreich auf Mikroebene sich einer besonderen Beliebtheit erfreute. Es ist daher angebracht, auf diese Hintergründe etwas näher einzugehen.

daß der von ihm eingeführte Begriff „Propulsionskraft“ einstweilen nur ein Platzhalter für eine noch unbekannte Ursache der Flüssigkeitsbewegungen in den Organismen ist (ebd., S. 10, Fußn. *). Neben der Propulsionskraft unterschied Kiehmeyer an weiteren organischen Kräften die Sensibilität, Irritabilität, Reproduktions- und Sekretionskraft (ebd., S. 9).

²⁶⁸Siehe Meyen, 1830b, S. 299.

²⁶⁹Siehe unten, Fußn. 314.

²⁷⁰Siehe Meyen, 1830b, S. 301–302: „So ist die Circulation der Ausdruck, die Darstellung eines, sich höher gestaltenden Pflanzenlebens; es ist eine neue Gestaltung der überflüssigen Summe des vegetabilischen Lebens, die sich wiederum durch ein höheres, thätiges Leben darthut. Es bildet in sich einen Gegensatz und macht im Individuum die Vermittlerin des nach dem Lichte und des nach der Finsterniss strebenden Theil's. In den Gefässen des Stammes sind die Brennpunkte, der idealen Ellipse des rein peripherischen Circulations-System's zu finden. Die eine Apsidenlinie führt zum Lichte, daher höhere Belebung des cirkulirenden Saftes in den Blättern und den ihnen entsprechenden Organen; daher auch feinere Struktur dieser Organe; der Process entspricht hier dem thierischen in den Lungen. Die andere Apsidenlinie führt, jener diagonal entgegengesetzt, in die Finsterniss, und der geheime Process daselbst entspricht dem Vorgange in den Digestions-Organen. [...] Die Circulation in den Pflanzen ist auch als Vorbereitung, im grossen Werke der Natur, zu einer höhern Form, zu betrachten; sie drückt das Beginnende des Thierischen in der Pflanze eben so gut aus, wie die belebte Monaden-Menge in der männlichen Saamenfeuchtigkeit derselben.“

²⁷¹Siehe Meyen, 1827; Ders., 1830b, S. 293–302; Ders., 1834, S. 14–20; Ders., 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 410–427.

²⁷²Siehe Meyen, 1834, S. 19; vgl. Ders., 1830b, S. 300, 301; Ders., 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 419.

Meyen beschäftigte sich mit Ortsbewegungen von Mikroorganismen aller Art²⁷³ sowie von Fortpflanzungszellen der Tiere und Pflanzen, aber auch mit Bewegungserscheinungen *innerhalb* von Zellen. Im Jahre 1823 entdeckte er nach eigenem Bekunden „die freie selbstständige Bewegung der Bläschen, die in dem schleimigen Inhalte der Pollenbläschen umherschweben“, ²⁷⁴ publizierte diesen Fund jedoch erst drei Jahre später in seiner Inaugural-Dissertation²⁷⁵. Später stellte Meyen fest, daß bereits 1764 v. Gleichen eine ähnliche Beobachtung an den Pollenkörnern der Melone angestellt hatte.²⁷⁶ Doch Meyen²⁷⁷ war bei weitem nicht der einzige, der in den 1820er Jahren Bewegungen von „Kügelchen“ oder „Körnern“ in Pollenschläuchen oder von Partikeln, die aus den Pollenschläuchen ausgetreten waren, entdeckte. Weitere diesbezügliche Forschungen stellten auch Guillemin²⁷⁸, Adolphe-Théodore Brongniart²⁷⁹ (1801–1876) sowie natürlich Robert Brown (1773–1858) an. Die in den Pollenkörnern bzw. später in den Pollenschläuchen enthaltenen beweglichen „Partikel“ wurden von Meyen angesichts der Befruchtungsfunktion des Pollens als pflanzliche „Samenthierchen“ bzw. von Brongniart als „granules spermatiques“ bezeichnet, wobei man im allgemeinen der Ansicht war, daß es sich um eine eigenständige Bewegung dieser „Partikel“ handele, also nicht um eine durch das Medium mitgeteilte.

Die Arbeiten, die sich in diesem Zusammenhang als besonders richtungsweisend erwiesen, waren die von Robert Brown²⁸⁰ 1828 und 1829 veröffentlichten Aufsätze. Brown beobachtete nicht nur eine Ortsveränderung der in den Pollenkörnern verschiedener Pflanzen enthaltenen „Teilchen“ („particles“) und „molecules“, sondern fand „minute spherical particles or Molecules“, die sich bewegten, auch in zerriebenen anderen Pflanzenteilen.²⁸¹ In der Überlegung, es könnte sich bei diesen beweglichen „Molecules“ um jene „elementary molecules“ handeln, aus denen nach Buffon²⁸², Needham und anderen Autoren die Organismen beste-

²⁷³Bei den von Meyen etwa in seinem Aufsatz von 1830 (Meyen, 1830a) behandelten Organismen handelt es sich um heute in der Regel nicht mehr eindeutig bestimmbar Protozoen, Algen, Bakterien, Sporen etc.

²⁷⁴Meyen, 1830a, S. 375.

²⁷⁵Meyen, 1826a, S. 17 (auch zitiert in Meyen, 1830a, S. 375–376). Aus Meyens Beschreibungen läßt sich nicht mehr erschließen, was genau er beobachtete. Wahrscheinlich handelte es sich bei den „Bläschen“ um den Kern der das Pollenkorn bzw. den Pollenschlauch fast ganz ausfüllenden vegetativen Zelle oder um die generative Zelle bzw. die aus der generativen Zelle entstehenden beiden Spermazellen.

²⁷⁶Meyen, 1830a, S. 374–375.

²⁷⁷Siehe auch Meyen, 1828a, S. 36–44.

²⁷⁸Siehe Meyen, 1830a, S. 374–375, 385–386.

²⁷⁹Siehe Brongniart, 1827, S. 40–50; Brongniart, 1828; vgl. Meyen, 1830a, S. 377–404.

²⁸⁰Zu Robert Browns Leben und Werk s. Maberley, 1985.

²⁸¹Brown, 1828, S. 162–166 (Brown, 1830a, S. 145–149).

²⁸²Buffon nahm an, daß die Organismen aus belebten, organischen Teilen („parties organiques vivantes“) (Buffon, 1769, Bd. 3, S. 34–35, 63–64 [Buffon, 1784–1785, Bd. 3, S. 234–235, 270–271]) bzw. Teilchen („molécules organiques“) bestünden. Mit dieser Hypothese versuchte er die Individualentwicklung, das Wachstum, die Ernährung sowie die geschlechtliche und ungeschlechtliche

hen sollten, dehnte Brown seine Untersuchungen auf eine Vielzahl lebender und toter pflanzlicher und tierischer Gewebe aus, und es gelang ihm, „durch blosses Zerreiben dieser Substanzen in Wasser die Molecule in hinlänglicher Menge zu entbinden, um ihre deutliche Übereinstimmung in Grösse, Gestalt und Bewegung mit den kleinen Pollen-Theilchen nachzuweisen.“²⁸³ Aber selbst in vielen anorganischen Materialien unterschiedlichster Herkunft stellte Brown sich bewegende „molecules“ fest.²⁸⁴

Konnte Brown ursprünglich noch nicht in allen von ihm untersuchten anorganischen Körpern „active Molecules“ (in zeitgenössischer dt. Übersetzung „selbstbewegliche Molecüle“) feststellen, so erlaubten ihm zusätzliche Untersuchungen, ein Jahr später den generellen Satz aufzustellen, daß

„extremely minute particles of solid matter, whether obtained from organic or inorganic substances, when suspended in pure water, or in some other aqueous fluids, exhibit motions for which I am unable to account, and which from their irregularity and seeming independence resemble in a remarkable degree the less rapid motions of some of the simplest animalcules of infusions. That the smallest moving particles observed, and which I have termed Active Molecules, appear to be spherical, or nearly so, and to be between 1-20,000²⁸⁵ and 1-30,000²⁸⁶ of an inch in diameter; and that other particles of

Fortpflanzung der Tiere und Pflanzen zu erklären. Die innere(n) Struktur(en) der Organismen bezeichnete Buffon als innere Form(en) („moule intérieur“) (Buffon, 1769, Bd. 3, S. 62 [Buffon, 1784–1785, Bd. 3, S. 269]). Entwicklung, Ernährung und Wachstum finde dadurch statt, daß die inneren Formen aus den über die Nahrung zugeführten verschiedenen organischen Teilchen jeweils diejenigen aufnahmen, die ihnen ihrer Struktur nach entsprächen (Buffon, 1769, Bd. 3, S. 62–65, 78–81 [Buffon, 1784–1785, Bd. 3, S. 269–272, 287–289]). Im Falle der ungeschlechtlichen Vermehrung würden nach Abschluß der Entwicklung bzw. des Wachstums die überschüssigen organischen Teilchen an einen oder verschiedene Örter des Organismus abgeführt, wo sie sich zu einem oder mehreren organischen Körperchen vereinigten. Diese Körperchen ähnelten dem Ausgangsorganismus, da sie ja aus organischen Teilchen bestünden, die ihrer Struktur nach den inneren Formen des jeweiligen Individuums entsprächen (Buffon, 1769, Bd. 3, S. 78–81 [Buffon, 1784–1785, Bd. 3, S. 286–290]). Wie dieses Beispiel zeigt, bestand ein Vorteil der Buffonschen Theorie darin, auf die Annahme bereits präformierter Individuen verzichten zu können. – Nebenbei sei hier bemerkt – was jedoch mit dem gerade geschilderten Sachverhalt nichts zu tun hat –, daß Buffon die Saftkreislauflehre ablehnte. Die Neigung des Menschen, in der Natur Einheitlichkeit und Einförmigkeit wahrnehmen zu wollen, wo in Wahrheit keine sei, habe zu dem ungerechtfertigten Schluß geführt, die Pflanzen besäßen einen Saftkreislauf wie die Tiere einen Blutkreislauf (Buffon, 1769, Bd. 1, S. 12–14 [Buffon, 1784–1785, Bd. 1, S. 15–17]).

²⁸³Brown, 1830a, S. 152 (Brown, 1828, S. 166).

²⁸⁴Brown, 1828, S. 166–169. Die anorganischen Stoffe, aus denen Brown keine beweglichen „molecules“ erhielt, waren Öl, Harz, Wachs und Schwefel (später gelang ihm aber auch dies; s. Brown, 1829, S. 162 [Brown, 1830b, S. 505]), ferner solche „Metalle, die sich nicht bis auf den zur Trennung der Molecule erforderlichen Grad mechanisch zertheilen liessen und endlich alle in Wasser auflöselichen Stoffe“ (Brown, 1830a, S. 158 [Brown, 1828, S. 169]).

²⁸⁵ $\frac{1}{20.000}$

²⁸⁶ $\frac{1}{30.000}$

considerably greater and various size, and either of similar or of very different figure, also present analogous motions in like circumstances. I have formerly stated my belief that these motions of the particles neither arose from currents in the fluid containing them, nor depended on that intestine motion which may be supposed to accompany its evaporation.“²⁸⁷

Wir wissen heute natürlich, daß die von Brown beschriebene Bewegung seiner mikroskopisch wahrnehmbaren „active Molecules“ nicht den „Molecules“ selbst zuzuschreiben ist, sondern der Wärmebewegung der Teilchen des Mediums, in dem sie enthalten sind – ein Phänomen, das unter der Bezeichnung „Brownische Bewegung“ hinlänglich bekannt ist. Es ist verständlich, daß Brown selbst, in einer Zeit reichlich betriebener Bemühungen, selbstbewegliche Teilchen im Mikrobereich aufzufinden, dazu neigte, den Ursprung der Bewegung in den Teilchen selbst anzunehmen.

Neben den genannten Entdeckungen beobachtete Brown in den Staubfadenhaarzellen von *Tradescantia* eine unregelmäßige Zirkulationsbewegung einer „granular fluid“ (des Cytoplasmas).²⁸⁸ Ferner beschrieb er eine Zirkulationsbewegung in den Pollenschläuchen von *Hoya carnos*a (Wachsblume) sowie *Tradescantia virginica* und bestätigte somit die Beobachtung Amicis, der bereits eine solche Kreisbewegung in Pollenschläuchen von *Portulacca oleracea* (Portulak) festgestellt hatte²⁸⁹. Selbst einige der früher von ihm beobachteten „molecular motions“ in den Pollenkörnern etwa von *Lolium perenne* betrachtete er nun als undeutliche Zirkulationen, betont aber, daß sich z. B. in den Pollenkörnern einiger Arten von *Asclepias* lebhaft oszillatorische Bewegungen ohne eine Spur von Zirkulation zeigten.²⁹⁰

²⁸⁷Brown, 1829, S. 162–163; dt. Übersetzung in Brown 1830b, S. 506–507.

²⁸⁸Brown, [1833], S. 712–713. Brown unterschied deutlich zwischen der „granular matter“ und dem Zellkern, den er mit der noch heute üblichen lateinischen Bezeichnung „nucleus“ belegte (Brown, [1833], S. 710–713). Bereits Amici (1824, S. 66–67) beobachtete in den „sehr feinen und transparenten Haaren“ („poils très-déliés et transparens“) der Narbe von *Portulacca oleracea* eine kreisende Bewegung („circuit“) der in ihnen enthaltenen „Körperchen“ („corpuscules“) (wohl Zellorganellen).

²⁸⁹Vgl. Amici, 1824, S. 67–68.

²⁹⁰„In the tubes of *Hoya carnos*a I have been able to confirm Professor Amici’s observation with respect to circulation taking place in the *boyaux* [der von Brongniart verwendete Begriff für „Pollenschläuche“] of the grains of pollen. In this case the membrane being very transparent, and the granules, before the tube has acquired any considerable length, not being so numerous as to obscure the view of the opposite currents, they were very distinctly seen.

I have also observed circulation in the pollen tubes in a few other cases; especially in *Tradescantia virginica*, in which, while the tube was still very short, the circle partly existing in the tube was completed in the body of the grain. The circular current in grains of pollen before the production of the tube may likewise, in some cases, but not very readily, be distinguished, as in *Lolium perenne*.

It might perhaps be supposed that the molecular motion, which in a former essay I stated I

Um wieder zu Schultz und Meyen zurückzukehren: Auf der Versammlung der Naturforscher und Ärzte 1827 in München verlas Meyen „einen Aufsatz über die Organe der Saftbewegung in den Pflanzen, über ihre Form, Verbindung, Ausdehnung und Entstehung“. Ferner demonstrierte er an *Vallisneria spiralis*²⁹¹ die „Bewegung des s[o] g[enannten] Lebensaftes (Latex)“. „Man sah die Saftkügelchen in den gestreckten Zellen von einem Ende zum andern langsam laufen, umkehren und wieder umkehren, ganz so wie in der Chara.“²⁹²

Auf derselben Versammlung zeigte Schultz „die Saftbewegung in den Blattstielen der Feigenbäume“. Zu dieser und Meyens Demonstration wird in der *Isis* bemerkt, es sei „nie bezweifelt worden, was auch abgeschmackt wäre“, daß „die Säfte sich in den Pflanzen bewegen“. Es sei jedoch „gut und dankenswerth, daß die schon lange in der Chara, Caulinia²⁹³, in Kürbisen [sic!] und mehrern andern Pflanzen von Corti, Fontana, Treviranus und Amici entdeckte Bewegung auch noch in andern Pflanzen dem Auge wirklich dargelegt ist.“²⁹⁴ Es ist unklar, ob dem Gros der Teilnehmer klar geworden ist, daß es sich bei der Rotation²⁹⁵ des „Zellensafts“ in den Internodien der Charen bzw. *Nitella*-Arten sowie in den Zellen der mono-

had seen within the body of the grain of pollen, might have been merely an imperfect view of the circulation of granules, and such I am inclined to think it really was in *Lolium perenne*. I have however also very distinctly seen within the membrane of the grain of pollen in some species of *Asclepias*, vivid oscillatory motion of granules without any appearance of circulation.“ (Brown, [1833], S. 730, Fußn. * [Hervorhebungen im Original].)

²⁹¹ *Wasserschraube*, eine monocotyle Wasserpflanze.

²⁹² *Isis* 21 (1828), Heft 5 u. 6, Sp. 436.

²⁹³ Nach Schleiden, 1845, S. 294, entdeckte Amici 1819 die Zellsaftrotation in *Caulinia*. Laut Amici (1824, S. 43–44) war *Caulinia fragilis* (= *Najas minor*, Kleines Nixenkraut) die Pflanze, die Corti nicht identifizieren konnte und nur als „mia pianta“ bezeichnete.

²⁹⁴ *Isis* 21 (1828), Heft 5 u. 6, Sp. 442–443.

²⁹⁵ Es lassen sich prinzipiell Plasmarotationen und Plasmazirkulationen unterscheiden (s. Strasburger, 1983, S. 16). Bei der von Robert Brown in den Staubfadenhaarzellen von *Tradescantia* beobachteten Cytoplasmabewegung handelt es sich um eine Zirkulation, bei den in den Zellen von z. B. *Chara*, *Nitella* und *Vallisneria* stattfindenden Bewegungen des Plasmas spricht man von „Plasmarotation“. Bei der Zirkulation, die viel unregelmäßiger als die Rotation abläuft, findet die Strömung in den Plasmasträngen, die die Zelle durchziehen, „als auch im Wandbelag in verzweigten, strang- oder bandförmigen Rinnsalen und zwar oft in gegenläufigen Richtungen“ statt (Strasburger, 1983, S. 16). Zu einer zeitgenössischen Unterscheidung zwischen Zirkulation und Rotation s. Unger, 1846, S. 68–69 und Unger, 1855, S. 274.

cotylen Wasserpflanzen²⁹⁶ *Vallisneria spiralis* und *Hydrocharis morsus ranae*²⁹⁷ um ein prinzipiell anderes Phänomen handelte als den von Schultz behaupteten Kreislauf des „Lebenssafts“ in entsprechenden Gefäßen. Generell boten die von Schultz und Meyen beschriebenen Phänomene Raum für mannigfaltige, z. T. auch sehr schwärmerische Deutungen.²⁹⁸

Schultz bezeichnete im zweiten Teil seiner „Natur der lebendigen Pflanze“, der 1828 erschien, die Saftzirkulation in den Charen-Internodien zur Unterscheidung vom „Lebenssaft“-Kreislauf als „Rotation“.²⁹⁹ Den Kreislauf des Lebenssaftes wiederum nannte er nun „Cyklose“ oder „Kreisen“, um noch einmal hervorzuheben,³⁰⁰ daß die „aufsteigenden und absteigenden Strömungen [sich nicht] unmittelbar und ununterbrochen von der Wurzelspitze bis zu den Blättern und umgekehrt“ bewegen, wie „einige Botaniker“ seine Theorie interpretiert hätten, sondern es sich um „netzförmig anastomosirende Gefäßkreise“ mit relativer Selbst-

²⁹⁶Siehe Meyen, 1826b, S. 849–862; vgl. Schleiden, 1845, S. 292–294. Meyen berichtete später (Meyen, 1828a, S. 70–79; Ders., 1830b, S. 181–182) auch noch von einer (mehr oder weniger deutlichen) „kreisenden Bewegung des Zellensaftes“ in *Stratiotes aloides* (Krebsschere), *Sagittaria sagittifolia* (Pfeilkraut), *Cucurbita* (Kürbis), *Cucumis* (Gurke), *Potamogeton filiformis* (eine Laichkrautart) und *Aloe*. Außerdem wurde er von Nees von Esenbeck darauf aufmerksam gemacht, daß die „Erscheinung der kreisenden Saftbewegung auch in den Fruchtstielen der Jungermannien [eine Gruppe der Lebermoose] zu sehen sei“, was er an Hand der „Bewegung der Zellen-Saft-Bläschen“ bestätigte (Meyen, 1834, S. 8–9, Fußn. *). Später korrigierte Meyen (1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 250) seine Ausführungen dahingehend, daß die Bewegungen „in den Zellen im Inneren der Kürbiß-Pflanze, der Potamogetonen und Aloe-Arten“ sowie der Gurken keine „Rotations-Strömungen“ seien, sondern überwiegend unbestimmte, oszillierende Bewegungen der einzelnen „Zellensaft-Kügelchen“.

²⁹⁷*Froschbiß*, eine Schwimmblattpflanze.

²⁹⁸Eine äußerst eigenwillige Interpretation der in den Internodien der Charen und den Zellen anderer Pflanzen beobachteten Plasmarotationen sowie der von Schultz beschriebenen Milchsaftbewegungen lieferte der Bonner Professor der Anatomie und Physiologie August Franz Joseph Carl Mayer (1787–1865) (zu den im folgenden angeführten Zitaten s. Mayer, 1827, S. 50–52). Für Mayer handelt es sich bei den sich bewegenden „Saftkügelchen“ letztlich um Tiere aus der Gruppe der „Infusorien“. Offensichtlich in Anlehnung an Buffon bezeichnet er diese „Kügelchen“ als „die Urwesen alles Lebendigen, die elementarischen Atome, *Molécules*, aus welchen alle andere organischen Wesen zusammengesetzt sind“. Daher nannte er sie „Lebenskügelchen“ bzw. „Biosphären“. Da diese „Biosphären“ nach Art der Tiere spontane Bewegungen aufwiesen, betrachtete er sie als „Urthiere alles Organischen“ oder als „Elementar-thiere“. Deshalb sei das „Element, woraus die Pflanze wächst und sich bildet, eine thierische Flüssigkeit, ein Pflanzenblut, ein mit Urthieren angeschwängelter Saft, welche Thiere in der Pflanze und zu ihr erhärten und sich in sie umwandeln.“ Da sich Pflanzen also aus einem „thierischen Element“ bilden, sei eine Pflanze nichts anderes als ein „Thier, eine Hülle für Myriaden von Thieren, Thiere die mit einer Rinde bepanzert, und in ihr eingeschlossen sind.“ Auf diese Weise hob Mayer die klassische Unterscheidung des Organischen in ein pflanzliches und ein tierisches Reich auf. Für ihn gibt es „keine fremde Pflanzenwelt mehr [ihm] [...] gegenüber, kein anderes von [seinem eigenen] [...] Leibe verschiedenes Reich“, sondern nur noch „ein organisches Wesen“.

²⁹⁹Schultz, 1823–1828, Bd. 2, 1828, S. 478, 486, 488; s. a. Schultz, 1828b, S. 40; 1828c, S. 129–130; 1841, S. 94.

³⁰⁰Vgl. oben, S. 184.

ständigkeit³⁰¹ handele, die dem „peripherischen Gefäßsystem der Thiere“ vergleichbar seien.³⁰² Auch später betonte Schultz immer wieder, daß der „Rindensaft“, also der „Lebenssaft“, sich nicht nur abwärts bewege, sondern auch aufwärts und überhaupt in alle Richtungen.³⁰³

Schultz bestand auf einer strikten Trennung zwischen den Phänomenen der „Rotation“ des Saftes in einzelnen Zellen und der „Cyklose“. Gleichzeitig bekräftigte er mit dieser Unterscheidung seine nach physiologischen Gesichtspunkten getroffene Unterteilung des Pflanzenreichs („division physiologique des plantes“)³⁰⁴, sein „physiologisches Pflanzensystem“, das er als ein natürliches Klassifikationssystem betrachtete³⁰⁵. Während er anfangs von „holzlosen“ und „Holzpflanzen“ sprach, teilte er jetzt die Pflanzen grundsätzlich in „Homorgana“ und „Heterorgana“ ein.³⁰⁶ Bei den „heterorganischen“ Pflanzen handele es sich um „echte Gefäßpflanzen“ („vraies plantes vasculaires“³⁰⁷) mit Differenzierung der

³⁰¹Eng verknüpft mit dem Vorkommen relativ selbständiger Lebenssaftgefäßkreise ist Schultz' „Anaphytosenlehre“. Diese originelle Anschauung basiert auf Schultz' früherer These (s. o., S. 176–177), daß die Wurzel, der Stamm bzw. Stengel und die Blätter keine wesentlich verschiedenen Pflanzenteile und somit keine echten Pflanzenorgane mit spezifischen Funktionen seien, da sie ineinander umwandelbar seien und unter bestimmten Umständen auch die Funktion der anderen Teile übernehmen könnten (s. Schultz, 1843b, S. III, 4, 47–48, 51–52; s. a. Schultz, 1828b, S. 19–20). Die Pflanze ist für Schultz aus „individuellen Gliedern (Anaphyta) [zusammengesetzt], deren jedes das Ganze repräsentirt und sich fortpflanzen und keimen kann“ (Schultz-Schultzenstein, 1867, S. 17). Selbst Wurzel, Stengel und Blätter sind nicht einzelne Anaphyta, sondern aus solchen zusammengesetzt (s. Schultz, 1847, S. 6). Ein Anaphyton ist für Schultz offenbar das kleinstmögliche Pflanzenglied, aus dem notfalls eine ganze Pflanze hervorgehen kann und das über eine vollständige physiologische Grundausstattung und damit auch einen eigenständigen Lebenssaftgefäßkreis verfügt. Der Pflanzenaufbau, dessen Wesen in der Verzweigung bestehe, geschehe „durch eine Generation und Aufschichtung immer neuer Elementarindividuen [den Anaphyta], durch ein beständiges Sprossen“, so daß „die Pflanze kein einfaches Individuum, wie das Thier ist, sondern als ein Aufbau vieler Urindividuen zu einem Familienstammbaum durch Verzweigung der gliederförmigen Urindividuen erscheint, von denen jedes einzelne vom Ganzen getrennt, als Ableger keimen und die Pflanze vermehren kann“ (Schultz-Schultzenstein, 1867, S. 104; s. a. Schultz-Schultzenstein, 1874, S. 200). Dieses „beständige Sprossen“, diese rein „äußere Verjüngung“, nannte Schultz „Anaphytose“ (s. Schultz, 1843b, S. 32). Die Pflanzen besitzen für Schultz nur eine solche äußere Verjüngung, keine innere Verjüngung der Organe, wie sie für Tiere typisch sei. Während bei der Verjüngung der inneren Organe der Tiere „Mauserstoffe“, also echte Exkremente, anfielen, stürben bei den Pflanzen bestimmte Glieder und Schichtenbildungen, z. B. die Blätter oder ältere Holz- und Rindenschichten, als *Ganzes* ab (s. Schultz-Schultzenstein, 1867, S. 66–67, 103–105). Schultz' Anaphytosenlehre vom Aufbau der Pflanzen aus individuellen Gliedern, die Verzweigungssysteme bilden, wurde hauptsächlich in Frankreich rezipiert und mindestens noch in den 1970er Jahren diskutiert (s. Cusset, 1982, S. 45–46).

³⁰²Schultz, 1823–1828, Bd. 2, 1828, S. 486–488; s. a. Schultz, 1828c, S. 129.

³⁰³Siehe Schultz, 1841, S. 327–330.

³⁰⁴Schultz, 1839, S. 89.

³⁰⁵Siehe Schultz, 1832.

³⁰⁶Siehe hierzu insbesondere Schultz, 1832, S. 155–156.

³⁰⁷Schultz, 1839, S. 89.

Gefäße in Tracheen und „Lebenssaftgefäße“ („vaisseaux du latex“),³⁰⁸ wohingegen die „homorganischen“ Pflanzen eben keine solche Gefäßdifferenzierung aufwiesen. Eine „Rotation“ des Zellsafts komme nur in den „homorganischen“ Pflanzen vor, eine Cyklose nur in den „heterorganischen“ Pflanzen.³⁰⁹ In den „homorganischen“ Pflanzen übernehme die „Rotation“ der in den verschiedenen Zellen („cellules“) und Schläuchen („utricules“) enthaltenen Säfte die physiologische Funktion der unterschiedlichen Gefäße und des Zellgewebes der höheren Pflanzen.³¹⁰

Eine solche dogmatische Trennungslinie zwischen dem Vorkommen von „Rotation“ und „Cyklose“ war nicht im Sinne Meyens. Meyen vermutete zwar auch zunächst, daß es keine Pflanze geben könne, die ein auf Gefäßen beruhendes Zirkulationssystem besitzt und gleichzeitig „in ihren Zellen [...] eine eigenthümliche Bewegung zeigt“.³¹¹ Angesichts der von R. Brown entdeckten Plasmazirkulation in den Staubfadenhaarzellen von *Tradescantia* und seiner eigenen Beobachtungen solcher Bewegungen hauptsächlich in Wurzelhaaren und anderen „Haar-förmigen Gebilden“ zahlreicher Pflanzen änderte er jedoch seine Ansicht.³¹² Schultz hingegen betrachtete die in einzelnen Zellen beobachtbaren Zirkulationen und Rotationen des Plasmas nicht als eigenständiges, abgeschlossenes, auf die jeweilige Zelle beschränktes Phänomen, sondern als Teil der allgemeinen Cyklose des Lebenssafts, dessen Strömungen in den Zellen besonders fein verzweigt seien.³¹³

Noch in einem anderen Punkt änderte Meyen seine Meinung: Während er früher annahm, daß den Rotationsströmungen der „Kügelchen“ in den Zellen von *Chara*, *Najas*, *Vallisneria* usw. eine passive Bewegung zugrundeliege, indem die „Kügelchen“ im eigentlich bewegten Zellsaft nur „mitschwimmen“,³¹⁴ ging er später davon aus, daß die Rotationsströmung auch auf einer Eigenbewegung der

³⁰⁸Schultz, 1839, S. 87, 89, 105–106, 110. Schultz' weitere Unterteilung der Abteilungen der „Homorgana“ und „Heterorgana“, z. B. der „Heterorgana“ nach Art der Verteilung des Holz- und Bastteils in „Synorgana“ und „Dichorgana“ sowie dieser beiden Gruppen in verschiedene Klassen (s. Schultz, 1832, S. 157–172), braucht hier nicht näher behandelt zu werden. Der Ursprung einer auf pflanzenanatomischen Kriterien fußenden Systematik liegt in Desfontaines' Erkenntnis, daß die monocotylen Pflanzen zerstreute Gefäßbündel aufweisen, während die dicotylen Pflanzen (mit sekundärem Dickenwachstum) durchgängige, konzentrische Holz- und Bastringe ausbilden (s. Desfontaines, [1797/1798]).

³⁰⁹Schultz, 1839, S. 109–110.

³¹⁰Schultz, 1839, S. 45.

³¹¹Meyen, 1826b, S. 866.

³¹²Siehe Meyen, 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 246–249.

³¹³Siehe Schultz, 1841, S. 108–110.

³¹⁴Meyen, 1830b, S. 178. Meyen verglich die kreisende Bewegung des Zellsafts mit dem Lauf der Planeten um die Sonne und betrachtete die Ursache der Saftbewegung als der Gravitation analog: „Es erscheint also die Wirkung des Lebens [gemeint ist die Verursachung der kreisenden Bewegung des Zellsafts] [...] analog der der Schwere, die man daher auch für den allgemeinsten Ausdruck des Lebens unseres Sonnensystems halten kann“ (Meyen, 1830b, S. 183; vgl. Meyen, 1826b, S. 862–865). Auch Carl Adolph Agardh (1785–1859), Professor für Botanik und Praktische Ökonomie in Lund, verglich die Saftströmung in den Charen mit dem „elliptischen Kreislauf der Himmelskörper“ (s. Agardh, 1826, S. 117, 125).

„Kügelchen“ und der übrigen festen Bestandteile der Zellen beruhen könne oder zumindest eine solche Eigenbewegung daran beteiligt ist.³¹⁵

Außer bei Meyen, der trotz aller Unterschiede im Detail mit ihm mehr oder weniger auf einer Linie lag, fand Schultz im deutschsprachigen Raum ansonsten so gut wie keinen Anklang mit seinen Theorien. Über diese Situation enttäuscht, schrieb er 1829 an die Pariser Akademie der Wissenschaften einen Brief, der 1831 in den *Annales des sciences naturelles* veröffentlicht wurde.³¹⁶ Die Akademie nahm dies 1833 zum Anlaß, einen Preis für die Klärung der Saftkreislauffrage auszuloben. Nur Schultz reichte eine Abhandlung³¹⁷ ein, die dann auch ausgezeichnet wurde.

Es handelt sich bei diesem preisgekrönten Traktat um ein sorgfältig ausgearbeitetes Werk mit zahlreichen aussagekräftigen anatomischen Abbildungen. Schultz unterscheidet darin drei verschiedene Arten von „vaisseaux vitaux“ („Lebensgefäßen“) bzw. „vaisseaux laticifères“ („Lebenssaft“ [„latex“] führenden Gefäßen), die aber entwicklungsgeschichtlich betrachtet letztlich nur verschiedene Altersstufen darstellen sollen.³¹⁸ An Hand der Beschreibungen und anatomischen Abbildungen erkennt man deutlich, daß es sich bei einigen dieser „vaisseaux laticifères“ um Siebröhren bzw. Siebzellen handelt.³¹⁹ In den Kernpunkten seiner Lehre blieb Schultz natürlich seiner Auffassung vom Lebenssaftkreislauf treu, obgleich dieses Thema sogar etwas in den Hintergrund gerückt ist. Breiten Raum nimmt Schultz' bereits erwähnte physiologische Unterscheidung zwischen „homorganischen“ und „heterorganischen“ Pflanzen ein.

Schultz unternahm einige Anstrengungen, um in Frankreich ein positives Echo auf seine Theorie zu erhalten. 1830 zeigte er Cuvier die Saftbewegung „in den Kelchblättern von *Chelidonium majus*“.³²⁰ Im selben Jahr gaben die französischen Botaniker Cassini³²¹ und Mirbel eine positive Stellungnahme zur Zirkulation des Milchsafts ab, die 1831 in den *Annales des sciences naturelles* veröffentlicht wurde.³²² Mirbel verteidigte dort auch die Beobachtungen Schultz' gegen Amici und

³¹⁵Meyen, 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 234–235, 249–256. Veranlaßt hierzu wurde Meyen u. a. durch Beobachtungen einer „Molekular-Bewegung“ der „Zellensaft-Kügelchen“ und der übrigen festen Stoffe in den Zellen zahlreicher Pflanzen, worunter er hauptsächlich unbestimmte, oszillierende Bewegungen verstand, deren Ursache er in den Körperchen selbst annahm. Ferner wollte er Übergänge zwischen diesen „Molekular-Bewegungen“ und einer rein fortschreitenden Bewegung, wie sie in der Rotationsströmung vorliege, festgestellt haben. (Siehe Meyen, 1837–1839, Bd. 2, 1838, S. 249–256.)

³¹⁶Schultz, 1831.

³¹⁷Schultz, 1839.

³¹⁸Schultz, 1839, S. 3–11.

³¹⁹Vgl. Schultz, 1839, S. 14, 17, 20–35.

³²⁰Schultz, 1841, S. 290. Laut Schultz habe Cuvier ausgerufen: „Voilà une circulation comme dans la patte d'une grenouille“ (ebd.).

³²¹Alexandre Henri Gabriel vicomte de Cassini (1781–1832).

³²²Cassini / Mirbel, 1831.

R. J. H. Dutrochet (1776–1847).³²³ Amici hatte eingewandt, die von Schultz behauptete Zirkulation sei in Wirklichkeit nur „une simple oscillation“ des Safts, wie sie bereits von Bonnet angenommen worden sei.³²⁴ Dutrochet wiederum hielt die von Schultz beobachtete Milchsaftebewegung für eine optische Täuschung, hervorgerufen durch Schultz' Methode, im unmittelbar reflektierten Sonnenlicht zu beobachten.³²⁵ Auch der Genfer Professor der Botanik Augustin Pyrame de Candolle (1778–1841) zeigte sich skeptisch. Schultz hatte ihm 1827 auf der Versammlung der Naturforscher und Ärzte in München die Bewegung des Milchsafte in den Blättern von Feigen gezeigt.³²⁶ Ferner schrieb er ihm drei Briefe,³²⁷ um ihn für seine Lehre vom Lebenssaftkreislauf zu gewinnen, doch De Candolle ließ sich in den wesentlichen Punkten nicht überzeugen. Zwar erkannte er im Gegensatz zu manch anderen Naturforschern eine Bewegung des Milchsafte, auch in Form von Zirkulationen, an,³²⁸ doch lehnte er Schultz' vitalistische Interpretationen der Bewegungsursache völlig ab³²⁹. Ferner schloß er sich der Ansicht L. C. Treviranus' an, wonach der Milchsafte lediglich ein Sekret, und nicht den eigentlichen Nahrungssaft, darstelle.³³⁰

Außerhalb Frankreichs bzw. des französischsprachigen Raums erhielt Schultz Unterstützung von Paolo Savi (1798–1871), Professor für Naturgeschichte an der Universität Pisa. Gegen frühere Angriffe Dutrochets bestätigte er eine „circolazione“ in „einigen Gefäßen der Blätter“ („alcuni vasi delle foglie“) von *Chelidonium majus*.³³¹ Allerdings wird aus seinen Ausführungen nicht deutlich, inwieweit er Schultz' Auffassung eines die gesamte Pflanze umfassenden Kreislaufs teilte oder „circolazione“ lediglich im allgemeinen Sinne einer Bewegung verstanden wissen wollte.

³²³Siehe die kritischen Anmerkungen Mirbels (*Annales des sciences naturelles* 12 [1831], S. 429–432) zu Amicis Brief (Amici, 1831), den dieser an ihn gesandt hatte.

³²⁴Amici, 1831, S. 428–429.

³²⁵Dutrochet, 1831. Dutrochet füllte in ein Glasröhrchen von ca. einem halben Millimeter Durchmesser den gelben Milchsafte von *Chelidonium majus* und legte das Röhrchen unter sein Mikroskop. Im direkten Sonnenlicht schien es, als sei der Milchsafte in einer lebhaften Bewegung in Längsrichtung der Röhre. Durch Beobachtung der Flüssigkeitssenden konnte Dutrochet jedoch feststellen, daß sich der Saft in Wirklichkeit nicht weiterbewegt hatte. Bei diffusem Licht verschwand diese scheinbare Bewegung des Saftes. Lenkte Dutrochet mit Hilfe des Reflexionspiegels die Sonnenstrahlen erneut direkt auf das Objekt, so setzte die Bewegung wieder ein. Daraus schloß er, „que l'influence des rayons solaires sur le liquide laiteux végétal contenu dans un tube de verre y détermine un mouvement moléculaire qui donne à ce liquide l'apparence trompeuse d'un mouvement rapide de translation ou d'un courant. L'apparence de courant produite de même dans les tubes des parties végétales par les rayons solaires *et par eux seuls*, est donc également trompeuse, elle n'indique donc pas davantage dans ces tubes l'existence d'une circulation“ (Dutrochet, 1831, S. 435–436, Hervorhebung im Original).

³²⁶De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 266; Tiedemann, 1830, S. 346, Fußn. 1.

³²⁷Die Briefe wurden in der *Flora* veröffentlicht; s. Schultz, 1828b–d.

³²⁸De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 264–268.

³²⁹De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 268–269.

³³⁰De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 272–273.

³³¹Vgl. Savi, 1825, S. 49–55.

Trotz seines Achtungserfolges in Frankreich und andernorts gelang es Schultz auf Dauer nicht, seine Theorie durchzusetzen. Die Unterstützung Meyens entfiel durch dessen Tod 1840. Ein weiterer Markstein auf dem Weg zum Ende der Schultzschen Theorie war die vernichtende Kritik Hugo Mohls, der 1843 in einem Beitrag zur *Botanischen Zeitung* Schultz etliche Beobachtungsfehler und unbegründete Schlußfolgerungen nachwies.³³² Mohls Artikel zog eine äußerst polemische und wütende Gegenreaktion von seiten Schultz' in der *Flora* nach sich³³³, auf die wiederum Mohl mit heftigen Worten antwortete³³⁴.

9.4 Das Ende der Saftkreislauftheorie

Mit der Begründung der Zellentheorie durch Schwann und Schleiden Ende der 1830er und Anfang der 1840er Jahre wurde schließlich das Ende für die Saftkreislauftheorie eingeleitet. Die Zellentheorie besagt, daß die Zellen die einzigen Elementarteile der Organismen sind und sämtliche anderen Strukturelemente, die man sonst noch unterschieden hatte, wie bei den Pflanzen Fasern und Gefäße, keine echten eigenständigen Elementarteile, sondern letztlich nur Modifikationen, Fusionen oder andere Umgestaltungen von Zellen darstellen, sich also auf Zellen zurückführen lassen. Die Zellentheorie führte zwar nicht eo ipso zum Verschwinden der Saftkreislauflehre, trug aber indirekt dazu bei. Dieser Vorgang wird besonders durch die Schriften Schleidens deutlich.

Matthias Jacob Schleidens (1804–1881) Ziel war – wie bereits der Titel seines 1842 in erster Auflage erschienenen Programms besagte – die Begründung einer „wissenschaftlichen Botanik“, die auf der induktiven Methode³³⁵ beruhen sollte. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die spekulative romantische Naturphilosophie aus den Naturwissenschaften und den Köpfen des naturwissenschaftlichen

³³²Vgl. Mohl, 1843a.

³³³Vgl. Schultz, 1843a.

³³⁴Vgl. Mohl, 1843b.

³³⁵Zu Schleidens Ablehnung des dogmatisch-deduktiven Ansatzes und seinem Plädoyer für die induktive Methode (inklusive Zitaten aus Francis Bacons „Novum organum“) s. Schleiden, 1845, S. 4–7; vgl. Ders., 1844, S. 18–19, 20, 22, 68–72, 77, 81. Aufschlußreich ist Schleidens Charakterisierung der „Methode der Induction“ als der „allein Fortschritt sichernden und eben deshalb zugleich jede gewaltsame Umwälzung unmöglich machenden“ (1844, S. 22). Bereits Fries, von dem Schleiden in philosophischer Hinsicht sehr beeinflusst war, hob hervor, durch die „kritische Methode“ in der Philosophie könne man „dahin gelangen [...], alle theoretischen Wissenschaften nach einem bestimmten Plane zu bearbeiten und in aller Spekulation auf einen geraden Fortschritt zu kommen, bey dem man nicht immer wieder genöthigt würde von Zeit zu Zeit das früher gesagte zurückzunehmen. Es würde dann keiner *wissenschaftlichen Revolution* mehr bedürfen, sondern alle Verbesserungen müßten sich in *friedliche Reformen* verwandeln, bey denen das früher gefundene doch immer als Wahrheit stehen bliebe, wobey man aber freylich an der schnellen Produktion vollendet scheinender Systeme verlieren würde“ (Fries, 1803, S. 306 [zitiert von Schleiden (1844, S. 19)], Hervorhebungen nicht im Original]). Diese Äußerungen sind natürlich vor dem Hintergrund des Zeitalters der bürgerlichen Revolutionen zu betrachten.

Nachwuchses verbannt,³³⁶ vitalistische Vorstellungen wie die einer „Lebenskraft“ zurückgedrängt³³⁷ und statt dessen eine mechanistische Erklärung der Lebensphänomene angestrebt, d. h. „[a]lle Erscheinungen, welche uns am Pflanzenorganismus entgegentreten, auf die ihnen zu Grunde liegenden physikalischen und chemischen Erscheinungen“ zurückgeführt werden³³⁸. Schleiden spricht zwar vom „Bildungstrieb“, eine Vorstellung, die auf Blumenbach zurückging³³⁹ und durch Kants wohlwollende Äußerung in der „Kritik der Urtheilskraft“³⁴⁰ gewissermaßen geadelt worden war, doch darf daraus nicht auf einen vitalistischen Rest in Schleidens Programm geschlossen werden. Für Schleiden sind nämlich die „Bildungstriebe“, die den organischen Gestaltungen zugrunde lägen, auch nur „Combinationen“ – wenn auch noch unbekannter Art – der physikalischen Grundkräfte.³⁴¹ Im Gegensatz dazu betrachtet er die von ihm abgelehnte „Lebenskraft“ als eine „von den physikalischen Kräften qualitativ und ursprünglich verschiedene [...] Grundkraft“.³⁴²

Wie Schleidens konkrete Vorschläge zur Ausführung seines Programms zeigen, ist bei ihm der Höhepunkt einer Tendenz erreicht, die bereits um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert deutliche Formen angenommen hatte³⁴³: die Verlagerung

³³⁶Schleiden griff mit aller Härte Hegels und Schellings Naturphilosophie an. Der Auslöser für seine Attacke, in der er seiner Verärgerung über die unfundierten und wilden Spekulationen der Hegelschen und Schellingschen Schule freien Lauf ließ, war die ungünstige Rezension Nees von Esenbecks der ersten Auflage seiner „Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik“ in der „Jenaer Literatur-Zeitung“ vom Mai 1843. Schleiden wehrte sich gegen diese Rezension mit seiner Streitschrift „Schelling’s und Hegel’s Verhältniss zur Naturwissenschaft“ (1844). Dabei war er sich natürlich darüber im klaren, daß der „Kampf gegen [die spekulative Naturphilosophie] [...] nur auf dem Gebiete der Philosophie entschieden werden“ kann; „innerhalb der Naturwissenschaften selbst“ könne „man sie nur entweder mit der factischen Verworrenheit ihrer Begriffe, oder mit ihrer Unwissenheit in den empirischen Thatsachen *argumento ad hominem ad absurdum* führen; eine andre Widerlegung ist auf unserm Gebiete gar nicht möglich“ (Schleiden, 1844, S. 22; vgl. *ibid.*, S. 23, 67–68, 85; Schleiden, 1845, S. 8, 19, 20). Philosophie betrachtete Schleiden durchaus als notwendig, doch sollte es die „gesunde Kantisch-Fries’sche Philosophie“ sein (Schleiden, 1844, S. 21–22; s. a. *ibid.*, S. 85–86).

³³⁷Schleiden, 1845, S. 57–61, 279, 322.

³³⁸Schleiden, 1845, S. 75; vgl. *ibid.*, S. 143, 279.

³³⁹Zur Definition des „Bildungstriebes“ („*nisus formativus*“) s. Blumenbach, 1791, S. 31–32.

³⁴⁰Kant, 1995 [1790], Bd. 4, S. 336–337.

³⁴¹Schleiden, 1845, S. 50–51; vgl. *ibid.*, S. 53: „Unter die allgemeinste naturwissenschaftliche Aufgabe, allen Wechsel der Erscheinungen auf Bewegungen zurückzuführen und nach mathematischen Gesetzen aus Grundkräften der Anziehung und Abstossung zu erklären, fällt auch die Construction des Bildungstriebes. Von der Lösung dieser Aufgabe sind wir noch so weit entfernt, wie man von der Construction der Gravitationsprocesse vor Newton, vielleicht selbst vor Kepler entfernt war. Das thut aber der Richtigkeit der Aufgabe keinen Abbruch. Am nächsten wird und muss diese Aufgabe bei den Krystallen gelöst werden, und dass zwischen diesen und den sogenannten Organismen kein absoluter Gegensatz sey, sondern nur ein gradweiser Unterschied zwischen analogen Naturprocessen, hat uns Schwann mit eminentem Scharfsinn inductorisch entwickelt.“ (Siehe auch Schleiden, 1845, S. 70–71.)

³⁴²Schleiden, 1845, S. 59.

³⁴³Siehe Kap. 9.1–9.2.

des Hauptaugenmerks physiologischer Forschung von Prozessen, an denen man sich die Pflanze als Ganzes beteiligt vorstellte, auf Vorgänge in den einzelnen Zellen. Im Gegensatz zu den Tieren sei bei den Pflanzen „die Individualität des Ganzen zurückgesetzt gegen die des Elementarorgans [der Zelle]“, „die ganze Pflanze“ schein „nur für und durch das Elementarorgan zu leben“.³⁴⁴ Daraus zieht Schleiden folgende Konsequenz:

„[Bei] den Pflanzen [...] reducirt sich die ganze Physiologie fast nur auf das Leben der Pflanzenzelle, und die Lebensthätigkeit der ganzen Pflanze, insofern sie aus dem Leben der Zelle nicht abgeleitet werden kann, ist höchst unbedeutend und uns noch meist unbekannt.“³⁴⁵

In einem späteren Werk behauptet Schleiden, es gebe „keinen besonderen Ort in der Pflanze [...], wo vorzugsweise die sogenannten rohen Nahrungsstoffe [...] in Nahrungssäfte umgewandelt würden, [...] vielmehr [gehe] dieser Aneignungsprozeß *in jeder einzelnen Zelle* vor sich“.³⁴⁶ Generell spielen sich für Schleiden alle „chemischen Prozesse, welche beim Pflanzenleben in Frage kommen, also auch Alles Gebunden- und Freiwerden gasförmiger Stoffe, [...] unmittelbar im Inneren der Zellen“ ab.³⁴⁷ Entsprechend betrachtet er die traditionelle Vorstellung, daß ein „roher Nahrungssaft“ von den Wurzeln zu den Blättern aufsteige, wo er assimiliert werde, und danach als „assimilirter Nahrungssaft“ wieder absteige, als „Phantasiestück“.³⁴⁸

Für Schleiden gibt es überhaupt keine „Gefäße, welche die Nahrungsflüssigkeit im Körper der Pflanze vertheilen“.³⁴⁹ Statt dessen erklärt er die Verteilung der Nahrungsflüssigkeit in der Pflanze durch „Endosmose“ von Zelle zu Zelle.³⁵⁰ Allein

³⁴⁴Schleiden, 1845, S. 67. Bereits bei Meyen findet sich eine sogar noch stärkere Betonung der Individualität der Pflanzenzellen: „Wir halten jede Zelle für einen für sich bestehenden Organismus, und die ganze Pflanze ist aus vielen solchen kleinen Organismen zusammengesetzt“ (Meyen, 1830a, S. 445; s. a. Ders., 1834, S. 17–18). Bekanntlich sprach auch Theodor Schwann den Zellen, nicht nur der Pflanzen, sondern auch der Tiere, ein „selbständiges Leben“ zu (s. Schwann, 1910 [urspr. 1839], S. 188–190).

³⁴⁵Schleiden, 1845, S. 67; vgl. *ibid.*, S. 143: „Fast unsere ganze Physiologie besteht in einem unklaren Hin- und Herreden über die Functionen ganzer Organe und ganzer Pflanzen, aus dem gar nichts zu machen ist, weil es an aller Grundlage fehlt, von welcher man ausgehen könnte. Alle die endlosen Versuche, Abhandlungen und Streitigkeiten über die Ernährung der Pflanzen, über den Athmungsprocess u. s. w. sind sammt und sonders für die Vergessenheit geschrieben, weil alle sich mit ihren Fragen an die ganze Pflanze wenden, ehe sie wissen, wie es mit der einzelnen Zelle steht.“

³⁴⁶Schleiden, 1850, S. 134 (Hervorhebung nicht im Original).

³⁴⁷Schleiden, 1850, S. 151.

³⁴⁸Schleiden, 1850, S. 123–124.

³⁴⁹Schleiden, 1845, S. 310; s. a. Ders., 1850, S. 108–109.

³⁵⁰Schleiden, 1845, S. 310; s. a. Ders., 1850, S. 108–109. Dutrochet bezeichnete das Einströmen von Wasser in Zellen, hervorgerufen durch die konzentrierten Lösungen, die sie in ihrem Inneren enthalten, als „Endosmose“. Noch heute spricht man von „Osmose“. Bei der „Osmose“ wirkt das Plasmalemma als selektiv permeable Membran, die für Wasser sehr viel leichter durchlässig

die Neigung zu Analogieschlüssen habe die Botaniker verleitet, wie bei den Tieren so auch bei den Pflanzen Gefäße anzunehmen. Die Gefäße bzw. Gefäßbündel seien „eine im Ganzen sehr unwesentliche Modification des Zellgewebes“, da man sie in vielen Pflanzen und Pflanzenteilen gar nicht antreffe, und im übrigen nicht *Ursache*, sondern *Folge* der Saftbewegung.³⁵¹ So entstünden die sog. Gefäße erst infolge von Saftströmen in bestimmter Richtung, die zu einer Längsstreckung der betroffenen Zellen führten.³⁵² Unter diesen Umständen führten die Gefäße aber auch nur am Anfang ihrer Entwicklung Saft, später jedoch nur noch Luft.³⁵³ Natürlich kannte Schleiden „zusammenhängende Röhren oder Canäle“ in den Pflanzen, die entweder „mit eigenen Wänden versehene Zellenreihen“ seien, „die man leider ohne Nachdenken ‘Gefäße’ genannt“ habe, oder „Zwischenzellengänge“ und „Zwischenzellenräume“ (Intercellularen) ohne eigene Wand.³⁵⁴ Sowohl in den Intercellularen als auch in den „Gefäßen“ finde man jedoch, solange die untersuchten Pflanzen noch frisch seien, nur Luft.³⁵⁵

Schleiden begründete, wie sich soeben zeigte, seine Ansicht, es gebe keine Gefäße in den Pflanzen, auch mit entwicklungsgeschichtlichen Argumenten. Die Entwicklungsgeschichte der pflanzlichen Elementarorgane war naturgemäß eines der Fundamente der Zellentheorie. Schleiden betrachtete das „Studium der Entwicklungsgeschichte“ als „die *einzig*e Möglichkeit, zu wissenschaftlicher Einsicht in der Botanik zu gelangen“.³⁵⁶ Zwar habe Robert Brown die pflanzliche Entwicklungsgeschichte „zuerst allgemein“ angewendet, doch sei er, Schleiden, der erste gewesen, „sie als Princip *auszusprechen*“.³⁵⁷

Interessanterweise gibt Schleiden zu, daß die Entstehung der Milchsaftegefäße aus Zellen noch nicht gesichert sei.³⁵⁸ Schleidens Zurückhaltung in diesem Fall könnte durch Schultz' Arbeiten bedingt sein. Schultz hatte sich ausgiebig mit der Entwicklungsgeschichte der „Lebensgefäße“ beschäftigt³⁵⁹ und, wie sollte es anders sein, die Vorstellung, daß sich alle Pflanzenorgane auf Zellen zurückführen lassen, abgelehnt.³⁶⁰

ist als für die meisten der darin gelösten Stoffe, so daß der Konzentrationsausgleich zwischen Zellinnerem und -äußeren durch das Einströmen von Wasser den Konzentrationsausgleich durch Diffusion der gelösten Teilchen stark überwiegt. (Nach Strasburger, 1983, S. 314.) Zu Schleidens Diskussion der „Endosmose“ bzw. des umgekehrten Vorgangs des Ausströmens von Wasser („Exosmose“) s. Schleiden, 1845, S. 272–275.

³⁵¹Schleiden, 1845, S. 249–250.

³⁵²Schleiden, 1845, S. 249–250; s. a. Ders., 1850, S. 115.

³⁵³Schleiden, 1845, S. 319; s. a. Ders., 1850, S. 108–109, 115–116.

³⁵⁴Schleiden, 1850, S. 108.

³⁵⁵Schleiden, 1850, S. 108.

³⁵⁶Schleiden, 1845, S. 136 (Hervorhebung im Original); vgl. *ibid.*, S. 141: „jede Hypothese, jede Induction in der Botanik ist unbedingt zu verwerfen, welche nicht durch Entwicklungsgeschichte orientirt ist.“

³⁵⁷Schleiden, 1844, S. 16 (Hervorhebung im Original).

³⁵⁸Schleiden, 1845, S. 213, 284.

³⁵⁹Schultz, 1839, S. 3–11; Ders., 1841, S. 218–240.

³⁶⁰Siehe Schultz, 1841, S. 304–307.

Welche Haltung nahm nun Schleiden zu Schultz' Theorie vom Kreislauf des „Lebenssafts“ ein? Daß Schultz in seiner ganzen Art Schleiden verhaßt gewesen sein muß, zeigt schon eine entsprechende Bemerkung in Schleidens Kampfschrift gegen die Hegelsche und Schellingsche Naturphilosophie.³⁶¹

„Selbstverständlich“ lehnt Schleiden die Schultzsche Theorie mit aller Deutlichkeit ab. Er gibt zwar zu, daß sich der Milchsafte bewegt, was sich in den Blättern von *Alisma plantago* (Froschlöffel) besonders leicht beobachten lasse, doch geschehe dies „bald schneller, bald langsamer, und in demselben Gefäß bald in der einen, bald in der andern Richtung, aber häufig abwechselnd mit sehr langen Perioden des Stillstandes.“³⁶² Eine „regelmässige Bewegung in bestimmter Richtung“ habe er nie feststellen können.³⁶³ Die empirische Basis für die Annahme eines Kreislaufs war somit für Schleiden nicht gegeben.

Es läßt sich heute nicht mehr klären, ob es in den 1840er Jahren definitiv möglich gewesen wäre, allein aus mikroskopischer Beobachtung die Frage zu entscheiden, ob die Bewegungen des Milchsafte, erkenntlich an der Ortsveränderung darin enthaltener Partikel, eine Regelmässigkeit irgendeiner Art aufweisen oder tatsächlich völlig unregelmässig ablaufen – mit anderen Worten, ob sich aufgrund reiner Beobachtung die Hypothese eines Kreislaufs in zumindest einigermaßen geordneten Bahnen hätte widerlegen lassen oder nicht. Eine Überprüfung müßte mit den zeitgenössischen Mikroskopen erfolgen, und zwar, angesichts der großen Qualitätsunterschiede der verschiedenen Fabrikate,³⁶⁴ mit den von den einzelnen Beobachtern verwendeten Gerätetypen sowie unter Nachahmung der entsprechenden Beobachtungsbedingungen. Da hierfür das Quellenmaterial viel zu wenig Hinweise enthält, ist ein solcher Versuch von vornherein aussichtslos. Unter modernen Bedingungen angestellte Beobachtungen helfen für die Klärung der wissenschaftshistorisch relevanten Aspekte natürlich nicht weiter.

Viel naheliegender ist es, anzunehmen, daß es letztlich auf die jeweiligen persönlichen Präferenzen und den „Geschmack“ des einzelnen ankam, ob er sich für die Schultzsche Theorie entschied oder nicht. Schleidens ablehnende Haltung charakterisiert ihn zwar in diesem Punkt als vorsichtigen Forscher, der sich nicht

³⁶¹Schleiden, 1844, S. 10, Fußn. *: „Ich ersuche meine Leser das, was ich in Folgendem gegen Herrn Nees [von Esenbeck] sagen musste, mit der Erklärung zusammenzuhalten, welche Mohl [...] [Mohl, 1843b] gegen J. [muß wohl „C.“ heißen] H. Schultz abzugeben sich gezwungen sah, um den Charakter der Schulen an zwei glänzenden Beispielen kennen zu lernen. Anmaassung verbindet sich mit materieller Oberflächlichkeit und Unwissenheit. Macht ein Tüchtiger darauf aufmerksam, so sind den Herren alle Mittel recht, um sich des Gegners zu entledigen.“ Auch noch an anderer Stelle äußert sich Schleiden (1845, S. 194) befriedigt über Mohls Kritik an Schultz: „C. H. Schulze [Schultz], der in jeder Beziehung über Milchsafte und Milchsaftegefäße fabelhaft geträumt hat, lässt das Kaoutschouk analog dem Faserstoff des Blutes in der Flüssigkeit gelöst seyn. Mohl [Mohl, 1843a] hat ihn [...] zurechtgewiesen und da das nicht half [...] [vgl. Schultz, 1843a], die verdiente Züchtigung zukommen lassen [s. Mohl, 1843b].“

³⁶²Schleiden, 1845, S. 322.

³⁶³Ibid.

³⁶⁴Vgl. z. B. Schleidens Ausführungen (1845, S. 89–94) über die Mikroskope seiner Zeit.

ohne weiteres auf unzureichend begründete Theorien einläßt. Auf der anderen Seite gibt es genug Äußerungen Schleidens zu anderen kontroversen Punkten in der Botanik, in denen er auch nicht weniger apodiktisch als andere Autoren Entscheidungen trifft, etwa in der Frage des Vorkommens von Pflanzengefäßen. Mit seiner Ablehnung von saftführenden Pflanzengefäßen,³⁶⁵ die auf der Furcht vor allzu weit gehenden Analogien zum Tierreich gegründet ist, schüttete er letztlich das Kind mit dem Bade aus.

Auf die Zeitgenossen mußte die vernichtende Kritik Mohls und Schleidens an der Schultzschen Theorie einen prägenden Einfluß ausüben. Hinzu kam der nun unaufhaltsame Durchbruch der Zellentheorie und der damit verbundene Aufstieg der Zytologie. Fragen des Ferntransports von Wasser und Assimilaten in entsprechenden Leitungsbahnen standen demgegenüber zunächst zurück. Selbst das prinzipielle Vorkommen eines absteigenden, „assimilierten Safts“ wurde trotz augenscheinlicher Experimente, die auch heute noch zum Nachweis eines solchen in der Rinde absteigenden Assimilatenstroms dienen (z. B. der „Ringelschnitt“³⁶⁶), von Schleiden und seinen Anhängern abgelehnt. Erst langsam konnte sich die alte Erkenntnis eines absteigenden „Rindensaftes“ in den 1850er und 1860er Jahren wieder durchsetzen.³⁶⁷

Das mehr oder weniger leise Verschwinden der Saftkreislauftheorie, auch wenn Schultz selbst wohl bis zu seinem Lebensende an seiner Cykloselehre festhielt, spiegelt sich auch in den verschiedenen botanischen Lehrbüchern wider. Während Seubert in der ersten Auflage seines „Lehrbuchs der gesammten Pflanzenkunde“ Schultz' Theorie, wenn auch ablehnend, kurz behandelt,³⁶⁸ wird sie bereits in der dritten Auflage von 1861 mit keinem Wort mehr erwähnt. Auch Julius Sachs übergeht sie in seinem Lehrbuch der Botanik (1. Aufl. 1868) völlig. Nur in seiner Geschichte der Botanik behandelt er die Saftkreislauflehre kurz, allerdings ohne seinen Zeitgenossen Schultz zu erwähnen. So sagt er lediglich, daß „bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts die Circulation der Pflanzensäfte ein Lieblingsthema geblieben ist, mehr für diejenigen, welche sie bekämpfen, als für die, welche sie vertheidigen wollten.“³⁶⁹

³⁶⁵Siehe oben, S. 210–211.

³⁶⁶Vgl. Molisch, 1916, S. 69–71. Entfernt man die Rinde eines Stammes in Form eines wenige Zentimeter breiten Ringes bis auf den Holzkörper, so bildet sich nach einiger Zeit am oberen Wundrand ein starker Wulst aus, während sich am unteren Wundrand kein oder nur ein viel schwächerer Wulst ausbildet. Dieses Ergebnis läßt sich dahingehend interpretieren, daß durch die Entfernung des Rindenringes der Weg für den Abwärtstransport von Assimilaten und somit substanzbildenden Stoffen unterbrochen wurde und sich demnach die Bildungstoffe am oberen Wundrand stauen, was schließlich zu einer Wulstbildung führt.

³⁶⁷Siehe hierzu das folgende Kapitel.

³⁶⁸Seubert, 1853, S. 97, 167–168.

³⁶⁹Sachs, 1875, S. 494.

9.5 Auswirkungen der Schultzschen Lehre vom Kreislauf des „Lebenssaftes“

Abgesehen von den Diskussionen um das Vorkommen einer „Cyklose“ des „Lebens“- bzw. Milchsafte stellt sich die Frage, welche weiteren, auch indirekten Auswirkungen die Schultzschen Arbeiten auf den Gang der pflanzenphysiologischen Forschung besaßen.

Eine interessante, zeitgenössische Würdigung der Schultzschen Arbeiten findet sich bei Johannes Hanstein (1822–1880). Hanstein beschäftigte sich besonders mit dem Aufbau und der Funktion der Rinde und ihrer einzelnen Gewebselemente.³⁷⁰ Zwar lehnte auch er Schultz' Lehre von der Cyklose des Lebenssaftes ab, erkannte aber, daß der eigentliche Wert der Schultzschen Arbeiten darin bestand, die Milchsaftegefäße, deren Erforschung von den Botanikern fast durchweg vernachlässigt worden war, einer näheren Untersuchung unterworfen zu haben. Insbesondere wurde ihm deutlich, daß Schultz' „Lebenssaftgefäße“ nicht nur die eigentlichen Milchröhren, die ja nur in einigen Pflanzen anzutreffen sind, sondern auch die von Hartig als „Siebröhren“ und von v. Mohl als „Gitterzellen“ bezeichneten Gefäße umfaßten, die auch tatsächlich als Leitungsbahnen für den „assimilirtten Saft“ dienen.³⁷¹

Über den Aufbau, die Entwicklung und die physiologische Funktion der Milchröhren bzw. des Milchsafte herrschte um die Mitte des 19. Jahrhunderts völlige Uneinigkeit. L. C. Treviranus³⁷² und F. Unger³⁷³ dachten, die Milchsaftegefäße entstünden aus Zellenreihen, deren Querwände sich auflösen, Schleiden jedoch betrachtete die Zurückführung der Milchsaftegefäße auf Zellen als noch nicht erwiesen³⁷⁴. Andere wiederum hielten die Milchsaftegefäße für Intercellulargänge, die erst später mit einer Haut ausgekleidet würden.³⁷⁵ Schließlich wurde auch die Ansicht vertreten, die Milchsaftegefäße seien „metamorphosierte Baströhren“.³⁷⁶ Was die physiologische Funktion des Milchsafte betraf, reichten die Meinungen von Schultz' Klassifizierung des Milchsafte als „Lebenssaft“ bis zu L. C. Treviranus', Aug. P. De Candolle und Ungers Ansicht, der Milchsafte sei lediglich ein Sekret ohne Ernährungsfunktion³⁷⁷.

³⁷⁰Vgl. Hanstein, 1860; 1864.

³⁷¹Siehe Hanstein, 1864, S. 5–10.

³⁷²L. C. Treviranus, 1835–1838, Bd. 1, 1835, S. 140.

³⁷³Unger, 1838, S. 14; Unger, 1855, S. 157. Zwischenzeitlich nahm Unger an, daß die Milchsaftegefäße nicht nur „aus Reihen über einander gestellter Zellen“, sondern auch aus Intercellulargängen entstünden (s. Unger, 1846, S. 52–53; vgl. S. 105).

³⁷⁴Schleiden, 1845, S. 213, 284.

³⁷⁵Siehe z. B. Link, 1843–1845, 1. Abtlg., S. 133–135.

³⁷⁶Zu einem Überblick über diese Meinungsverschiedenheiten s. Hanstein, 1864, S. 5–10.

³⁷⁷Siehe z. B. L. C. Treviranus, 1825, S. 159–161, 178–180; L. C. Treviranus, 1835–1838, Bd. 1, 1835, S. 149, 419–420; De Candolle, 1832, Bd. 1, S. 272–273; Unger, 1838, S. 14; Unger, 1846, S. 55, 105; Unger, 1855, S. 370.

Eine neue Anregung zur Beschäftigung mit den Milchsaftgefäßen kam durch den französischen Botaniker Auguste Trécul (1818–1896). Trécul nahm eine Verbindung zwischen den „vaisseaux laticifères“ und den Gefäßen des Holzes an und sprach dieser Verbindung eine besondere physiologische Funktion im Rahmen eines Kreislaufgeschehens zu.³⁷⁸ Offenbar übernahm er den Begriff der „vaisseaux laticifères“ von Schultz, auch wenn er diesen mit keinem Wort erwähnt. Unter „vaisseaux laticifères“ versteht er die Milchröhren; inwieweit er auch Siebröhren gemeint haben könnte, wird aus seinem Aufsatz nicht deutlich.

Durch Tréculs Arbeit sah sich die Akademie der Wissenschaften des Institut Impérial in Paris veranlaßt, für das Jahr 1861 einen Preis zur Klärung der Frage einer möglichen Verbindung zwischen den „vaisseaux du latex“ und anderen Gewebeelementen, sei es im Holz oder im Bast, auszuloben. Hanstein reichte am 31. Dezember 1830 eine Arbeit ein, die jedoch von der Akademie als noch nicht vollständige Lösung der Frage angesehen wurde, da er nicht ausführlich genug auf die Milchsaftgefäße eingegangen sei. Schließlich lieferte Hanstein, nachdem die Akademie die Preisfrage für das Jahr 1863 erneuert hatte, eine Ergänzungsschrift ab, die dann zusammen mit einer Arbeit Leopold Dippels (1827–1914) gekrönt wurde. Die ursprüngliche Abhandlung wie auch die Ergänzungsschrift erschien 1864 im Druck.³⁷⁹

Hanstein läßt zwar Schultz Gerechtigkeit widerfahren, was dessen Beschreibung und bildliche Darstellung der „Lebenssaftgefäße“ betrifft, macht aber auch deutlich, daß Schultz' eigene Haltung letztlich kontraproduktiv für eine weitere Beschäftigung mit diesen Gefäßen gewesen sei. Schultz' Vermengung zweier verschiedener Gefäßarten, der eigentlichen Milchsaftgefäße und der Siebröhren,

³⁷⁸Trécul (1857, S. 296–299) spricht von zwei „circulations“, einer „grande circulation“ und einer „circulation veineuse“ („venöser Kreislauf“). Bei dem als „grande circulation“ beschriebenen Vorgang handelt es sich um die konventionelle Vorstellung, daß der von den Wurzeln aufgesogene Saft im Holz aufsteigt, unter Aufnahme von „acide carbonique“ aus der Luft in den Blättern eine Verarbeitung erfährt, um danach als verarbeiteter Saft wieder abzustiegen, zur Zellenbildung im Cambium beizutragen, auf mechanische Weise neue Gefäße zu formen und allgemein der Ernährung zu dienen. Daneben postuliert Trécul aber auch noch einen spezifischen Transportweg, an dem die „vaisseaux laticifères“ beteiligt seien. Was nämlich die Zellen vom absteigenden Saft nicht gebrauchen könnten, gelange in die „vaisseaux laticifères“, die wiederum, als eine Art von Venen, diesen Überschuß, der aus sauerstoffarmen Substanzen bestehe, zu den eigentlichen Gefäßen im Holz transportierten. Diesen Transportweg über die „vaisseaux laticifères“ nannte Trécul „circulation veineuse“. Die physiologische Funktion der „circulation veineuse“ bestehe darin, daß die in den „vaisseaux laticifères“ transportierten sauerstoffarmen Substanzen in den Gefäßen des Holzes durch den aus der Luft aufgenommenen und in den Intercellulargängen transportierten Sauerstoff oxidiert und somit erneut assimilationsfähig gemacht würden. Der von Trécul „grande circulation“ genannte Vorgang ist eigentlich kein echter Kreislauf, erst durch die „circulation veineuse“ ist der Kreislauf sozusagen geschlossen. Tréculs Vorstellung ist von der Schultz' sehr verschieden, da laut Schultz nur der „Lebenssaft“ einen Kreislauf aufweist, ohne sich mit dem von den Wurzeln aufsteigenden Saft zu verbinden. Gleichwohl steht es außer Zweifel, daß Trécul durch die Arbeiten Schultz' in der einen oder anderen Form angeregt wurde.

³⁷⁹Siehe zu dieser Vorgeschichte Hanstein, 1864, S. III-IV.

habe dazu geführt, daß man nach eigentlichen Milchsaftegefäßen gesucht habe, die jedoch naturgemäß in den meisten Pflanzen nicht vorhanden seien. Dadurch und durch sein unnachgiebiges Bestehen auf einer „Circulation des Lebenssaftes“ seien Schultz' sämtliche Arbeiten auf diesem Gebiet in Mißkredit geraten.³⁸⁰ Schließlich macht Hanstein Schultz auch noch mitverantwortlich für das generelle Verkennen der Funktion der Rinde, wie es sich im Gefolge der Herausbildung der Zellentheorie eingestellt habe:

„Das Missbehagen an der vermeintlichen Function und Bedeutsamkeit der Milchsaftegefäße [dies bezieht sich auf Schultz' Arbeiten] liess die Function der gesammten Rinde verkennen. Die Liebhaberei, sich einzubilden, dass die Pflanze keine besonderen Organe brauche, um Säfte zu leiten, sondern dass jede Zelle im Stande sei, Säfte sowohl zu assimiliren als zu leiten, machte, dass man die augenfälligsten längst bekannten Thatsachen vergass. Zumal waren es Schleiden und seine Anhänger, welche die alte physiologische Grundanschauung, dass Holz und Rinde in Function wesentlich verschieden seien, bekämpften.“³⁸¹

Die von zahlreichen früheren Pflanzenphysiologen seit dem 17. Jahrhundert angesammelten Beweise für einen im Holz aufsteigenden, noch nicht assimilierten Saft und einen nach seiner Verarbeitung in den Blättern in der Rinde absteigenden, assimilierten Saft habe man völlig ignoriert. Ohne diesen Belegen „widersprechende Beobachtungen entgegensetzen zu können“, habe man sich begnügt, „sie einfach durch grundlose Behauptungen zu beseitigen“.³⁸²

Die Vernachlässigung der experimentellen Belege für einen in der Rinde hauptsächlich absteigenden und, je nach Bedarf, sich auch seitlich und aufwärts bewegenden „Bildungssaft“ wurde von einer Reihe von Forschern in den 1850er Jahren als Mißstand empfunden. In der Tat bestand kein sachlicher Grund, an einem in besonderen Gefäßen sich bewegenden „Bildungssaft“ zu zweifeln. So begrüßte Julius Sachs ausdrücklich die Arbeiten Hansteins,³⁸³ der dem für die Physiologie der Pflanzen so wichtigen Ferntransport der Assimilate wieder die nötige Aufmerksamkeit geschenkt und durch eine Reihe von geistreichen Versuchen die Rolle der Rinde in der Leitung des „Bildungssaftes“ aufgezeigt hatte. Neben Hanstein

³⁸⁰Hanstein, 1864, S. 6.

³⁸¹Hanstein, 1864, S. 51. Vgl. Hanstein, 1860, S. 399: „Am eifrigsten [...] ist das gedoppelte Saft- und Gefässsystem der Pflanzen von C. H. Schultz vertheidigt worden, jedoch wenig zum Gewinn für diese Lehre. Denn nichts dürfte für dieselbe bei denen, die ihr an sich schon wenig zugethan waren, mehr Misstrauen erweckt haben, als die übertriebene und in der Natur nicht nachweisbare Annahme seines allen Gewächsen zugesprochenen Lebenssaft-Gefässsystems, welches seinen Sitz in der Rinde habe und hier die Vertheilung der plastischen Flüssigkeit von den Blättern abwärts besorge. Der durch die Uebertreibung herausgeforderte Widerspruch gefiel sich nun seinerseits darin, mit dem Falschen aus Schultz's Ansicht nicht allein auch das Richtige aus dieser, sondern die gesammte Annahme von zweierlei Säften zu verwerfen.“

³⁸²Hanstein, 1864, S. 51.

³⁸³Siehe Sachs, 1862, S. 79–80.

beschäftigten sich Hugo v. Mohl (1805–1872), der Breslauer Prof. der Botanik Heinrich R. Göppert (1800–1884) und der Forstwissenschaftler Theodor Hartig (1805–1880)³⁸⁴ ausgiebig mit der Funktion der Rinde und dem Transport des „Bildungssaftes“. Es ist sicherlich kein Zufall, daß besonders Forscher, die, wie Hartig und J. T. C. Ratzeburg (1801–1871)³⁸⁵, aus der Forstwissenschaft kamen oder, wie Johannes Hanstein, über sonstige praktische Erfahrungen verfügten,³⁸⁶ ein besonderes Interesse am Ferntransport der Pflanzensäfte besaßen, da sie es gewohnt waren, sich mit physiologischen Vorgängen zu beschäftigen, die die Pflanze als Ganzes betreffen.

Inwieweit Schultz nun wirklich mit seinen Arbeiten zum „Lebenssaftkreislauf“ eine „Mitschuld“ an der Vernachlässigung des Ferntransports von Assimilaten trug, läßt sich nur schwer beurteilen. Jedenfalls dürfte eine wichtige Rolle gespielt haben, daß viele Botaniker Schultz’ „Cyclose“-Lehre mit der Vorstellung eines kontinuierlich in der Rinde absteigenden, sich also nur in *einer* Richtung bewegenden, assimilierten Saftes in Verbindung brachten – eine Fehlinterpretation, über die sich Schultz öfters beklagte, die er aber offenbar auch durch wiederholte Klarstellungsversuche nicht verhindern konnte. So fällt auf, daß Unger den Rücktransport eines im Holz aufgestiegenen und in den Blättern verarbeiteten Nahrungssaftes als „Cyclose“ bezeichnet und somit Schultz’ Terminus verwen-

³⁸⁴Siehe z. B. Hartig, 1858. Hartig entwickelte aufgrund zahlreicher Ringelungsversuche und Untersuchungen zur Bildung und Verteilung von Reservestoffen in Bäumen eine spezifische Theorie zur Bewegung des „Bildungssaftes“. So soll nach Hartig der „rohe Nahrungssaft“, der von den Wurzeln „in den ächten einfachen Holzfasern“ aufsteige, in den Blättern zu einem „primitiven Bildungssaft“ umgewandelt werden. Dieser „primitive Bildungssaft“ steige im „Siebfasergewebe“ wieder bis zu den Wurzeln abwärts und werde von unten nach oben fortschreitend in Holz, Mark und Rinde des Baumes zu festen Reservestoffen umgebildet. Im darauf folgenden Frühjahr würden diese Reservestoffe als „secundärer Bildungssaft“ wieder mobilisiert. Der „secundäre Bildungssaft“ vermische sich mit dem „aufsteigenden Rohsaft und [werde] [...] von diesem in die oberen Extremitäten des Baumes emporgehoben, um dort seinen Uebergang in das Siebfasergewebe der Bast-schichten zu bewirken, von wo aus er, aufsteigend die Bildung neuer Triebe, Blätter und Blüthen, absteigend die Bildung neuer Holz- und Bast-schichten vermittelt [und] [...] in der Cambialschicht seine endliche Fixirung als Zellstoff findet“ (Hartig, 1858, S. 341–342). Da dies alles an die Vorstellung eines Saftkreislaufs erinnert, fühlt sich Hartig zu einer Klarstellung veranlaßt. So hebt er hervor, daß von einem Kreislauf der Säfte nicht gesprochen werden könne, allenfalls von einem „Kreislauf der Stoffe“, nämlich der Reservestoffe bzw. ihrer Vorstufen (ebd., S. 342).

³⁸⁵Ratzeburg war seit 1831 als Prof. der Naturwissenschaften an der Forstakademie Eberswalde tätig und gilt als Begründer der Forstentomologie (s. *Deutsche Biographische Enzyklopädie*, hrsg. v. Walther Killy u. Rudolf Vierhaus, Bd. 8, München: K. G. Saur, 1998, S. 153). Im Zusammenhang mit der hier untersuchten Fragestellung ist sein Werk über die „Standortsgewächse und Unkräuter Deutschlands und der Schweiz“ (Ratzeburg, 1859) von Interesse, da er darin das Vorkommen eines in der Rinde absteigenden Nahrungssaftes verteidigt (ebd., S. 239–242). Ratzeburg stellte auch selbst Versuche zum Abstieg des „Bildungssaftes“ in der Rinde an (ebd., S. 241, Fußn. *).

³⁸⁶Hanstein besuchte von 1838 bis 1843 die Gärtnerlehranstalt in Berlin und Potsdam (Jahn, 1966, S. 640).

det,³⁸⁷ obwohl Schultz unter „Cyclose“ eben etwas anderes verstand,³⁸⁸ nämlich einzig und allein das Kreisen des Lebensaftes in der Rinde nach allen Richtungen in netzartig miteinander verbundenen Gefäßen. Wer nun – aus welchen Motiven auch immer – eine grundsätzliche Abneigung gegen die Schultzschen Theorien und seine generell – nicht nur auf dem Gebiet der Botanik – unkonventionellen Ansichten hatte, der war wohl eher geneigt, auch diese vermeintlich Schultzsche Auffassung von einem absteigenden „Rindensaft“ abzulehnen. Unger jedenfalls begründet seine Zweifel an einer „rückgängigen Bewegung“ eines verarbeiteten Saftes in der Rinde mit dem unbewiesenen Vorkommen einer „Cyclose“.³⁸⁹

Generell ist es denkbar, daß der eine oder andere Autor nach dem allgemeinen Aufruhr, den Schultz mit seinen Arbeiten in den 1820er und 1830er Jahren verursacht hatte, erleichtert war, die Anregungen Schwanns und Schleidens aufzugreifen und sich auf die physiologischen Prozesse in den Zellen selbst konzentrieren zu können. Auf der anderen Seite zeichnete sich bereits Anfang des 19. Jahrhunderts in der Pflanzenphysiologie eine deutliche Tendenz ab, sich auf die Funktionen der „Elementarorgane“ zu konzentrieren und Fragen des Ferntransports von Wasser und „Bildungsstoffen“ in den Hintergrund treten zu lassen (s. Kap. 9.2). Deshalb sollte der von Hanstein behauptete negative Einfluß Schultz' nicht überbewertet werden, auch wenn es sich dabei um das Urteil eines Zeitgenossen handelt. Die Anziehungskraft einer Theorie, die auf eine Erforschung von „Elementarteilen“, in diesem Fall der Zellen, abzielte und auf diese Weise ein tieferes Eindringen in die Physiologie und den Aufbau der Organismen versprach, war sicherlich groß genug, um für sich allein einen großen Teil der Naturforscher in ihren Bann zu ziehen und von „ganzheitlicheren“ Ansätzen „abzulenken“.

³⁸⁷Unger, 1855, S. 317.

³⁸⁸Siehe oben, S. 183–184, 203–204.

³⁸⁹Unger, 1855, S. 317.

10. Ergebnisse und Deutungen

1. Die Saftkreislauftheorie war offenbar weit verbreitet, was in der biologiehistorischen Literatur bisher nicht ausreichend berücksichtigt worden ist. Zwischen 1665 und 1668 wohl unabhängig voneinander an drei verschiedenen Orten entstanden, wurde sie in der Folgezeit an der *Royal Society* und der *Académie Royale des Sciences* intensiv diskutiert. Im gesamten 18. Jahrhundert fand sie Anhänger und blieb Gegenstand der wissenschaftlichen Auseinandersetzung. Untrügliches Zeichen für die Verbreitung dieser Theorie ist Duhamel du Monceaus ausführliche Behandlung derselben in seiner „Physique des Arbres“ (1758).¹ Weitere Indizien für den Verbreitungsgrad dieser Vorstellung ließen sich in Äußerungen Mustels aus dem Jahre 1781 finden.²

Wegen ihrer relativ großen Verbreitung und ihrer Suggestivität ließ sich die Saftkreislauflehre auch von ihren Gegnern nicht einfach ignorieren, vielmehr übte sie in einzelnen Fällen einen indirekten Einfluß auf deren eigene Vorstellungen von der Saftbewegung in den Pflanzen aus, wie sich am Beispiel Stephen Hales' und Charles Bonnets zeigte. Hales nahm nur ein durch Temperaturwechsel bedingtes temporäres Absinken des Saftes an, und zwar in denselben Gefäßen, in denen der Saft auch aufsteigt. Seine Ablehnung eines echten, in eigenen Gefäßen und kontinuierlich sich vollziehenden absteigenden Saftstroms schien hauptsächlich durch die Befürchtung motiviert zu sein, mit der Annahme eines absteigenden Saftes auch gleichzeitig einen Saftkreislauf zuzugestehen³ – eine Befürchtung, die, wie Duhamel du Monceau später hervorhob, unbegründet war. Dennoch schloß sich auch Bonnet wohl aus „Furcht“ vor einem Zugeständnis gegenüber der Saftkreislauflehre in seinen späteren Werken der Halesschen Ansicht an, obwohl er ursprünglich noch einen absteigenden Saft angenommen hatte.⁴

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Saftkreislauflehre durch den Berliner Botaniker Carl Heinrich Schultz (1798–1871) deutlich modifiziert,⁵ indem jetzt nur noch der aus dem „rohen Nahrungssaft“ zubereitete „Lebenssaft“ zirkulieren sollte, wohingegen man früher in der Regel davon ausging, daß sich der

¹Siehe Kap. 4.3.

²Siehe Kap. 7.1.

³Siehe Kap. 3.4.2., S. 63.

⁴Siehe Kap. 4.2., S. 84.

⁵Siehe Kap. 9.3.

von den Blättern als (Haupt-)Ort der Saftverarbeitung zur Wurzel zurückkehrende „Nährsaft“ mit dem von den Wurzeln aufgenommenen „rohen Saft“ vermische. Hinzu kommt, daß für Schultz die Pflanzen nicht nur *einen* Lebenssaftkreislauf besitzen, sondern letztlich alle Teile einer Pflanze für sich über einen eigenen Kreislauf verfügen, wobei alle diese einzelnen Kreisläufe miteinander verbunden seien. Auch die Schultzsche Lehre von der „Cyklose“ des „Lebenssafts“, die im deutschsprachigen Raum nur bei Franz Julius Ferdinand Meyen (1804–1840) bleibenden Anklang fand, übte zusätzlich zu den lebhaften und teilweise polemischen Diskussionen, die in den 1820er bis 1840er Jahren um sie geführt worden, einen indirekten Einfluß auf die weitere pflanzenphysiologische Forschung aus. Dieser Einfluß, der sich meist nur mittelbar nachweisen läßt, war aus heutiger Sicht größtenteils kontraproduktiv, da mit der Gegenwehr gegen Schultz' Ansichten auch die Belege für den in der Rinde absteigenden Assimilatenstrom ignoriert worden waren, wie J. Hanstein mit Bedauern feststellte.⁶

Trotz der von Schultz vorgenommenen Modifikationen am ursprünglichen Konzept der Saftkreislauflehre kann diese Ansicht als eine im wesentlichen einheitliche Vorstellung betrachtet werden. Günstig für das „Überleben“ der Saftkreislauflehre über einen so langen Zeitraum, der sich bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts erstreckt, dürfte sich ihre prinzipielle Kompatibilität mit sowohl mechanistischen als auch vitalistischen Konzepten ausgewirkt haben. Als um die Mitte des 18. Jahrhunderts der Vitalismus den Mechanismus – diese Generalisierung, die das vielseitige Spektrum und die Diversität beider Richtungen⁷ unberücksichtigt läßt, sei hier gestattet – langsam ablöste und für die nächsten einhundert Jahre dominierte, hatte dies für die weitere Ausgestaltung und Entwicklung der Saftkreislauflehre zunächst keine direkten Auswirkungen. Einflüsse indirekter Natur ergaben sich später allerdings daraus,⁸ daß die Lehre von der Irritabilität der Pflanzengefäße als Ursache der Saftbewegung leicht mit vitalistischen Anschauungen verknüpft werden konnte und dadurch eine zusätzliche Stütze erhielt. Konkurrierende Ansichten zum Mechanismus des Safttransports mußten dadurch, insbesondere, wenn sie, wie die Saftkreislauflehre, keine *eigenständige kausale* Analyse der Saftbewegung anzubieten hatten, in den Hintergrund gedrängt werden.

2. Der Analogieschluß vom Blutkreislauf der Wirbeltiere auf einen Saftkreislauf der Pflanzen spielte nicht nur im Entstehungs-, sondern auch im Verbreitungsprozeß der Saftkreislauftheorie eine entscheidende Rolle. Dagegen spielten physiologische Experimente und Beobachtungen sowie anatomische Untersuchungen oft nur eine sekundäre Rolle, indem sie häufig nur dazu dienten, die einmal gefällte persönliche Entscheidung für die Annahme eines Saftkreislaufs im nachhinein zu legitimieren. Auch wenn nicht immer explizit auf die vermeintliche

⁶Siehe Kap. 9.5.

⁷Zum Pluralismus vitalistischer Ideen in der zweiten Hälfte des 18. und der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts vgl. Cimino/Duchesneau, 1997.

⁸Siehe Kap. 8.2.

Analogie zwischen Blut- und Saftkreislauf rekuriert wurde, war sie doch im Bewußtsein der Anhänger und Gegner stets präsent. Ohne das Gefühl der „Sicherheit“ und „impliziten Gewißheit“, das sie den Vertretern der Saftkreislauflehre vermittelte, hätte diese Theorie keine solche Verbreitung gefunden.

Auf der anderen Seite führte aber auch eine ausgeprägte Tendenz, Entsprechungen zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zu konstatieren bzw. aufzusuchen, nicht zwangsläufig dazu, daß man einen Saftkreislauf annahm. Dies zeigt das Verhalten zahlreicher Naturforscher, die laufend z. T. sehr weitreichende Analogien zwischen dem Tier- und Pflanzenreich aufstellten, ohne jedoch einen Saftkreislauf anzunehmen. Besonders in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde es durch die zunehmende Kenntnis der Eigenschaften niederer Tiergruppen für die Naturforscher immer schwieriger, eine eindeutige Grenzlinie zwischen dem Tier- und Pflanzenreich zu ziehen, d. h. Eigenschaften zu benennen, die wirklich allen Tieren, aber keiner Pflanze zukommen. Dieses immer stärker werdende Bewußtsein, daß sich die Grenzen zwischen den beiden Organismenreichen verwischen, führte Bonnet schließlich zu dem Ausspruch, daß sich, philosophisch, d. h. wissenschaftlich, betrachtet, ein Rosenstrauch nicht wirklich wesentlich von einer Katze unterscheidet.⁹ Da man längst viele Tiere kannte, die definitiv keinen Blutkreislauf oder zumindest keinen geschlossenen Blutkreislauf aufwiesen, entfiel für die Vertreter eines Saftkreislaufs eine wichtige „argumentative Stütze“. Kurz gesagt, wer wollte, konnte aus dem naturhistorischen Kenntnisstand der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Saftkreislauflehre auf Basis von Analogien zwischen dem Tier- und Pflanzenreich sowohl „belegen“ als auch „entkräften“, je nach persönlicher Präferenz. Wie wenig determinierend sich selbst eine ausgeprägte Neigung zur Analogiebildung im Detail erwies, zeigt das Beispiel Chicoyneaus, der Anfang des 18. Jahrhunderts an der *Société Royale des Sciences* in Montpellier die Saftkreislauflehre verteidigte und sich dabei fast ausschließlich auf Analogien zum Tierreich stützte. Nichtsdestoweniger nahm Chicoyneau ausgerechnet in der Frage der Sexualität der Pflanzen eine ablehnende Haltung ein.¹⁰

3. Die Entscheidung darüber, ob jemand die Saftkreislauflehre ablehnte oder befürwortete, wurde (natürlich) auch von persönlichen Motiven diktiert. Nach allem, was wir über die Arbeitsweise Johann Daniel Majors wissen, stand für ihn gewiß nicht die skrupulöse und selbstkritische Überprüfung seiner Hypothese im Vordergrund, sondern eher der Drang, eine neue Theorie aufzustellen und sich die Priorität hierfür zu sichern. Auf der anderen Seite gibt es Hinweise, daß die ablehnende Haltung einiger Mitglieder der *Académie Royale des Sciences* in der Frühzeit der Saftkreislauftheorie auch auf persönlicher Mißgunst beruhen könnte. Bei Richard Bradley gewinnt man den Eindruck, er habe die Saftkreislauflehre

⁹Bonnet, 1781, Bd. 8, S. 510.

¹⁰Siehe *Histoire de la Société Royale des Sciences, établie a Montpellier[,] avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique, tirés des Registres de cette Société*, Tome premier, Lyon: Benoit Duplain, 1766, S. 159–166.

hauptsächlich deshalb angenommen, weil er der für einen Professor der Botanik in seiner Zeit unüblichen Ausrichtung seiner Forschungen auf die praktischen Bedürfnisse des Acker- und Gartenbaus den Eindruck von „Wissenschaftlichkeit“ verleihen wollte, indem er sie auf eine Theorie gründete.¹¹ Ludwig Philipp Thümmig spricht dieses Bedürfnis nach Theoriebildung deutlich aus.¹² Auch ihm wird sich wohl gerade deshalb die Saftkreislauftheorie angeboten haben. Sehr aufschlußreich ist auch die Äußerung Patrick Blairs, der es Malpighi und Grew geradezu zum Vorwurf macht, daß sie nicht auf den Gedanken eines Saftkreislaufs gekommen seien, obwohl sie doch einen so tiefen Einblick in die Anatomie der Pflanzen erlangt hätten. Doch, wie in Kap. 3.3 ausgeführt, wird gerade dieser tiefe Einblick Malpighi und Grew davon abgehalten haben, sich diese Theorie zu eigen zu machen (s. a. den folgenden Punkt).

4. Auffällig ist, daß die meisten Vertreter der Saftkreislauflehre die anatomische Struktur der Pflanzen vernachlässigten bzw. beliebig interpretierten und den verschiedenen „Gefäßen“ und „Fasern“ eine Funktion zuschrieben, wie sie gerade in ihr Konzept paßte. Dies gilt natürlich auch für entsprechende Argumente der Gegner eines Saftkreislaufs. Ein methodologischer „Zwang“ zur Begründung physiologischer Theorien auf solider pflanzenanatomischer Basis, die mit den Arbeiten eines Malpighi, Grew oder Leeuwenhoek hätte mithalten können, bestand im 18. Jahrhundert nicht. Generell war man sich einig, daß es in der Pflanzenanatomie deutlich schwieriger sei, Erkenntnisgewinne zu erzielen und zur Theoriebildung zu schreiten, als in der Tieranatomie. Man fühlte sich außerstande, die von Malpighi, Grew und Leeuwenhoek erreichten Ergebnisse im Detail zu reproduzieren. Die meisten erachteten sich damit dispensiert von einer intensiven Beschäftigung mit pflanzenanatomischen Fragestellungen.

Aber je intensiver die *eigenständige* Auseinandersetzung – und nicht bloß die oberflächliche Rezeption der wichtigsten Ergebnisse der Klassiker der Pflanzenanatomie – mit den inneren Strukturen der Pflanzen erfolgte, desto größer war offenbar die Neigung, von generalisierenden Theorien, wie der eines Saftkreislaufs, abzusehen. Es kann kein Zufall sein, daß in den Werken gerade der Begründer der Pflanzenanatomie, Grew, Malpighi und Leeuwenhoek, die Saftkreislauftheorie entweder gar keine oder eine völlig untergeordnete Rolle spielte, und dies, obwohl ansonsten bei allen diesen Autoren durchaus ein Hang zu Analogien vorhanden war. Die große Komplexität auch der pflanzlichen Gewebe konfrontierte den Naturforscher mit einem Erklärungsnotstand und flößte ihm Respekt vor dem Detail ein, den allerdings nur der nachzuempfinden vermochte, der sich auch selbst mit dem Mikroskop davon überzeugte. Die persönliche Veranlagung des einzelnen und seine Grundhaltung in epistemologischen Fragen spielte bei diesem Prozeß bereits im Vorfeld eine wichtige Rolle. Wer aus einer stark empiristischen Haltung heraus überhaupt erst auf den Gedanken kam, sich mit der komplizierten Materie der

¹¹Vgl. Kap. 3.2.

¹²Vgl. Kap. 5.3.

inneren Pflanzenstruktur auseinanderzusetzen und Detailforschung zu betreiben, der besaß ohnehin meist nur eine sehr gering ausgeprägte Neigung zur Bildung von „Systemen“ und generalisierenden Theorien. Umgekehrt lag dem mit einem „esprit de système“ ausgestatteten Naturforscher eine solche Detailforschung von vornherein fern.

Auch das Wiederaufleben der Pflanzenanatomie an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert erwies sich für die Saftkreislauflehre als nachteilig. Ermutigt durch die Erfolge der chemischen Pflanzenphysiologie eines Senebier und Ingenhousz griff man nun auch die Frage auf, welche physiologische Funktion die einzelnen Strukturelemente der Pflanzen („Zellen“, „Fasern“, „Gefäße“) besitzen. Durch diesen Wechsel des Fokus auf kleinräumige Prozesse mußte das Interesse an physiologischen Vorgängen, die die gesamte Pflanze umfassen, rasch abnehmen.¹³ Mit dem Aufkommen der Zellentheorie verstärkte sich diese Entwicklung noch, wie an einigen Äußerungen Schleidens besonders deutlich wurde.¹⁴ Es verwundert daher nicht, daß in diese Zeit auch das Ende der Saftkreislauflehre fiel, obwohl hierfür unter rein empirischen Gesichtspunkten keine Notwendigkeit bestand.

5. Ein weiterer entscheidender Faktor für das Zurückdrängen von Saftkreislaufvorstellungen gegen Ende des 18. Jahrhunderts stellte das Aufkommen der chemischen Pflanzenphysiologie dar.¹⁵ Durch die Arbeiten Senebiers und Ingenhousz' wurde die Chemie zur neuen Leitwissenschaft der Pflanzenphysiologie und die „physiologie végétale“ dadurch erst zu einer eigenständigen Wissenschaft. Physikalische Fragestellungen und Erklärungsansätze traten dagegen deutlich in den Hintergrund. Von diesem Prozeß betroffen war natürlich auch die Saftkreislauflehre als eine im Kern auf physikalischen Prinzipien aufbauende Theorie, die für die zentralen Probleme der chemischen Pflanzenphysiologie, wie Fragen des Gasaustausches, keinerlei Lösungsansätze bieten konnte. Daher ist es nicht verwunderlich, daß die Saftkreislauflehre von den Protagonisten der chemischen Pflanzenphysiologie höchstens am Rande behandelt oder völlig ignoriert wurde.

6. Fest steht, daß sämtliche Theorien zum Safttransport und zur Saftbewegung in den Pflanzen, ob sie nun einen Saftkreislauf annahmen oder nicht, *prinzipiell* mit den zeitgenössischen empirischen Befunden in Einklang gebracht werden konnten. Unter Berücksichtigung der zeitgenössischen Möglichkeiten der Beobachtung und des Experiments waren alle diese Theorien empirisch äquivalent, da jede von ihnen *prinzipiell* die Phänomene der Saftbewegung „erklären“ konnte. Jede dieser Theorien bestand aus einem ganzen System expliziter und impliziter Hypothesen und Annahmen, die von Theorie zu Theorie naturgemäß unterschiedlich waren. Eine echte empirische Widerlegung war nicht möglich, da diese Zusatzannahmen jederzeit modifiziert werden konnten bzw. wurden, um auf diese Weise

¹³Vgl. Kap. 9.2.

¹⁴Vgl. Kap. 9.4.

¹⁵Siehe S. 145–150.

die Hypothese, an der man am meisten hing, zu „retten“. Die Saftkreislauftheorie wie auch die konkurrierenden Ansichten waren empirisch unterbestimmt in einem Sinne, wie es ursprünglich Pierre Duhem für physikalische Theorien beschrieben hat¹⁶.

Als besonders interessant erwiesen sich in dieser Hinsicht die Experimente Mustels, da sich in der Auseinandersetzung mit seinen Versuchen ein Vorgehen zeigte, wie es Duhem erläutert hatte. Mustel hatte sich, wie in Kap. 7.1 beschrieben, gezielt einen Versuch ausgedacht, die Saftkreislauflehre zu widerlegen. Seiner Ansicht nach ergab sich aus der Hypothese eines Saftkreislaufs, daß, wenn während des Winters *ein* Teil einer Pflanze erwärmt und somit der in diesem Teil befindliche „Saft“ in Bewegung versetzt wird, dies auch Auswirkungen auf die übrigen Teile haben müßte; denn wenn der Saft sich in einem Kreislauf bewegt, so sollten Vegetationserscheinungen wie das Ausschlagen von Knospen auch in den nicht erwärmten Teilen stattfinden. Da sich diese Voraussagen nicht verifizieren ließen, erachtete er die Saftkreislauflehre für widerlegt. Corti, ein Befürworter des Saftkreislaufs, zeigte dagegen, unter welchen Annahmen sich eine Saftzirkulation trotz der Mustelschen Versuchsergebnisse aufrechterhalten ließ.¹⁷ Implizit ergibt sich aus seinen Einwänden, welche stillschweigenden Zusatzannahmen Mustel sonst noch getroffen hatte. Der ganze Vorgang ist ein illustratives Beispiel für die von Duhem beschriebenen Möglichkeiten, eine auf den ersten Blick als widerlegt erscheinende Hypothese durch Modifikation der Begleitannahmen zu „retten“.

Wenn nun aber – objektiv betrachtet – die empirischen Befunde nicht ausreichten, um die Frage der Existenz oder Nichtexistenz eines Saftkreislaufs zu klären, so stellt sich das Problem, welche Gründe sonst noch dafür verantwortlich waren, daß sich jemand für oder gegen diese Theorie entschied. Damit ist ein generelles Problem der empirischen Unterbestimmtheit von Theorien angesprochen, nämlich die Frage, auf welche Kriterien zurückgegriffen wird bzw. werden sollte, wenn es gilt, zwischen zwei oder mehreren empirisch äquivalenten Theorien eine Entscheidung zu treffen.

Für die Akzeptanz einer Theorie kommt es natürlich nicht nur darauf an, daß sie die Phänomene zu „erklären“ vermag, sondern bekanntlich auch, auf welche

¹⁶Duhem hob hervor (1908, bes. S. 243–253; 1987), daß bei einer experimentellen Überprüfung einer physikalischen Hypothese de facto nie diese bestimmte Hypothese allein auf dem Prüfstand steht, sondern immer ein ganzes System von Hypothesen und Annahmen. Wird demnach durch Beobachtung oder Experiment die Voraussage der Hypothese widerlegt, indem ein Phänomen, das aus der zu überprüfenden Hypothese abgeleitet wurde, nicht eintritt, so bedeutet dies nicht – wie man auf den ersten Blick meinen und wie ein „naives“ Verständnis von Wissenschaft nahelegen könnte –, daß damit notwendigerweise die entsprechende Hypothese widerlegt ist, sondern es bedeutet nur, daß der Komplex aus Hypothese und weiteren Annahmen widerlegt wurde. Durch Modifikation der Zusatzannahme(n) läßt sich die scheinbar widerlegte Hypothese unverändert aufrechterhalten und mit den neuen Daten in Einklang bringen. Duhem erläutert diesen Prozeß sehr anschaulich an physikalischen Beispielen.

¹⁷Siehe Kap. 7.1.

Weise und mit welchen und mit wie vielen Annahmen und Voraussetzungen dies geschieht. Die empirische Äquivalenz allein führt nicht zwangsläufig dazu, daß rivalisierende Theorien auch in gleichem Maße glaubwürdig sind.¹⁸ Kriterien wie Einfachheit, Konsistenz, Genauigkeit und Einhaltung des Ökonomieprinzips, ganz abgesehen von den wissenschaftsexternen Einflüssen, entscheiden bekanntlich mit über das Schicksal wissenschaftlicher Theorien.

Nun gibt es aber keine überzeugenden Anzeichen dafür, daß die Saftkreislauftheorie *notwendigerweise* unglaubwürdiger erscheinen mußte als konkurrierende Ansichten. Daß sie hauptsächlich auf einer Analogie gründete, war dafür *per se* nicht entscheidend (vgl. Punkt 2). Rein wissenschaftsinterne, mehr oder weniger¹⁹ objektivierbare Kriterien haben wohl nicht den entscheidenden Ausschlag gegeben. Die Entscheidung des einzelnen, sich der Saftkreislauflehre zuzuwenden oder sie abzulehnen, muß größtenteils auf persönlichen Vorlieben, Neigungen und Interessen beruht haben. Einige Anhänger der Saftkreislauflehre, bei denen wahrscheinlich persönliche Motive in ihrer Entscheidung eine Rolle gespielt haben, wurden oben bereits genannt. Auf mögliche negative Korrelationen zwischen dem jeweiligen Stellenwert, den die Pflanzenanatomie zum einen für den einzelnen Naturforscher, zum anderen innerhalb der botanischen Wissenschaften einnahm, und dem Stellenwert umfassender physiologischer Theorien, wie sie die Saftkreislauflehre darstellte, wurde bereits hingewiesen.

Zum Schluß sei noch einmal an die Haltung Duhamel du Monceaus erinnert, der nach einer sehr ausgewogenen Diskussion der Saftkreislauflehre zu dem einfachen, aber zutreffenden Schluß kam, daß die vorliegenden empirischen Befunde keine eindeutige Entscheidung für oder gegen diese Theorie erlaubten. Daß diese Äußerung nicht auf „diplomatischen“ Erwägungen beruhte, sondern auf Überzeugung, zeigt Duhamels konsequent skeptische Haltung gegenüber den „systèmes“, die er auch in anderen Kontroversen an den Tag legte.

¹⁸Vgl. Rowbottom, 2000.

¹⁹Zum Beispiel kann die Einfachheit (simplicity) einer wissenschaftlichen Theorie durchaus als ein subjektiver Begriff aufgefaßt werden, denn „notoriously, one man’s simplicity is another’s complexity“ (Laudan, 1998, S. 339).

Literaturverzeichnis

Quellen

Ungedruckte Quellen

Archives de l'Académie des Sciences,
Registres des Procès-verbaux des séances de l'Académie royale des sciences,
Tome I, S. 35–36; Tome IV, f. 67v–68r, 71v–77v, 79r–90r

Gedruckte Quellen und Editionen

- Adanson, Michel: Mémoire sur un mouvement particulier découvert dans une plante appelée Tremella. In: Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année M. DCCLXVII. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Tirés des Registres de cette Académie. A Paris, de l'Imprimerie Royale. M. DCCLXX. S. 564–572.
- Agardh, Carl Adolph: Über die Anatomie und den Kreislauf der Charen. In: Nova acta physico-medica Academiae Caesareae Leopoldino-carolinae Naturae Curiosorum 13, Teil 1 (1826), S. 113–162.
- Agricola, Georg Andreas: Neu= und nie erhörter Doch in der Natur und Vernunft Wohlgegründeter Versuch Der UNIVERSAL=Vermehrung Aller Bäume, Stauden, und Blumen=Gewächse, [. . .]. 2 Teile. 1. Teil: Regensburg, gedruckt mit Petzischen Schriften, 1716. Und in Commission zu haben Zu Leipzig, bey Johann Theodoro Boetio [. . .]. 2. Teil: In Verlegung des Authoris, und in Commission zu haben Zu Leipzig, bey Johann Theodoro Boetio, 1717.
- Amici, Giambattista: Osservazioni sulla circolazione del succhio nella Chara. Memoria del Sig. professore Giambattista Amici inserita nel tomo XVIII. degli atti della società italiana delle scienze residente in Modena. Modena presso la società tipographica. MDCCCXVIII.
- Amici, Giambattista: Observations microscopiques sur diverses espèces de plantes. In: Annales des sciences naturelles 2 (1824), S. 41–70, 211–248.

- Amici, Giambattista: Lettre du docteur Amici à M. Mirbel, qui en a donné communication à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 28 mars 1831. In: *Annales des sciences naturelles* 22 (1831), S. 426–432. (Die Seiten 429 bis 432 enthalten kritische Anmerkungen Mirbels zu Amicis Brief.)
- Aristoteles: *Aristotelis opera ex recensione Immanuelis Bekkeri* edidit Academia Regia Borussica. 2 Bde. Berlin: W. de Gruyter, 1960. (Nachdruck der Ausgabe Berlin 1831.)
- De La Baisse [Nicolas de Sarrabat]: *Dissertation sur la circulation de la seve dans les plantes. Qui a remporté le Prix, au Jugement de l'Academie Royale des Belles Lettres, Sciences & Arts.* [...] A Bordeaux, [...] M. DCC. XXXIII.
- Bacon, Francis: *FRANCISCY DE VERULAMIO, Summi Angliæ CANCELLARIJ, Instauration magna.* LONDINI Apud Joannem Billium Typographum Regium. [1620.]
- Bacon, Francis: *SYLVA SYLVARVM: OR, A Naturall History. IN TEN CENTURIES. WHEREUNTO IS NEWLY ADDED the History Naturall and Experimentall of LIFE and DEATH, or of the Prolongation of Life. BOTH WRITTEN BY THE RIGHT Honourable FRANCIS LO. Verulam Viscount S^t ALBAN. Published after the Authors death, By WILLIAM RAVVLEY Doctor in Divinity, one of his Majesties Chaplaines.* [...] The sixth Edition. LONDON, Printed by J. F. for William Lee, and are to be sold at the Great Turks Head over against Fetter-Lane in Fleetstreet. 1651.
- Bazin, Gilles Auguste: *Observations sur les plantes et leur analogie avec les insectes, precedées de deux discours,* [...]. A Strasbourg, Chez Jean Renaud Doulssecker, Marchand Libraire. M. DCC. XLI.
- Bernhardi, J. F.: *Anleitung zur Kenntniss der Pflanzen. Zum Gebrauche bey Vorlesungen. Erster Theil.* Erfurt: Henningssche Buchhandlung, 1803. (=Dr. J. F. Bernhardi's Handbuch der Botanik. 1. Teil. 1. Band.)
- Bernhardi, Johann Jakob: *Beobachtungen über Pflanzengefäße und eine neue Art derselben.* Erfurt: Henning'sche Buchhandlung, 1805.
- Bernoulli, Jacob [I]: *Jacobi Bernoulli dissertatio de gravitate ætheris.* Amstelædami apud Henr. Wetstenium. MDC LXXXIII. Auch in: *Die Werke von Jakob Bernoulli.* Herausgegeben von der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. Bd. 1. Basel: Birkhäuser, 1969. S. 319–400.
- Berthollet, Claude-Louis: *De l'influence de la lumière, Mémoire lu à une Séance publique de la Faculté de Médecine, le 15 Juillet 1786.* In: *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts,* [...], Bd. 29, Août 1786, S. 81–85.
- Birch, Thomas: *The History of the Royal Society of London for Improving of Natural Knowledge, from its First Rise.* [...]. 4 Bde. London: A. Millar, 1756–1757. (Nachdruck Brüssel: Culture et Civilisation, 1968.)

- Bischoff, Gottl. Wilhelm: Lehrbuch der Botanik. 2. Band. 1. Teil. Allgemeine Botanik. II. Stuttgart: E. Schweizerbart's Verlagsbuchhandlung, 1834. (= Naturgeschichte der drei Reiche. 5. Band. 1. Teil.)
- Blair, Patrick [F. R. S.]: BOTANICK ESSAYS. In TWO PARTS. The first containing, The Structure of the Flowers, and the Fructification of Plants, with their various Distributions into Method: And the second, The Generation of Plants, with their Sexes and Manner of impregnating the Seed: Also concerning the Animalcula in Semine Masculino. Together with The Nourishment of Plants, and Circulation of the Sap in all Seasons, analogous to that of the Blood in Animals. [...]. London 1720.
- Blumenbach, Johann Friedrich: Joh. Fr. Blumenbach Prof. zu Gött. und Kön. Großbrit. Hofrath über den Bildungstrieb. Göttingen: Johann Christian Dieterich, 1791.
- Bonnet, Charles: Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes, et sur quelques autres sujets relatifs à l'histoire de la vegetation. Par Charles Bonnet, [...]. A Gottingue & Leide, chez Elie Luzac, Fils. Imp.-Lib. MDCCLIV.
- Bonnet, Charles: Considérations sur les corps organisés, [...]. 2 Bde. Amsterdam: Marc-Michel Rey, 1762.
- Bonnet, Charles: Contemplation de la nature. Neuchatel: Samuel Fauche, 1781. (= Œuvres d'histoire naturelle et de philosophie de Ch. Bonnet, Bd. 7–9.)
- Bose, Ernst Gottlob: Motum humorum in plantis cum motu humorum in animalibus comparat simulque viro [...] Ernesto Gottlob Bose [...] de munere physiologiam ordinarie docendi nomine collegii disputatorii sub ipsius praesidio florentis gratulatur Christianus Erhardus Kappius lips. med. baccal. Lipsiae ex officina Langenhemia, MDCCLXIII.
- Boyle, Robert: The Sceptical Chymist. [1661.] In: The Works of the honourable Robert Boyle. In six volumes. To which is prefixed the Life of the Author. [Hrsg. v. Thomas Birch.] London 1772. (Nachdruck Hildesheim: Georg Olms, 1965–1966.) Bd. I, S. 474–586.
- Bradley, Richard, R. S. S.: Observations and Experiments relating to the Motion of the Sap in Vegetables. By Mr. Richard Bradley, R. S. S. In: Philosophical Transactions, Nr. 349 (1716), S. 486–490.
- Bradley, Richard: New Improvements of Planting and Gardening, both Philosophical and Practical. Explaining the Motion of the Sap and Generation of Plants: [...] London: Printed for W. Mears [...] MDCCXVII. [Bradley, 1717a.]
- Bradley, Richard: The Artificial Gardiner: Being, a Discovery of A New INVENTION For the sudden Growth of all sorts of *Trees* and *Plants*. Whereby GARDENS may be stock'd with Variety of *Plants* and *Fruit-Trees*:

And *Forrests* rais'd upon the most Barren Grounds in a very short Time. Also how to Produce FLOWERS and FRUITS in the midst of Winter. The whole confirm'd by EXPERIMENTS. Translated from the Original *High-Dutch*, of GEORGE ANDREAS AGRICOLA, of *Ratisbone*. M. D. To which are added, REMARKS upon this *New Art* of VEGETATION. By a FELLOW of the *Royal Society* [Richard Bradley]. London: Printed for *E. Curll*, at the *Dial* and *Bible* against *St. Dunstan's Church* in *Fleet-street*, 1717. [Bradley, 1717b.]

- Bradley, Richard: *New Improvements of Planting and Gardening, both Philosophical and Practical; Explaining the Motion of the Sapp and Generation of Plants*. [...]. 3 Teile. 2. Aufl. London: Printed for W. Mears [...]. MDC-CXVIII.
- Bradley, Richard: *TEN PRACTICAL DISCOURSES Concerning the Four Elements, As they Relate to the Growth of PLANTS*. 1. Aufl. London 1727.
- Bradley, Richard: *NEW IMPROVEMENTS OF Planting and Gardening, BOTH Philosophical and Practical. In THREE PARTS*. [...]. 6. Aufl. London 1731.
- Bradley, Richard: *TEN PRACTICAL DISCOURSES Concerning the Four Elements, As they Relate to the Growth of PLANTS*. 2. Aufl. London 1733.
- Brongniart, Adolphe: *Mémoire sur la Génération et le Développement de l'Embryon dans les végétaux phanérogames*. In: *Annales des sciences naturelles* 12 (1827), S. 14–53, 145–172, 225–296.
- Brongniart, Adolphe: *Nouvelles Recherches sur le Pollen et les Granules spermatiques des Végétaux*. In: *Annales des sciences naturelles* 15 (1828), S. 381–401.
- Brown, Robert: *A brief Account of Microscopical Observations made in the Months of June, July, and August, 1827, on the Particles contained in the Pollen of Plants; and on the general Existence of active Molecules in Organic and Inorganic Bodies*. In: *The Philosophical Magazine, or Annals of Chemistry, Mathematics, Astronomy, Natural History, and General Science* 4 (1828), S. 161–173. Deutsche Übersetzung unter dem Titel „Kurzer Bericht von mikroskopischen Beobachtungen über die in dem Pollen der Pflanzen enthaltne Körperchen und über das allgemeine Vorkommen selbstbeweglicher Elementartheilchen in organischen und unorganischen Körpern. Angestellt in den Monaten Junius, Julius und August 1827 [...]“ in: Robert Brown's vermischte Schriften. Hrsg. v. C. G. Nees von Esenbeck. Bd. 4. Nürnberg: Leonhard Schrag, 1830. S. 141–164. [Brown, 1830a.]
- Brown, Robert: *Additional remarks on active molecules*. In: *The Philosophical Magazine, or Annals of Chemistry, Mathematics, Astronomy, Natural History, and General Science* 6 (1829), S. 161–166. Deutsche Übersetzung

- unter dem Titel „Nachträgliche Bemerkungen über selbstbewegliche Molecüle“ in: Robert Brown's vermischte Schriften. Hrsg. v. C. G. Nees von Esenbeck. Bd. 4. Nürnberg: Leonhard Schrag, 1830. S. 499–514¹ [Brown, 1830b.]
- Brown, Robert: On the Organs and Mode of Fecundation in Orchideæ and Asclepiadeæ. Read November 1 and 15, 1831. In: The Transactions of the Linnean Society of London 16 (1829) [1833], S. 685–745. [Brown, 1833.]
 - Buchoz, P. J.: *Traité historique des plantes qui croissent dans la Lorraine et les trois eveche's*, [...]. Bd. 1. Nancy: F. Messin, 1762.
 - Buffon, Georges Louis Leclerc de: HISTOIRE NATURELLE, GÉNÉRALE ET PARTICULIÈRE. Nouvelle édition. Bd. 1 u. 3. A Paris, de l'imprimerie royale. MDCCLXIX.
 - Buffon, Georges Louis Leclerc de: Herrn von Buffons allgemeine Naturgeschichte. 7 Bde. Troppau: gedruckt bei Joseph Georg Traßler, und im Verlag der Kompagnie. 1784–1785.
 - Camper, Petrus: Petri Camper [...] Oratio de analogia inter animalia et stirpes. [...]. Groningae, apud Haionem Spandaw, Acad. Typographum. MDCCLXIV.
 - Candolle, Augustin-Pyrame de: Ueber die Bewegung der Pflanzensäfte. Erstes Schreiben von Hrn. Prof. DeCandolle in Genf an Hrn. Prof. Schultz in Berlin. In: *Flora oder Botanische Zeitung* 11 (1828), S. 193–196.
 - Candolle, Augustin-Pyrame de: *Physiologie végétale, ou exposition des forces et des fonctions vitales des végétaux*, [...]. 3 Bde. Paris: Béchét Jeune, 1832.
 - Carradori, G.: Memoria sulla Circolazione del Sugo nelle Piante. In: *Annali di Chimica e storia naturale ovvero raccolta di memorie sulle scienze, arti, e manufatture ad esse relative di L. Brugnatelli M. D.*, Tomo VII, Pavia 1795, S. 54–71.
 - Cassini, Alexandre Henri Gabriel Vicomte de; Mirbel, Charles François Brisseau de: Rapport fait à l'Académie royale des Sciences, dans sa séance du 27 septembre 1830, sur les Observations d'anatomie et de physiologie végétales, présentées à l'Académie par M. le docteur Schultz. In: *Annales des sciences naturelles* 22 (1831), S. 80–87.
 - Cesalpino, Andrea: DE PLANTIS LIBRI XVI ANDREÆ CÆSALPINI ARETINI, Medici clarissimi, doctissimique atque Philosophi celeberrimi, ac subtilissimi. AD SERENISSIMUM FRANCISCUM Medicem, Magnum Aetruriæ Ducem. FLORENTIAE, Apud Georgium Marescottum. MDLXXXIII.

¹S. 501–502 enthält die „Vorerinnerung“ des Herausgebers, Nees von Esenbecks.

- The Correspondence of Henry Oldenburg. Edited and Translated by A. Rupert Hall & Marie Boas Hall. 13 Bde. Madison u. a. [London u. a.]: 1965–1986. [Zitiert als „Oldenburg-Korr.“.]
- Corti, Bonaventura: Osservazioni microscopiche sulla Tremella e sulla circolazione del fluido in una pianta acquaajuola dell’abate Bonaventura Corti professore di fisica nel collegio di Reggio. Lucca 1774.
- Corti, Bonaventura: Lettera sulla circolazione del fluido scoperta in varie piante al chiarissimo signor Conte Agostino Paradisi. Modena: Società Tipografica, 1775.
- Corti, Bonaventura: Lettera sulla circolazione del fluido scoperta in varie piante dall’ Abate Bonaventura Corti Professore di Fisica nel Collegio di Reggio, e aggregato all’Università di Modena, alla Reale Accademia di Scienze, e belle Arti di Mantova, e a quella dell’Istituto di Bologna. Al Chiarissimo Sig. Conte Agostino Paradisi Presidente alla Classe Filosofica, e Professore Primario nell’accennata Università. In: Continuazione del nuovo Giornale de’Letterati d’Italia, Tom. IX, Modena 1776, S. 195–240. [Corti, 1776a; identisch mit Corti, 1775.]
- Corti, Bonaventura: Lettre adressée à M. le Comte Paradisi, sur la circulation d’un Fluide, découverte en diverses Plantes; Par M. l’Abbé Bonaventure Corti, Professeur de Physique dans le Collège de Reggio, agrégé à l’Université de Modène, à l’Académie Royale des Sciences & Beaux-Arts des Mantoue, & à celle de l’Institut de Bologne. Traduit de l’Italien. In: Observations sur la physique, sur l’histoire naturelle et sur les arts, [...], Tome huitième, Septembre, 1776, S. 232–254. [Corti, 1776b; französische Übersetzung von Corti, 1776a.]
- Cotta, Heinrich: Naturbeobachtungen über die Bewegung und Funktion des Saftes in den Gewächsen, mit vorzüglicher Hinsicht auf Holzpflanzen. Weimar: Hoffmannische Buchhandlung, 1806.
- Coulomb, Charles Augustin: Expériences relatives à la circulation de la séve dans les arbres. In: Mémoires de l’Institut National des Sciences et Arts. Sciences mathématiques et physiques. Bd. 2 (Fructidor, An VII) [1799], Mémoires, S. 246–248.
- Coulon, Julius Vitringa: Dissertatio academica de mutata humorum in regno organico indole a vi vitali vasorum derivanda, quam praeside viro clarissimo Sebaldo Justino Brugmans, [...] publico examini submittit Julius Vitringa Coulon, Leovardia-Frisius, auctor. [...] Lugduni Batavorum, apud Abrah. et Jan. Honkoop, MDCCLXXXIX.
- Covolo, Giovambatista dal: Discorso della Irritabilità d’alcuni Fiori nuovamente scoperta. Florenz 1764.

- Dalloz, Désiré; Dalloz, Armand: *Jurisprudence générale. Répertoire méthodique et alphabétique de législation, de doctrine et de jurisprudence en matière de droit civil, commercial, criminel, administratif, de droit des gens et de droit public.* Bd. 25 (forêts). 2. Aufl. Paris: Bureau de la jurisprudence générale, 1849.
- Darwin, Erasmus: *Zoonomia; or, the laws of organic life.* 2 Bde. London: J. Johnson, 1794–1796.
- Darwin, Erasmus: *Phytologia; or the Philosophy of Agriculture and Gardening.* [...] London: J. Johnson, 1800.
- Degland, J. V. Y.: *Examen de cette question: La sève circule-t-elle dans les plantes à l'instar du sang dans certaines classes d'animaux? Offert à l'École de Médecine de Montpellier, le 25 Prairial, an 8 de la République, par J. V. Y. Degland, de Rennes, Département de Lille et Vilaine.* Montpellier, An 8 de la République [1799/1800].
- Desfontaines, [René Louiche]: *Mémoire sur l'organisation des monocotyledons, ou plantes à une feuille séminale.* In: *Mémoires de l'Institut National*, T. 1, Paris an 6 [1797/1798], S. 478–502.
- Duhamel, Jean Baptiste: *REGIÆ SCIENTIARVM ACADEMIÆ HISTORIA, In qua Præter ipsius Academiæ originem & progressus, variasque dissertationes & observationes per triginta annos factos, quamplurima experimenta & inventa, cum Physica, tum Mathematica in certum ordinem digeruntur.* [...]. LIPSIÆ, Apud THOMAM FRITSCH. A. M. DCC. [J. B. Duhamel, 1700a.]
- Duhamel, Jean Baptiste: *PHILOSOPHIA VETUS ET NOVA AD USUM SCHOLÆ ACCOMODATA, IN REGIA BURGUNDIA OLIM PERTRACTATA, A JOH. BAPT. DU HAMEL. TOMUS QUINTUS, QUI PHYSICAM GENERALEM CONTINET.* Editio quinta multo emendatior & auctior, cum Figuris æneis & ligneis. AMSTELODAMI, Apud G. GALLET Præfectum Typographiæ HUGUETANORUM. M. DCC. [J. B. Duhamel, 1700b.]
- Duhamel du Monceau, Henri Louis: *Recherches physiques de la cause du prompt accroissement des Plantes dans les tems de pluyes. Et plusieurs Observations à ce Sujet.* In: *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXXIX. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie.* A Amsterdam, Chez Pierre Mortier, M. DCCXXXIII. Mémoires, S. 494–509. [Duhamel du Monceau, 1733a.]
- Duhamel du Monceau, Henri Louis: *De l'importance de l'analogie & des rapports que les Arbres doivent avoir entre eux pour la réussite & la durée des Greffes.* In: *Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXXX.*

- Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie. A Amsterdam, Chez Pierre Mortier. M. DCCXXXIII. Mémoires, S. 147–167. [Duhamel du Monceau, 1733b.]
- Duhamel du Monceau, Henri Louis: Sur une Racine qui a la faculté de teindre en Rouge les Os des Animaux vivans. In: Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXXXIX. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie. A Amsterdam, Chez Pierre Mortier. M. DCCXLIII. Mémoires, S. 1–18.
 - Duhamel du Monceau, Henri Louis: Sur le developpement & la crûe des Os des Animaux. In: Histoire de l'Académie royale des sciences. Année M. DCCXLII. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année, Tirés des Registres de cette Académie. A Amsterdam, Chez Pierre Mortier. M. DCCXLVII. Mémoires, S. 481–504.
 - Duhamel du Monceau, Henri Louis: LA PHYSIQUE DES ARBRES; OÙ IL EST TRAITÉ DE L'ANATOMIE DES PLANTES ET DE L'ÉCONOMIE VÉGÉTALE: [...]. 2 Bde. Paris: H. L. Guerin, L. F. Delatour, 1758.
 - Dutrochet, [René Joachim Henri]: Note sur la prétendue Circulation des fluides dans les Végétaux. In: Annales des sciences naturelles 22 (1831), S. 433–436.
 - Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une société de gens de lettres. [...]. 35 Bde. 1751–1780. (Nachdruck Stuttgart-Bad Cannstatt: Friedrich Fromann Verlag [Günther Holzboog], 1967.) [Zitiert als „Encyclopédie“.]
 - ENCYCLOPÉDIE, OU DICTIONNAIRE UNIVERSEL RAISONNÉ DES CONNOISSANCES HUMAINES. Mis en ordre par M. DE FELICE. [...] 58 Bde + 10 Tafelbände. Yverdon, 1770–1780. [Zitiert als „Encyclopédie d'Yverdon“.]
 - Evelyn, John: SYLVA Or A DISCOURSE Of FOREST-TREES, AND THE Propagation of Timber In His MAJESTIES Dominions. [...] To which is annexed POMONA; Or, An Appendix concerning Fruit-Trees in relation to CIDER; The Making and several ways of Ordering it. [...] ALSO KALENDARIVM HORTENSE; Or, Gard'ners Almanac; Directing what he is to do Monethly throughout the Year. [...] LONDON, Printed by Jo. Martyn, and Ja. Allestry, Printers to the Royal Society, and are to be sold at their Shop at the Bell in S. Paul's Church-yard, MDCLXIV.
 - Feldmann, Bernhard: DISSERTATIO PHYSICO-MEDICA INAUGURALIS. SISTENS COMPARATIONEM PLANTARUM ET ANIMALIUM QUAM ANNUENTE DEO TER OPT. MAX. Ex Auctoritate Magnifici

Rectoris, D. TACONIS HAJONIS VAN DEN HONERT, S. S. THEOLOGIAE DOCTORIS EJUSDEMQUE FACULTATIS, UT ET ANTIQUITATUM JUDAICARUM PROFESSORIS ORDINARI. NEC NON Amplissimi SENATUS ACADEMICI Consensu, ET Nobilissimae FACULTATIS MEDICAE Decreto, PRO GRADU DOCTORATUS, Summisque in MEDICINA Honoribus & Privilegiis rite ac legitime consequendis, Publico ac Solemni Eruditorum Disquisitioni subjicit BERNHARD FELDMANN, Berolinensis. Ad diem 27. Junii 1732. hora locoque solitis. LUGDUNI BATAVORUM, Apud CONRADUM WISHOFF, 1732.

- [Fontana, Felice]: [ohne Titel]. In: *Novelle Letterarie* 2 (1771), Supplement zu Nr. 30 v. 26. 6. [Fontana, 1771a.]
- [Fontana, Felice]: [ohne Titel]. In: *Giornale di Firenze*, 1771, Juni, S. 460–481. [Fontana, 1771b.]
- [Fontana, Felice]: [Lettera sulla circolazione del fluido nelle Piante]. In: *Antologia romana* 1 (1774/1775), Nr. 46 (Mai 1775), S. 366–368; Nr. 47 (Mai 1775), S. 374–376; Nr. 48 (Mai 1775), S. 382–384; Nr. 49 (Mai 1775), S. 390–392. [Fontana, 1775a.]
- Fontana, Felice: Saggio di osservazioni sopra il falso ergot, e tremella. Florenz 1775. [Fontana, 1775b.]
- Fontana, Felice: Lettre de M. l'Abbé de Fontana, Physicien du Grand-Duc de Toscane, à M***. In: *Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts*, [...], Tome septième, Avril, 1776, S. 285–292.
- Fries, Jakob: *Reinhold, Fichte und Schelling*. Leipzig: August Lebrecht Reinicke, 1803.
- Gahagan, John: Estratto di osservazioni sull'irritabilità de'vegetabili. (Tradotto dall'Inglese da Madamigella N.) In: *Annali di Chimica e storia naturale ovvero raccolta di memorie sulle scienze, arti, e manifatture ad esse relative di L. Brugnatelli* [...], Tomo IV, Pavia 1793, S. 38–66.
- Geoffroy, [Claude Joseph]: Observations sur les Huiles essentielles, avec quelques conjectures sur la cause des couleurs des feuilles & des fleurs des Plantes. In: *Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCVII. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie. A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire à côté de la Maison de Ville. M.DCCVIII. Mémoires*, S. 686–697.
- Geoffroy, [Claude Joseph]: Observations sur les Huiles Essentielles, & sur différentes manieres de les extraire & de les rectifier. In: *Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCXXI. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de*

cette Academie. A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire dans le Kalverstraat. M. DCCXXV. Mémoires, S. 193–218.

- Girtanner, Christoph: Sur l'Irritabilité, considérée comme principe de vie dans la nature organisée. Second Mémoire. In: Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...], Bd. 37, Août 1790, S. 139–154.
- Gmelin, Johann Friedrich: Irritabilitatem vegetabilium, in singulis plantarum partibus exploratam, vlterioribusque experimentis confirmatam [...] praeside [...] Ferdin. Christoph. Oetinger [...] pro summis in medicina obtinendis honoribus D. Octobr. MDCCCLXVIII [...] publice proponet Auctor Joannes Fridericus Gmelin, Tubingensis. Tvbingae, typis sigmundianis. [1768.]
- Grew, Nehemiah: THE ANATOMY OF VEGETABLES Begun. With a GENERAL ACCOUNT OF VEGETATION Founded thereon. [...] LONDON, Printed for Spencer Hickman, Printer to the R. Society, at the Rose in S. Pauls Church-Yard, 1672. 2. Aufl. erschienen unter dem Titel „THE ANATOMY OF PLANTS, BEGUN“ in Grew, 1682, Teil 2, S. 1–49.
- Grew, Nehemiah: AN IDEA OF A PHYTOLOGICAL HISTORY Propounded. Together with a Continuation of the ANATOMY of VEGETABLES, Particularly prosecuted upon ROOTS. And an Account of the VEGETATION of ROOTS Grounded chiefly thereupon. [...] LONDON, Printed by J. M. for Richard Chiswell at the Rose and Crown in St. Pauls Church-yard, 1673.
- Grew, Nehemiah: The Comparative ANATOMY OF TRUNKS, Together with an Account of their Vegetation grounded thereupon; IN TWO PARTS: [...]. LONDON, Printed by J. M. for Walter Kettilby at the Sign of the Bishops Head in S. Paul's Church-yard. 1675.
- Grew, Nehemiah: Anatomiae vegetabilium primordia cum generali theoria vegetationis [...] ex anglica in latinam translata. In: Miscellanea curiosa, sive ephemeridum medico-physicarum germanicarum academiae naturae curiosorum annus octavus anni M. DC. LXXVII. [...] Vratislaviae & Bergae [...] M. DC. LXXVIII, S. 286–379.
- Grew, Nehemiah: Comparativa anatomia truncorum, una cum theoria vegetationis eorum eidem superstructa in duabus partibus. In: Miscellanea curiosa, sive ephemeridum medico-physicarum germanicarum academiae naturae curiosorum annus nonus et decimus, annor[um] M. DC. LXXVIII & M. DC. LXXIX. 1680, S. 219–293.
- Grew, Nehemiah: THE ANATOMY OF PLANTS. WITH AN IDEA OF A Philosophical History of Plants. And several other LECTURES, Read before the ROYAL SOCIETY. [...] Printed by W. Rawlins, for the Author, 1682. (Nachdruck New York, London: Johnson Reprint Corporation, 1965.)

- Guettard, [Jean Etienne]: Mémoire sur la transpiration insensible des Plantes. In: Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXLVIII. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie. A Amsterdam, Chez J. Schreuder, Et Pierre Mortier, le Jeune. M. DCCLVII. Mémoires, S. 833–865.
- Guettard, [Jean Etienne]: Second Mémoire sur la transpiration insensible des Plantes. In: Histoire de l'Académie royale des sciences. Année MDCCXLIX. Avec les Mémoires de Mathématique & de Physique, pour la même Année. Tirés des Registres de cette Académie. A Amsterdam, Chez J. Schreuder, Et Pierre Mortier, le Jeune. M. DCCLVII. Mémoires, S. 382–453.
- Hales, Stephen: VEGETABLE STATICKS: Or, An Account of some Statical Experiments ON THE SAP in VEGETABLES: Being an ESSAY towards a Natural History of Vegetation. Also, a SPECIMEN of An ATTEMPT to Analyse the AIR, By a great Variety of CHYMICO-STATICAL EXPERIMENTS; Which were read at several Meetings before the ROYAL SOCIETY. [...] London: [...] M, DCC, XXVII. (Nachdruck London: MacDonald, New York: American Elsevier, 1969.)
- Hales, Stephen: LA STATIQUE DES VEGETAUX, ET L'ANALYSE DE L'AIR. EXPERIENCES NOUVELLES Lûes à la Societé Royale de Londres. Par M. HALES D. D. & Membre de cette Societé. Ouvrage traduit de l'Anglois, par M. DE BUFFON, de l'Académie Royale des Sciences. A PARIS, Chez DEBURE l'aîné, à l'entrée du Quay des Augustins, du côté du Pont Saint Michel, à Saint Paul. M. DCC. XXXV.
- Hales, Stephen: Statick der Gewächse oder angestellte Versuche mit dem Saft in Pflantzen und ihren Wachsthum, Nebst Proben von der in Körpern befindlichen Luft. Zum Aufnehmen und Verbesserung der Chymie, des Garten= und Ackerbaues von Herrn STEPHAN HALES bey der Königl. Societät in London in Englischer Sprache herausgegeben, und nebst des Herrn DE BUFFON seiner Frantzösischen Ausgabe beygefügtten Erläuterungen ins Deutsche übersetzt, mit einer Vorrede des Herrn Cantzlers Reichs= Freyherrn von Wolff, und einem Vorbericht von der Pflantzen Structur und Geschlechtern. Mit Kupfern. Halle im Magdeburgischen, Zu finden in der Rengerischen Buchhandlung. 1748.
- Haller, Albrecht von: ALBERTI v. HALLER [...] PRIMAE LINEAE PHYSIOLOGIAE IN USUM PRAELECTIONUM ACADEMICARUM AUCTAE ET EMENDATAE. GOTTINGAE AP. VIDUAM AB. VANDENHOECK, ACAD. BIBL. MDCCLI.
- Haller, Albrecht von: De partibus corporis humani sensibilibus et irritabilibus. In: Commentarii Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis 2 (1752) [veröffentl. 1753], S. 114–158. [Haller, 1753.]

- Haller, Albrecht von: *ELEMENTA PHYSIOLOGIAE CORPORIS HUMANI. AUCTORE ALBERTO v. HALLER, [. . .]. TOMUS QUARTUS. CEREBRUM. NERVI. MUSCULI. LAUSANNE, Sumptibus FRANCISCI GRASSET. MDCCLXII.*
- Hanstein, Johannes: Versuche über die Leitung des Saftes durch die Rinde und Folgerungen daraus. In: *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik* 2 (1860), S. 392–467.
- Hanstein, Johannes: Die Milchsaftgefäesse und die verwandten Organe der Rinde. Eine von der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Paris gekroente Preisschrift. Berlin: Wiegandt und Hempel, 1864.
- Hartig, Theodor: Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. In: *Botanische Zeitung* 16 (1858), S. 329–335, 337–342.
- Harvey, William: *Die Bewegung des Herzens und des Blutes. 1628. Übersetzt und erläutert von Prof. R. Ritter von Töply in Wien. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1910. Nachdruck Leipzig 1968. (= Klassiker der Medizin; 1.)*
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich: *Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse. Hrsg. von Johannes Hoffmeister. 5. Aufl. Leipzig: Felix Meiner, 1949. (= Georg Wilhelm Friedrich Hegel. Sämtliche Werke. Kritische Ausgabe. Herausgegeben von Georg Lasson. Fortgeführt von Johannes Hoffmeister. Bd. 5.)*
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich: *Encyclopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse (1830). Zweiter Teil. Die Naturphilosophie. Mit den mündlichen Zusätzen. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1970. (= G. W. F. Hegel. Werke in zwanzig Bänden. Bd. 9.)*
- Helmont, Johannes Baptista van: *JOHANNIS BAPTISTÆ VAN HELMONT, Toparchæ in Merode, Royenburg &c. OPERA OMNIA, NOVISSIMA HAC EDITIONE AB INNUMERIS MENDIS REPURGATA, ET INDICE RERUM AC VERBORUM LOCUPLETIORI INSTRUCTA, Una cum INTRODUCTIONE ATQUE CLAVI MICHAELIS BERNHARDI VALENTINI, Hæreditarii in Dirshrot. Phil. & Med. Prof. P. Gisseni, Archiatri Hasso-Darmstatini, Præsidis in S. R. I. Acad. Nat. Cur. Adjuncti, Regiæ Prussicæ Societ. Scientiarum & Recup. in Italia Collegæ. [. . .]. [Francofurti 1707]. [Helmont, 1707a.]*
- Helmont, Johannes Baptista van: *Elementa.* In: Helmont, 1707a, S. 49–63. [Van Helmont, 1707b.]
- Helmont, Johannes Baptista van: *Complexionum atque mistionum elementalium figmentum.* In: Helmont, 1707a, S. 100–107. [Helmont, 1707c.]
- *Histoire de l'Academie royale des sciences. Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1686. Tome I. A Paris, chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste Coignard, Fils, Hippolyte-Louis Guerin, Ruë St. Jacques. MDCCXXXIII.*

- Histoire de l'Academie royale des sciences. Depuis 1686. jusqu'à son Renou-
vellement en 1699. Tome II. A Paris, chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste
Coignard, Fils, Hippolyte-Louis Guerin, Ruë St. Jacques. MDCCXXXIII.
- Histoire de l'Académie royale des sciences. Tome II. Depuis 1686. jusqu'à
son Renouveau en 1699. A Paris. Chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste
Coignard, Fils, Hippolyte-Louis Guerin, Ruë S. Jacques. MDCCXXXIII.
[Nicht identisch mit der vorangegangenen Ausgabe.]
- Histoire de l'Académie royale des sciences. [...]. Avec les Mémoires de
Mathématique & de Physique, pour la même Année. [Jahrgänge 1699–
1751, Ausgabe Amsterdam 1706–1760.]
- Homberg, Guillaume: Experiences sur la Germination des Plantes. In: Me-
moires de l'Academie Royale des Sciences. Depuis 1666. jusqu'à 1699. Tome
X. A Paris, par la compagnie des libraires. M. DCC. XXX. S. 348–354. (Vor-
getragen am 30. 6. 1693.)
- Hooke, Robert: Micrographia: or Some Physiological Descriptions of Minu-
te Bodies Made by Magnifying Glasses. With Observations and Inquiries
thereupon. London: Jo. Martyn, Ja. Allestry, MDCLXV.
- Humboldt, Alexander von: Aphorismen aus der chemischen Physiologie der
Pflanzen. Aus dem Lateinischen übersetzt von Gotthelf Fischer. Nebst eini-
gen Zusätzen von Herrn Dr. und Prof. Hedwig und einer Vorrede von Herrn
Dr. und Prof. Christ. Friedr. Ludwig. Leipzig: Voss und Compagnie, 1794.
- Humboldt, Alexander von: Versuche über die gereizte Muskel- und Ner-
venfaser nebst Vermuthungen über den chemischen Process des Lebens in
der Thier- und Pflanzenwelt. 2 Bde. Posen: Decker und Compagnie; Berlin:
Heinrich August Rottmann, 1797.
- Ingen-Housz, Jan: Expériences sur les végétaux, spécialement sur la Pro-
priété qu'ils possèdent à un haut degré, soit d'améliorer l'Air quand ils sont
au soleil, soit de le corrompre la nuit, ou lorsqu'ils sont à l'ombre; [...].
Traduit de l'Anglois, par l'Auteur. Paris: Théophile Barrois, 1780.
- Ingenhousz, Jan: Réflexions sur l'économie des végétaux. In: Observations
sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...] 24 (1784), Juin
1784, S. 443–455.
- Kant, Immanuel: Werke in sechs Bänden. Köln: Könenmann, 1995.
- Kilmeyer, Carl Friedrich: Ueber die Verhältniße der organischen Kräfte
unter einander in der Reihe der verschiedenen Organisationen, die Geseze
und Folgen dieser Verhältniße. Stuttgart 1793. [Nachdruck Marburg a. d. L.:
Basiliken-Presse, 1993 (= Basiliken-Druck; 8).]
- Kieser, Dietrich Georg: Aphorismen aus der Physiologie der Pflanzen. Göt-
tingen: in Commission bei H. Dieterich, 1808.

- Kieser, Dietrich Georg: Grundzüge der Anatomie der Pflanzen. Zum Gebrauche bei seinen Vorlesungen von Dr. D. G. Kieser, [. . .]. Ein Auszug aus der im Jahr 1812 von der Teylerschen Gesellschaft zu Harlem gekrönten Preisschrift. Jena: Cröckersche Buchhandlung, 1815.
- Kölreuter, Joseph Gottlieb: D. Joseph Gottlieb Kölreuter's Vorläuffige Nachricht von einigen das geschlecht der Pflanzen betreffenden versuchen und Beobachtungen. Leipzig: Gleditschische Handlung, 1761. Zweyte Fortsetzung 1764, Dritte Fortsetzung 1766. (Neudruck Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1893 [Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften; Nr. 41].)
- La Hire, Philippe de: Experiences servant d'éclaircißement à l'élevation du suc nourricier dans les Plantes. In: MEMOIRES DE MATHEMATIQUE ET DE PHYSIQUE, TIREZ DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences. A Paris, de l'imprimerie royale. M. DC. XCIII. S. 73–75. Auch in: Memoires de l'Academie Royale des Sciences. Depuis 1666. jusqu'à 1699. Tome X. A Paris, par la compagnie des libraires. M. DCC. XXX. S. 317–319.
- La Quintinie, Jean de: INSTRUCTION POUR LES JARDINS FRUITIERS ET POTAGERS, Avec un Traité des Orangers, suivy de quelques Reflexions sur l'Agriculture, Par feu M. DE LA QUINTINYE, Directeur de tous les Jardins Fruitiers & Potagers du ROY. [. . .] Seconde Edition revüe & corrigée. [. . .] [2 Bde.] A AMSTERDAM, Chez HENRI DESBORDES, dans le Kalver-straat, prés le Dam. M. DC. LXXXII.
- La Quintinie, Jean de: The Compleat Gard'ner; OR, Directions for CULTIVATING AND Right ORDERING OF Fruit-GARDENS AND Kitchen-Gardens; With Divers REFLECTIONS On several Parts OF HUSBANDRY. In Six BOOKS. By the Famous Mon^{sr}. De La Quintinye, Chief director of all the GARDENS of the French-King. To which is added His Treatise of ORANGE-TREES, with the Raising of MELONS, omitted in the French Editions. Made English by John Evelyn Esquire, Illustrated with Copper Plates. London, Printed for Matthew Gillyflower, at the Spread Eagle in Westminster-Hall, and James Partridge, at the Posthouse at Charing-Cross, MDC XCIII. [La Quintinie, 1693a.]
- La Quintinie, Jean de: Reflections upon some Parts of Agriculture. 1693. (Bestandteil von La Quintinie, 1693a, mit eigener Paginierung.) [La Quintinie, 1693b.]
- Laurembergius, Petrus: PETRI LAUREMBERGII Rostochiensis, HORTICULTURA, Libris II. comprehensa; HVIC NOSTRO COELO & solo accommodata; Regulis, Observationibus, Experimentis, & Figuris novis instructa: IN QVA QVICQVID AD HORTUM PROFICUE COLENDUM, ET eleganter instruendum facit, explicatur. MDC LIV. Francofurti ad Moenum Sumptibus Matthæi Meriani.

- Leibniz, Gottfried Wilhelm: Mathematischer, naturwissenschaftlicher und technischer Briefwechsel. Unter Aufsicht der Akademie der Wissenschaften in Göttingen herausgegeben vom Leibniz-Archiv der Niedersächsischen Landesbibliothek Hannover. 4. Bd. Juli 1683–1690. Berlin: Akademie Verlag, 1995. (= Gottfried Wilhelm Leibniz. Sämtliche Schriften und Briefe. 3. Reihe, 4. Bd.)
- Leeuwenhoek, Antoni van: SEND-BRIEVEN, Zoo aan de HOOG-EDELE HEEREN van de KONINKLYKE SOCIETEIT te LONDEN, Als aan andere AANSIENELYKE en GELEERDE LIEDEN, Over verscheyde Verborgheden der Natuure, [...]. Delft: Adriaan Beman, 1718.
- Leeuwenhoek, Antoni van: Antonii a Leeuwenhoek regiæ, quæ Londini est, societatis collegæ, epistolæ physiologicæ super compluribus naturæ arcanis; [...]. Delphis, apud Adrianum Beman, 1719. (= Leeuwenhoek, Opera omnia, 1719–1730, Bd. 2.)
- Leeuwenhoek, Antoni van: Alle de brieven van Antoni van Leeuwenhoek. (The Collected Letters of Antoni van Leeuwenhoek.) 15 Teile. Amsterdam [ab Teil 12 Lisse]: Swets & Zeitlinger, 1939–1999. [Zitiert als „Leeuwenhoek, *Coll. Letters*“.]
- Link, Johann Heinrich Friedrich: Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Göttingen: Justus Friedrich Danckwerts, 1807.
- Link, Heinrich Friedrich: Vorlesungen über die Kräuterkunde, für Freunde der Wissenschaft, der Natur und der Gärten. 1. Bd. 2 Abtheilungen. Berlin: C. G. Lüderitz, 1843–1845.
- Linné, Carl von: Caroli Linnæi [...] philosophia botanica in qua explicantur fundamenta botanica cum definitionibus partium, exemplis terminorum, observationibus rariorum, adjectis figuris æneis. [...] Stockholmiæ apud Godofr. Kiesewetter, Amstelodami apud Z. Chatelain. 1751. (Nachdruck Lehre: J. Cramer, 1966 [= *Historiæ naturalis classica*; 48].)
- Major, Johann Daniel: D[octoris] Joh[annis] Danielis Maioris dissertatio botanica, de planta monstrosa gottorpiensi mensis Junii, Anni MDC LXV, ubi quaedam de coalescentia stirpium et circulatione succi nutritii per eadem, proferuntur: cum figuris aeri incisis, et additamento de simili materia. Schleswigæ [...] Anno MDC LXV.
- Major, Johann Daniel: Joh[annes] Daniel Major, d[octor] anat[omes] et botan[ices] prof[essor] p[ublicus] reverendissimi et serenissimi episcopi lubecensis archiater ad oculi declarationem anatomicam curiosos quam amice invitat. [Kiel 1667.]
- Major, Johann Daniel: D[octoris] Joh[annis] Danielis Maioris Memoriale anatomico-miscellaneum. Kiloni [...] MDCLXIX.

- D[octor] J[ohannes] DAN[iel] MAJOR, P[ro]fessor] P[ublicus] COLLEGIUM MEDICO-CURIOSUM Hebdomadatim intra aedes privatas habendum intimat aequis Aestimatoribus STUDIUM EXPERIMENTALIS. Kiliae, [...] [1670].
- Malpighi, Marcello: Marcelli Malpighii, E Reg. Soc. Anglicana, Anatomes Plantarum Idea. [1671.] [Enthalten in Malpighi, 1686, mit eigenständiger Seitenzählung.]
- Malpighi, Marcello: Marcelli Malpighii, Anatome Plantarum. [Teil I, 1675.] [Enthalten in Malpighi, 1686, mit eigenständiger Seitenzählung.]
- Malpighi, Marcello: Marcelli Malpighii Philosophi & Medici Bononiensis E Regia Societate Anatomes Plantarum Pars Altera. Regiæ Societati, Londini Ad Scientiam Naturalem promovendam institutæ, Dicata. [1679.] [Enthalten in Malpighi, 1686, mit eigenständiger Seitenzählung.]
- Malpighi, Marcello: Marcelli Malpighii Philosophi & Medici Bononiensis, E REGIA SOCIETATE OPERA OMNIA, Figuris elegantissimis in æs incisiss ILLUSTRATA. TOMIS DUOBUS COMPREHENSÆ. [...] LONDINI: Apud ROBERTUM SCOTT & GEORGIUM WELLS. MDCLXXXVI.
- Malpighi, Marcello: Marcelli Malpighii philosophi et medici bononiensis e societate regia londoniensi opera posthuma quibus praefationes, & animadversiones addidit, pluribusque in locis emendationes instituit Faustinus Gavinellus publicus anatomiae lector. Editio novissima figuris aeneis, & indice illustrata. Venetiis, M. DC. XCVIII. Ex typographia Andreae Poleti. Superiorum permissu.
- Mandirola, Agostino: Manuale de'giardinieri diviso in trè libri. Vicenza 1661.
- [Mariotte, Edme]: Touchant la végétation des Plantes. In: Supplement du journal des sçavans, des ann. MDCLXXII. MDCLXXIII. et MDCLXXIV [...], première conférence du 1. Juillet M. DC. LXXII., S. 111–124. [Zitiert als „Mariotte, 1672“.]
- Mariotte, Edme: De la végétation des plantes. [1679.] In: Oeuvres de M. Mariotte, de l'Académie royale des sciences; [...]. Nouvelle édition. Tome premier. A La Haye, Chez Jean Neaulme, M. D CC. XL. S. 119–147.
- Mariotte, Edme: Discours de la nature de l'air [S. 1–63]. De la végétation des plantes [S. 65–114]. Nouvelle découverte touchant la vue [S. 115–118]. Paris: Gauthier-Villars, 1923.
- Marum, Martinus van: Dissertatio philosophica inauguralis, de motu fluidorum in plantis, experimentis et observationibus indagato. Quam, [...] pro artium liberalium magisterio et gradu doctoratus summissaque in philosophia honoribus ac privilegiis, rite & legitime capessendis, [...] publico ac solemniter examini subiecit Martinus van Marum, Delfis Batavus die 7. Augusti

- MDCCLXXIII. Groningae. Apud Hajonem Spandaw, Bibliopolam. 1773. [van Marum, 1773a.]
- Marum, Martinus van: Dissertatio botanico-medica inauguralis, qua disquiritur, quo usque motus fluidorum, et caeterae quaedam animalium et plantarum functiones consentiunt. Quam, [...] pro gradu doctoratus, summisque in medicina honoribus ac privilegiis, rite & legitime capessendis, [...] publico ac solemni examini submittet Martinus van Marum, A. L. M. & phil. doct. Delfis Batavus, die 21 Augusti MDCCLXXIII. Groningae. Apud Hajonem Spandaw, Bibliopolam. 1773. [van Marum, 1773b.]
 - Marum, Martinus van: Seconde lettre de M. Van-Marum, à M. Jean Ingen-Housz, [...] Contenant quelques Expériences & des Considérations sur l'action des vaisseaux des Plantes qui produit l'ascension & le mouvement de leur sève. In: Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...] 41 (1792), Septembre 1792, S. 214–220.
 - Mayer, August Franz Joseph Carl: Über das autonomische Leben der mikroskopischen Elemente des Pflanzen- und Thier-Organismus. In: Ders.: Supplemente zur Lehre vom Kreislaufe. 1. Heft. Supplemente zur Biologie des Blutes und des Pflanzensaftes. Bonn: Adolph Marcus, 1827. S. 19–77.
 - Merret, Christopher: An Experiment On Aloe Americana Serrati-folia weighed; seeming to import a Circulation of the Sappe in Plants, by the same Dr. Merret. In: Philosophical Transactions, Nr. 25 (1667), S. 455–457.
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: De primis vitae phaenomenis in fluidis formativis et de circulatione sanguinis in parenchymate. Berolini Typis Brueschckianis [1826]. [Meyen, 1826a.]
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: Über die eigenthümliche Säfte-Bewegung in den Zellen der Pflanzen, (motio propria succi cellularis). In: Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae Curiosorum 13 (1826), S. 839–868. [Meyen, 1826b.]
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: Ueber die Cirkulation des Lebenssafts in den Pflanzen. In: Linnaea 2 (1827), S. 632–670.
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Inhalt der Pflanzen-Zellen. Berlin: Hirschwald, 1828. [Meyen, 1828a.]
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: Ueber den innern Lebensproceß. In: Isis 21 (1828), Heft 3 u. 4, Sp. 394–411. [Meyen, 1828b.]
 - Meyen, Franz Julius Ferdinand: Historisch-physiologische Untersuchungen über selbstbewegliche Molecüle der Materie. In: Robert Brown's vermischte Schriften. Hrsg. v. C. G. Nees von Esenbeck. Bd. 4. Nürnberg: Leonhard Schrag, 1830. S. 327–498. [Meyen, 1830a.]

- Meyen, Franz Julius Ferdinand: Phytotomie. Berlin: Haude und Spenersche Buchhandlung, 1830. [Meyen, 1830b.]
- Meyen, Franz Julius Ferdinand: Über die Bewegung der Säfte in den Pflanzen. Ein Schreiben an die Königliche Academie der Wissenschaften zu Paris; deutsch bearbeitet und mit Anmerkungen versehen von Dr. F. J. F. Meyen. Berlin: Sandersche Buchhandlung, 1834.
- Meyen, Franz Julius Ferdinand: Neues System der Pflanzen-Physiologie. 3 Bde. Berlin 1837–1839.
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Essai sur l’anatomie des végétaux. In: Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts [...] 52, Floréal An 9 [1801], S. 336–344. [Mirbel, 1801a.]
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Suite de l’anatomie des végétaux. In: Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts [...] 52, Prairial An 9 [1801], S. 438–449. [Mirbel, 1801b.]
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Suite de l’anatomie des végétaux. In: Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts [...] 53, Messidor An 9 [1801], S. 62–73. [Mirbel, 1801c.]
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Suite de l’anatomie des végétaux. In: Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts [...] 53, Fructidor An 9 [1801], S. 200–213. [Mirbel, 1801d.]
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Traité d’anatomie et de physiologie végétales, [...]. 2 Bde. Paris: L’imprimerie de F. Dufart, An. X [1801/1802].
- Mirbel, Charles François Brisseau de: Mémoire d’anatomie végétale. In: Journal de physique, de chimie, d’histoire naturelle et des arts [...] 54, Germinal An 10 [1802], S. 279–298.
- Mohl, Hugo: Ueber den Milchsaft und seine Bewegung. In: Botanische Zeitung, 1. Jg. (1843), 33. Stück, Sp. 553–558; 34. Stück, Sp. 569–577; 35. Stück, Sp. 593–598. [Mohl, 1843a.]
- Mohl, Hugo: Erklärung. In: Botanische Zeitung, 1. Jg. (1843), 48. Stück, Sp. 825–830. Auch in: Flora, Neue Reihe, 1. Jg., 1. Bd. (1843), Nr. 48, S. 811–816. [Mohl, 1843b.]
- Moldenhawer, Johann Jacob Paul: Beyträge zur Anatomie der Pflanzen. Kiel: Gedruckt in der königlichen Schulbuchdruckerei durch C. L. Wäser, 1812.
- Molisch, Hans: Pflanzenphysiologie als Theorie der Gärtnerei. Jena: Gustav Fischer, 1916.

- [Müller, Johannes]²: Rezension zu Schultz' „Der Lebensproceß im Blute, eine auf microscopischen Entdeckungen gegründete Untersuchung“. In: Isis, 1824, Heft 2, Sp. 267–292.
- Müller, Johannes: An Herrn Prof. Dr. C. H. Schultz in Berlin [...] betreffend eine Aeüßerung in den Jahrbüchern für wissenschaftliche Critik Nr. 9 u. 10. S. 77. In: Isis 21 (1828), Heft 2, Sp. 221–224.
- Mustel, Nicolas A.: New Observations upon Vegetation. [Übersetzt aus dem Französischen.] In: Philosophical Transactions, giving some Account of the Present Undertakings, Studies and Labours, of the Ingenious, in many Considerable Parts of the World, Bd. 63, London 1773, S. 126–136.
- Mustel, Nicolas A.: Traité théorique et pratique de la Végétation, contenant plusieurs Expériences nouvelles & démonstratives sur l'Economie végétale & sur la Culture des Arbres [...]. Tome second. Paris 1781.
- Nees von Esenbeck, Christian Gottfried: Handbuch der Botanik. 2 Bde. Nürnberg: Johann Leonhard Schrag. 1. Bd. 1820. (= Handbuch der Naturgeschichte, zum Gebrauch bei Vorlesungen. Von Dr. G. H. Schubert. 4. Teil, 1. Abtlg.)
- Oken, Lorenz: Lehrbuch der Naturphilosophie. Erster und zweiter Theil. Jena: Friedrich Frommann, 1809. Dritter Theil. Erstes und zweites Stück. Jena: Friedrich Frommann, 1810. Dritter Theil. Drittes, letztes Stück. Jena: Friedrich Frommann, 1811.
- Oken, Lorenz: Lehrbuch der Naturphilosophie. 2., umgearbeitete Aufl. Jena: Friedrich Frommann, 1831.
- Oken, Lorenz: Lehrbuch der Naturphilosophie. Dritte, neu bearbeitete Aufl. Zürich: Friedrich Schultheß, 1843.
- Perrault, Claude: De la circulation de la seve des plantes. In: Oeuvres diverses de Physique et de mécanique, de Mrs. C. & P. Perrault, de l'Académie Royale des Sciences & de l'Académie Française. Divisées en deux volumes. Volume premier. A Leide, Chez Pierre Vander Aa, [...] MDCCXXI. S. 69–126. [Ursprünglich 1680 erschienen.]
- Perrault, Claude: LES DIX LIVRES D'ARCHITECTURE DE VITRUVÉ CORRIGÉ ET TRADVITS nouvellement en François, avec des Notes & des Figures. Seconde Edition revue, corrigée, & augmentée. Par M. PERRAULT de l'Académie Royale des Sciences, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris. A PARIS, Chez JEAN BAPTISTE COIGNARD, Imprimeur ordinaire du Roy, rue S. Jacques, à la Bible d'or. M. DC. LXXXIV.

²Die Rezension trug die Überschrift „Von einem Ungenannten“. Laut Schultz, 1828, Sp. 681, habe sich Johannes Müller „als Verfasser jener Recension zu erkennen gegeben“.

- Petit, [Jean Louis]: Memoire sur la Vegetation des Sels. In: Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M. DCCXXII. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie. A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire dans le Kalverstraat. M. DCCXXVII. Mémoires, S. 129–159.
- [Pluche, Noël Antoine]: LE SPECTACLE DE LA NATURE, OU ENTRETIENS Sur les particularitez DE L'HISTOIRE NATURELLE, Qui ont paru les plus propres à rendre les jeunes Gens curieux, & à leur former l'esprit. PREMIERE PARTIE, Contenant ce qui regarde les dehors & l'intérieur de la Terre. TOME PREMIER. A AMSTERDAM, Aux dépens DE LA COMPAGNIE, 1743. [Pluche, 1743a.]
- [Pluche, Noël Antoine]: LE SPECTACLE DE LA NATURE, OU ENTRETIENS Sur les particularitez DE L'HISTOIRE NATURELLE, Qui ont paru les plus propres à rendre les jeunes Gens curieux, & à leur former l'esprit. SECONDE PARTIE. Contenant ce qui regarde les dehors & l'intérieur de la Terre. TOME SECOND. A AMSTERDAM, Aux dépens DE LA COMPAGNIE, 1743. [Pluche, 1743b.]
- [Pluche, Noël Antoine]: Schau=Platz der Natur, oder: Unterredungen von der Beschaffenheit und den Absichten der Natürlichen Dinge, wodurch die Jugend zu weiterm Nachforschen aufgemuntert, und auf richtige Begriffe von der Allmacht und Weißheit Gottes geführt wird. Erster Theil. Welcher die Thiere und Pflanzen betrachtet. Zweyte Auflage, Aus dem Französischen von neuem³ übersezet von F. W. B. [...]. Wien und Nürnberg, bey Peter Conrad Monath. 1750.
- Porta, Johannes Baptista della: Phytognomonica IO. BAPTISTÆ PORTÆ NEAPOL. Octo libris contenta; IN QVIBVS NOVA, FACILLIMAQVE AFFERTVR METHODVS, qua plantarum, animalium, metallorum; rerum denique omnium ex prima extimæ faciei inspectione quiuis abditas vires assequatur. [...] [2. Aufl.] FRANCOFVRTI, Apud Nicolaum Hoffmannum, Impensis Ionæ Rhodii. M. DC. VIII.
- Pulteney, Richard: HISTORICAL AND BIOGRAPHICAL SKETCHES OF THE PROGRESS OF BOTANY IN ENGLAND, FROM ITS ORIGIN TO THE INTRODUCTION OF THE LINNÆAN SYSTEM. BY RICHARD PULTENEY, M. D. F. R. S. IN TWO VOLUMES. LONDON: PRINTED FOR T. CADELL, IN THE STRAND. 1790.
- Rafn, Carl Gottlob: Entwurf einer Pflanzenphysiologie, auf die neuern Theorien der Physik und Chemie gegründet; mit vielen Zusätzen und Veränderungen des Verfassers. Aus dem Dänischen übersetzt von Johannes Ambrosius Markussen. Kopenhagen, Leipzig: Johann Heinrich Schubothé, 1798.

³Orig.: „neuen“.

- Ratzeburg, Julius Theodor Christian: Die Standortsgewächse und Unkräuter Deutschlands und der Schweiz, in ihren Beziehungen zu Forst-, Garten- und Landwirthschaft und zu anderen Fächern. Berlin: Nicolaische Verlagsbuchhandlung (G. Parthey), 1859.
- Reichel, George Christian: De vasis plantarum spiralibus amplissimi philosophorum ordinis in academia lipsiensi consensu d[ie] III. Maii A. O. R. MDCCLVIII disserit M. George Christian Reichel mvlhvsæ thuringvs medicinae baccalavrus respondente Carolo Christiano Wagnero lovena silesio medicinae baccalavro. Lipsiae ex officina Breitkopfia. [1758.]
- Reneaume: Observations sur le suc nourricier des plantes. In: Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCVII. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Registres de cette Academie. A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire à côté de la Maison de Ville. M.DCCVIII. Mémoires, S. 359–375.
- Rudolphi, Karl Asmund: Anatomie der Pflanzen. Berlin: Myliussche Buchhandlung, 1807.
- Rudolphi, Karl Asmund: Grundriss der Physiologie. 2 Bde. Berlin: Ferdinand Dümmler, 1821–1828.
- Sachs, Julius: Beobachtungen und Ansichten über den absteigenden Saft. In: Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft 45, Heft 1 (1862), S. 70–110.
- Sachs, Julius: Lehrbuch der Botanik. Nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1868.
- Savi, Paolo: Considerazioni del Dott. Paolo Savi Professore di Storia Naturale nell'I. e R. Università di Pisa sulle Osservazioni Microscopiche del Sig. Dott. Schultz. In: Nuovo Giornale de'Letterati, Bd. 10 (1825), Abteilung Scienze, S. 43–55.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph von: Einleitung zu dem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie. Oder über den Begriff der speculativen Physik und die innere Organisation eines Systems dieser Wissenschaft. 1799. In: Schellings Werke. Nach der Originalausgabe in neuer Anordnung herausgegeben von Manfred Schröter. Zweiter Hauptband. Schriften zur Naturphilosophie 1799–1801. München: C. H. Beck u. R. Oldenbourg, 1927. S. 269–326.
- Schleiden, Matthias Jakob: Schelling's und Hegel's Verhältniss zur Naturwissenschaft. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1844. (Nachdruck Weinheim: VCH, 1988.)
- Schleiden, Matthias Jakob: Grundzüge der Wissenschaftlichen Botanik nebst einer Methodologischen Einleitung als Anleitung zum Studium der Pflanze. 2. Aufl. 1845. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1845. (Nachdruck Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms, 1998.)

- Schleiden, Matthias Jakob: Die Physiologie der Pflanzen und Thiere und Theorie der Pflanzencultur. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn, 1850. (= Schleiden, M. J.; Schmid, E. E.: Encyclopädie der gesammten theoretischen Naturwissenschaften in ihrer Anwendung auf die Landwirthschaft, umfassend [...], Bd. 3.)
- Schleiden, Matthias Jakob: Die Pflanze und ihr Leben. Populäre Vorträge. 6. Aufl. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1864.
- Schmidt, Johannes Christophorus: Q. F. F. Q. S. DISCEPTATIO MEDICO-BOTANICA INAUGURALIS DE ANALOGIA REGNI VEGETABILIS CUM ANIMALI. Quam ANNUENTE AC PRÆSIDE SUMMO ARCHIATRO Jussu & Consensu Gratosissimi ac Excellentissimi Medicorum Ordinis in Alma Rauracorum Universitate, Pro Summis in Arte Medica Honoribus ac Privilegiis Doctoralibus rite consequendis. Ad Diem 30. Junij MDCCXXI. h.[ora] l.[oco] q.[ue] s.[olitis] Publico Eruditorum Examine subicit JOHANNES CHRISTOPHORUS SCHMIDT, Svinfurtho-Francus. BASILEÆ, Typis Viduæ Friderici Lüdi, 1721.
- Schultz, Carl Heinrich: Über den Kreislauf des Saftes im Schöllkraute und in mehreren andern Pflanzen und über die Assimilation des rohen Nahrungsstoffes in den Pflanzen überhaupt. Berlin: Ferdinand Dümmler, 1822. [Schultz, 1822a.]
- Schultz, Carl Heinrich: Der Lebensprocess im Blute, eine auf mikroskopische Entdeckungen gegründete Untersuchung. Berlin: G. Reimer, 1822. [Schultz, 1822b.]
- Schultz, Carl Heinrich: Die Natur der lebendigen Pflanze. 1. Teil. Berlin: G. Reimer, 1823. 2. Teil. Stuttgart, Tübingen: J. G. Cotta, 1828. [Schultz, 1823–1828.]
- Schultz, Carl Heinrich: Ueber den Kreislauf des Saftes in den Pflanzen. Berlin: G. Reimer, 1824.
- Schultz, Carl Heinrich: An den Herrn Professor Müller in Berlin. In: Isis 21 (1828), Heft 7, Sp. 678–682. [Schultz, 1828a.]
- Schultz, Carl Heinrich: Ueber die Bewegung der Pflanzensäfte; erster Brief an den Hrn. Prof. DeCandolle in Genf von Hrn. Prof. Schultz in Berlin. In: Flora oder Botanische Zeitung 11 (1828), S. 17–28, 33–43. [Schultz, 1828b.]
- Schultz, Carl Heinrich: Ueber die verschiedenen Arten der Säftebewegungen in den Pflanzen. Zweiter Brief an den Hrn. Prof. DeCandolle in Genf, von Hrn. Prof. Schultz in Berlin. In: Flora oder Botanische Zeitung 11 (1828), S. 129–142, 152–156. [Schultz, 1828c.]
- Schultz, Carl Heinrich: Drittes Schreiben von Hrn. Prof. Schultz in Berlin an Hrn. Prof. DeCandolle in Genf. In: Flora oder Botanische Zeitung 11 (1828), S. 196–205. [Schultz, 1828d.]

- Schultz, Carl Heinrich: Lettre sur la Circulation des fluides dans les Végétaux, adressée à l'Académie des Sciences de Paris, le 6 septembre 1829. In: *Annales des sciences naturelles* 22 (1831), S. 75–79.
- Schultz, Carl Heinrich: *Natürliches System des Pflanzenreichs nach seiner inneren Organisation, nebst einer vergleichenden Darstellung der wichtigsten aller früheren künstlichen und natürlichen Pflanzensysteme*. Berlin: August Hirschwald, 1832.
- Schultz, Carl Heinrich: *Das System der Circulation, in seiner Entwicklung durch die Thierreiche und im Menschen*. Stuttgart: Cotta, 1836.
- Schultz, Carl Heinrich: *Mémoire de M. Schultz de Berlin, sur les vaisseaux du latex, extrait par M. Auguste de Saint-Hilaire*. In: *Annales des sciences naturelles. Seconde Série. Tome VII. – Botanique*. Paris 1837. S. 257–276. (Auszug aus Schultz' später veröffentlichtem *Mémoire* [Schultz 1839].)
- Schultz, Carl Heinrich: *Sur la circulation et sur les vaisseaux laticifères dans les plantes. Mémoire qui a remporté le grand prix de physique proposé par l'Académie Royale des Sciences de Paris pour l'année 1833*. Paris, Berlin 1839.
- Schultz, Carl Heinrich: *Nouvelles observations sur la circulation dans les plantes*. In: Schultz, 1839, S. 105–110. (Extrait des comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris, séance du 10. Sept. 1838.)
- Schultz, Carl Heinrich: *Die Cyklose des Lebenssaftes in den Pflanzen*. Breslau, Bonn 1841. (= *Nova acta Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae Curiosorum*, Bd. 18, Suppl. 2.)
- Schultz, Carl Heinrich: *Zur Berichtigung von Hugo Mohls Aufsatz: Ueber den Milchsaft und seine Bewegung [...]*. In: *Flora oder allgemeine botanische Zeitung, Neue Reihe*, 1. Jg., 1. Bd. (1843), Nr. 42, S. 705–717; Nr. 43, S. 721–729. [Schultz, 1843a.]
- Schultz, Carl Heinrich: *Die Anaphytose oder Verjüngung der Pflanzen. Ein Schlüssel zur Erklärung des Wachsens, Blühens und Fruchttragens, mit praktischen Rücksichten auf die Kultur der Pflanzen*. Berlin: August Hirschwald, 1843. [Schultz, 1843b.]
- Schultz, Carl Heinrich: *Die Entdeckung der wahren Pflanzennahrung. Mit Aussicht zu einer Agrikulturphysiologie*. Berlin: Hirschwald, 1844.
- Schultz, Carl Heinrich: *Neues System der Morphologie der Pflanzen nach den organischen Bildungsgesetzen als Grundlage eines wissenschaftlichen Studiums der Botanik besonders auf Universitäten und Schulen*. Berlin: August Hirschwald, 1847.

- Schultz, Carl Heinrich: Über Pflanzenernährung, Bodenerschöpfung und Bodenbereicherung mit Beziehung auf Liebig's Ansicht der Bodenausraubung durch die moderne Landwirtschaft. 1864.
- Schultz-Schultzenstein, Carl Heinrich: Die Physiologie der Verjüngung des Lebens im Unterschiede von den dynamischen und den materialistischen Stoffwechseltheorien des Lebens und in ihrem Einfluß auf Gesundheitskultur, Erziehung und Unterricht. Berlin: J. Remak, 1867.
- Schultz-Schultzenstein, Carl Heinrich: Naturstudium und Kultur oder Wahrheit und Freiheit in ihrem natürlichen Zusammenhange. 2. Ausgabe. Basel: Hugo Richter, 1874.
- Schwann, Theodor: Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstume der Tiere und Pflanzen. [1839]. Hrsg. von F. Hünsele. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1910. (= Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften; 176.)
- Senebier, Jean: Mémoire sur le Phlogistique, considéré comme la cause du développement, de la vie & de la destruction de tous les êtres dans les trois Règnes. In: Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...], Tome huitième, Juillet, 1776, S. 25–37.
- Senebier, Jean: Quatrième mémoire sur le phlogistique, ou Réponse à la Lettre de Madame de V***, contenue dans le Journal de Physique pour le mois de septembre 1777, page 206, avec des Remarques sur la nature du Phlogistique. In: Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...], Tome XI, Avril 1778, S. 326–338.
- Senebier, Jean: Second Lettre à Madame de V***, ou Mémoire sur la nature de la Lumière & de ses effets, sur la décoloration des surfaces colorées exposées à son action, & sur l'étiollement des Plantes. In: Observations sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts, [...], Tome XIV, Novembre 1779, S. 335–384.
- Senebier, Jean: Mémoires physico-chymiques, sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois règnes de la Nature, & sur-tout ceux du règne végétal. 3 Bde. Genève: Barthelemi Chirol, 1782.
- Senebier, Jean: Recherches sur l'influence de la lumière solaire pour métamorphoser l'air fixe en air pur par la végétation. [...] Genève: Barthelemi Chirol, 1783.
- Senebier, Jean: Physiologie végétale. Paris: Panckoucke, 1791. (= Encyclopédie méthodique, ou par ordre de matières [...]; Bd. 181.)
- Senebier, Jean: Physiologie végétale. 5 Bde. Genf: J. J. Paschoud, 1800.
- Senguerdus, Wolferdus: WOLFERDI SENGUERDII, A. F. [...] PHILOSOPHIA NATURALIS, QUATUOR PARTIBUS Primarias corporum spe-

- cies, affectiones, differentias, productiones, mutationes, & interitus, EXHIBENS. Editio secunda, priore auctior. LUGD. BATAV. Apud DANIELEM à GAESBEECK. MDCLXXXV.
- Seubert, Moritz: Lehrbuch der gesammten Pflanzenkunde zum Unterrichts an höheren Lehranstalten, sowie zum Selbststudium. Stuttgart: J. B. Müller's Verlagshandlung, 1853.
 - Spallanzani, Lazzaro: Epistolario. Hrsg. v. Benedetto Biagi. 5 Bde. Florenz: Sansoni Antiquariato, 1958–1964. [Zitiert als „Spallanzani, *Epistolario*“.]
 - Spallanzani, Lazzaro: Riflessioni chritiche sull'Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella e alla Cara, a lui medesimo amichevolmente scritte. Hrsg. v. Paola Manzini. In: Manzini, 1982, S. 54–58. [Zitiert als „Spallanzani, *Riflessioni chritiche*“.]
 - Spallanzani, Lazzaro: Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani. Parte prima. Carteggi. Hrsg. v. Pericle Di Pietro. 12 Bände. Modena: Enrico Mucchi, 1984–1990. [Zitiert als „Spallanzani, *Carteggi*“.]
 - Spallanzani, Lazzaro: Edizione nazionale delle opere di Lazzaro Spallanzani. Parte seconda. Lezioni. Hrsg. v. Pericle Di Pietro. 2 Bde. Modena: Enrico Mucchi, 1994. [Zitiert als „Spallanzani, *Lezioni*“.]
 - Sprengel, Kurt: Anleitung zur Kenntniß der Gewächse, in Briefen. 3 Bde. Halle: Karl August Kümmel, 1802–1804.
 - Sprengel, Kurt: Von dem Bau und der Natur der Gewächse. Halle: K. A. Kümmel, 1812.
 - Thomson, Thomas: History of the Royal Society from its Institution to the end of the 18th century. London: Baldwin, 1812.
 - Thümmig, Ludwig Philipp: Experimentum singulare de arboribus ex folio educatis ad rationes physicas revocatum, præside Ludovico Philippo Thümmigio [...] respondente Johanne Mayero [...]. [...] Halæ Magdeburgicæ: Joh. Christ. Hilliger, [1721].
 - Thümmig, Ludwig Philipp: Ludwig Philipp Thümmigs, A. O. P. und Mitglieds der Königlich=Preußischen Societæt der Wissenschaften, Versuch Einer Gründlichen Erläuterung Der Merckwürdigsten Begebenheiten In der Natur, Wodurch man Zur innersten Erkenntnis derselben geführt wird. [4 Stücke.] Halle im Magdeburgischen, 1723. (Nachdr. Hildesheim [u. a.]: Olms, 1999 [= Christian Wolff, Gesammelte Werke, Abt. 3 (Materialien und Dokumente), Bd. 54].) Das 2. Stück enthält auf S. 110–173 eine deutsche Übersetzung von Thümmig, 1721.
 - Tiedemann, Friedrich: Physiologie des Menschen. Bd. 1. Darmstadt: Carl Wilhelm Leske, 1830.

- Tournefort, Joseph Pitton de: Observations sur les maladies des Plantes. In: Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M.DCCV. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année, Tirez des Registres de cette Academie. A Amsterdam, Chez Gerard Kuyper, Marchand Libraire à côté de la Maison de Ville. M.DCCVII. Mémoires, S. 437–454.
- Trécul, Auguste: De la présence du latex dans les vaisseaux spiraux réticulés, rayés et ponctués, et de la circulation dans les plantes. In: Annales des sciences naturelles comprenant la zoologie, la botanique l'anatomie et la physiologie comparée des deux règnes et l'histoire des corps organisés fossiles [...], Quatrième Série. Botanique. Tome VII. Paris 1857. S. 289–301.
- Treviranus, Gottfried Reinhold: Biologie, oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte. 6 Bde. Göttingen: Johann Friedrich Röwer, 1802–1822. Bd. 4, 1814.
- Treviranus, Gottfried Reinhold: Ueber die Gefäße und den Bildungssaft der Pflanzen. In: Treviranus, Gottfried Reinhold; Treviranus, Ludolph Christian: Vermischte Schriften anatomischen und physiologischen Inhalts. Bd. 1. Göttingen: Johann Friedrich Röwer, 1816. S. 145–164.
- Treviranus, Ludolph Christian: Vom inwendigen Bau der Gewächse und von der Saftbewegung in denselben. Eine Schrift welche die Königl. Soc. der Wissenschaft in Göttingen das Accessit zuerkannt [...]. Göttingen: Heinrich Dieterich, 1806.
- Treviranus, Ludolph Christian: Beobachtungen über die Bewegung des körnigen Wesens in einigen Conferven und einer Chara. In: Beiträge zur Naturkunde. In Verbindung mit meinen Freunden verfasst und herausgegeben von Dr. und Prof. Friedr. Weber. 2. Band. Kiel: August Schmidt, 1810. S. 126–141.
- Treviranus, Ludolph Christian: Beiträge zur Pflanzenphysiologie. Göttingen: Heinrich Dieterich, 1811.
- Treviranus, Ludolph Christian: Über den eigenen Saft der Gewächse, seine Behälter, seine Bewegungen und seine Bestimmung. In: Zeitschrift für Physiologie 1, Heft 2 (1825), S. 147–180.
- Treviranus, Ludolph Christian: Physiologie der Gewächse. 2 Bde. Bonn: Adolph Marcus, 1835–1838.
- Unger, Franz: Aphorismen zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Wien: F. Beck's Universitäts-Buchhandlung, 1838.
- Unger, Franz: Grundzüge der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Wien: Carl Gerold, 1846.
- Unger, Franz: Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Pest, Wien, Leipzig: C. A. Hartleben, 1855.

- Vaillant: Caracteres de quatorze genres de Plantes; Le dénombrement de leurs Especies; les descriptions de quelques-unes, & les Figures de plusieurs. In: Histoire de l'Academie royale des sciences. Année M. DCCXIX. Avec les Memoires de Mathematique & de Physique, pour la même Année. Tirez des Regîtres de cette Academie. A Amsterdam, Chez Pierre de Coup, Marchand Libraire dans le Kalverstraat. M. DCCXXIII. Mémoires, S. 11–63.
- Verdries, Johann Melchior: Q. F. F. Q. S. de succi nutritii in plantis circuitu, rectore magnificentissimo serenissimo principe ac domino dn. Ludovico Hassiae Landgravio, principe Hersfeldiae, reliqua. Darmstad. Landgraviatus herede, in alma ludoviciana praeside d. Jo. Melchiore Verdries, phil. p. p. extraordin. publice disseret. Johannes Christoph Franck, bremens. s. s. th. cult. A. D. Novembr. MDCCVII. Giessae, typis Henning Mülleri.
- Verdries, Johann Melchior: CONSPECTVS PHILOSOPHIAE NATVRA-
LIS SIVE IN PHYSICAM RECENTIOREM INTRODVCTIO A D. IO.
MELCHIOR VERDRIES MED. ET PHILOS. NATVR. PP. IN VSVM AV-
DITORII SVI ADORNATA. GISSAE APVD IOHANNEM MVLLERVM.
A. MDCCXX.
- Voigt, Friedrich Siegmund: Lehrbuch der Botanik. 2. Aufl. Jena: August Schmid, 1827.
- Volder, Burcherus de: D. Burcheri De Volder, Medicinae & Philosophiae Doctoris, hujusque in Illustri Academia Lugduno-Batava Professoris Ordinarii, Celeberrimi, Disputationes Philosophicae de Rerum Naturalium Principiis, Ut Et De Aëris Gravitate. Lugd[duni] Batav[orum]: Moukee, 1681.
- Walker, John: Experiments on the Motion of the Sap in Trees. In: Transactions of the Royal Society of Edinburgh 1 (1788), Teil II, S. 3–40.
- Willis, Thomas: Diatribae duae medico-philosophicae de fermentatione. London 1662.
- Wolff, Christian: CONSIDERATIO PHYSICO-MATHEMATICA HIEMIS
PROXIME PRÆTERLAPSÆ, Quam [...] PRÆSIDE CHRISTIANO WOL-
FIO, [...] ad diem XIII Junii Anno MDCCIX [...] submittet GEORGIUS
REMUS, Gedanensis. HALÆ MAGDEBVRGICÆ, Typis CHRISTOPH.
ANDREÆ ZEITLERI, Acad. Typog. [1709]. Deutsche Übersetzung in Wolff,
1736, S. 11–107, unter dem Titel „Physicalische und mathematische Be-
trachtung des kalten Winters im Jahr 1709“.
- Wolff, Christian: Entdeckung der Wahren Ursache von der wunderbahren Vermehrung Des Getreydes, Dadurch zugleich der Wachsthum Der Bäume und Pflantzen überhaupt erläutert wird / [...]. HALLE / im Magdeburgischen 1718. Zu finden in der Rengerischen Buchhandlung. (Nachdruck Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog, 1993.)

- Wolff, Christian: Erläuterung der Entdeckung der wahren Ursache von der wunderbahren Vermehrung Des Getreydes, Darinnen auf die kurtze und wohlgemeinte Erinnerungen [sic!], welche darüber heraus kommen / geantwortet wird / Als die andere Probe Der Untersuchungen von dem Wachsthume der Pflantzen [...]. Halle im Magdeburgischen / A. 1719. Zu finden in der Rengerischen Buchhandlung. (Nachdruck Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog, 1993.)
- Wolff, Christian: Vernünfftige Gedancken Von den Würckungen der Natur, Den Liebhabern der Wahrheit Mitgetheilet Von Christian Wolffen, [...]. Halle in Magdeburg. 1723.
- Wolff, Christian: Vernünfftige Gedancken Von den Absichten Der natürlichen Dinge, Den Liebhabern der Wahrheit Mitgetheilet Von Christian Wolffen, [...]. Die andere Auflage. [...] Franckfurt und Leipzig, 1726. Zu finden in der Rengerischen Buchhandl.
- Wolff, Christian: Allerhand Nützliche Versuche / Dadurch Zu genauer Erkänntniß Der Natur und Kunst Der Weg gebähnet wird, Denen Liebhabern der Wahrheit mitgetheilet, Von Christian Wolffen, Hochfürstl. Heß. Hof=Rathe, Mathemat. & Phil. Prof. primar. zu Marburg, Professore honorario zu St. Petersburg, der Königl. Groß=Britannischen, wie auch der Königl. Preuß. Societät der Wissenschaften Mitglieder, Facult. Phil. p. t. Decano. Dritter Theil. Mit Königl. Pohln. und Chur=Sächs. allergn. PRIVILEGIO. Halle im Magdeburgischen 1729. Zu finden in der Rengerischen Buchhandlung.
- Wolff, Christian: Vernünfftige Gedancken Von dem Gebrauche Der Theile In Menschen, Thieren und Pflantzen, Den Liebhabern der Wahrheit Mitgetheilet Von Christian Wolffen, [...]. Franckfurt und Leipzig 1730. In der Rengerischen Buchhandlung.
- Wolff, Christian: Herrn Christian Wolfs, [...] Gesammlete kleine philosophische Schrifften, welche besonders zu der Natur=Lehre und den damit verwandten Wissenschaften nemlich der Meß= und Arzney=Kunst gehören, die aus Dessen bißher heraus gegebenen [sic!] Werken, und andern Büchern, darinnen sie befindlich sind, nunmehr mit Fleiß zusammen getragen, meistens aus dem Lateinischen übersezet auch mit nöthigen und nützlichen Anmerckungen versehen worden sind. HALLE in Magdeburgischen, Zu finden in der Rengerischen Buchhandlung, 1736.
- Woodward, John: Some Thoughts and Experiments Concerning Vegetation. By John Woodward, M. D. of the College of Physicians, & R. S. & Professor of Physick in Gresham-College. In: Philosophical Transactions, Bd. 21 (1699), Nr. 253 (Juni 1699), S. 193–227.
- Zenker, Jonathan Carl: Einige Worte über den Saftumlauf im Schöllkraute, in den Charen und in anderen Pflanzen. In: Isis, 1824, Heft 3, Sp. 332–338.

Sekundärliteratur

- Ackers, D.; Buchen, B.; Hejnowicz, Z.; Sievers, A.: The pattern of acropetal and basipetal cytoplasmic streaming velocities in *Chara* rhizoids and protonemata, and gravity effect on the pattern as measured by laser-Doppler-velocimetry. In: *Planta* 211, Issue 1 (2000), S. 133–143.
- Adelman, Howard B. (Hrsg.): *The Correspondence of Marcello Malpighi*. Edited by Howard B. Adelman. 5 Bde. Ithaca, London: Cornell University Press, 1975.
- Adelman, Howard B.: A Supplement to the Correspondence of Marcello Malpighi. In: *Journal of the History of Medicine* 33 (1978), Nr. 1, S. 53–73.
- Allan, D. G. C.; Schofield, R. E.: *Stephen Hales: Scientist and philanthropist*. London: Scolar Press, 1980.
- *Allgemeine Deutsche Biographie*. 56 Bde. Leipzig: Duncker & Humblot, 1875–1912. [Zitiert als „ADB“.]
- Baader, Klement Alois: *Das gelehrte Baiern*. Bd. 1. 1804.
- Baas, P.: Leeuwenhoek's contributions to wood anatomy and his ideas on sap transport in plants. In: Palm, L. C.; Snelders, H. A. M. (Hrsgg.): *Antoni van Leeuwenhoek 1632–1723. Studies on the life and work of the Delft scientist commemorating the 350th anniversary of his birthday*. Amsterdam: Rodopi, 1982. S. 79–107.
- Baldini, Enrico: *Le originali esperienze di Stephen Hales (1677–1761) sulla traslocazione della linfa nelle piante*. In: *Atti e memorie dell'Accademia Toscana di scienze e lettere la Colombaria*, Bd. 63 (nuova serie, Bd. 49), 1998, S. 91–118.
- Bonizzi, Paolo: *Intorno alle opere scientifiche dell'Abate Bonaventura Corti naturalista del secolo XVIII rettore del Collegio San Carlo in Modena*. Modena: G. T. Vincenzi e Nipoti, 1883.
- Brednow, Walter: *Dietrich Georg Kieser. Sein Leben und Werk*. Wiesbaden: Franz Steiner, 1970. (= *Sudhoffs Archiv*, Beiheft 2.)
- Breidbach, Olaf: *Das Organische in Hegels Denken. Studie zur Naturphilosophie und Biologie um 1800*. Würzburg: Königshausen und Neumann, 1982. (= *Epistemata*, Reihe Philosophie; 10.)
- Breidbach, Olaf: *Jenaer Naturphilosophien um 1800*. In: *Sudhoffs Archiv* 84 (2000), S. 19–49.

- Brian, Éric; Demeulenaere-Douyère, Christiane: Histoire et mémoire de l'Académie des sciences. Guide des recherches. London, Paris, New York: Technique & Documentation, 1996.
- Brignoli de' Brunnhoff, Giovanni: Dell' Abate Bonaventura Corti scandinave notizie biografiche e letterarie con appendici. In: Notizie biografiche e letterarie in continuazione della Biblioteca Modonese del Cavalier Abate Girolamo Tiraboschi. Bd. II. Reggio: Tipografia Torreggiani e Compagno, 1834. (Nachdruck Bologna: Forni Editore, 1972 [Italice Gens; 29].) S. 311–389.
- Brown, Theodore M.: The Mechanical Philosophy and the 'Animal Oeconomy'. New York: Arno Press, 1981.
- Brown, Theodore M.: From Mechanism to Vitalism in Eighteenth-Century English Physiology. In: Journal of the History of Biology 7 (1974), S. 179–216.
- Buess, Heinrich: Die historischen Grundlagen der intravenösen Injektion. Aarau: Sauerländer, 1946.
- Bugler, G.: Un précurseur de la biologie expérimentale: Edme Mariotte. In: Revue d'histoire des sciences et de leurs applications 3 (1950), Nr. 3, S. 242–250.
- Cimino, Guido; Duchesneau, François (Hrsg.): Vitalisms from Haller to the Cell Theory. Proceedings of the Zaragoza Symposium XIXth International Congress of History of Science 22–29 August 1993. Firenze: Leo S. Olschi, 1997. (=Biblioteca di Physis; 5.)
- Clark-Kennedy, A. E.: Stephen Hales, D. D., F. R. S.: an eighteenth century biography. Cambridge 1929.
- Cohen of Birkenhead: Darwin, Erasmus. In: Dictionary of Scientific Biography. Bd. 3. New York: Charles Scribner's Sons, 1971. S. 577–581.
- Costa, Gustavo: Corrispondenza inedita id Lazzaro Spallanzani. In: Rivista critica di storia della filosofia 24 (1969), S. 382–415.
- Cusset, G.: The Conceptual Bases of Plant Morphology. In: Sattler, R. (Hrsg.): Axioms and Principles of Plant Construction. Proceedings of a symposium held at the International Botanical Congress, Sydney, Australia, August 1981. The Hague, Boston, London: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1982. S. 8–86.

- Dupont de Dinechin, Bruno: Duhamel du Monceau. Un savant exemplaire au siècle des lumières. Luxembourg: Connaissance et Mémoires Européennes, 1999.
- Dietzsch, Steffen: Zeit und Natur. In: Gloy, Karen; Burger, Paul (Hrsgg.): Die Naturphilosophie im Deutschen Idealismus. Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog, 1993. (= Spekulation und Erfahrung, Abtlg. II: Untersuchungen, Bd. 33.) S. 175–189.
- Dollo, Corrado: Per l'epistolario malpighiano. In: Archivio Storico per la Sicilia Orientale 79 (1983), fasc. 1–2, S. 177–202.
- Donato, Clorinda: Rewriting Heresy in the Encyclopédie d'Yverdon 1770–1780. In: Cromohs 7 (2002), S. 1–26.
- Duhem, Pierre: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien. Autorisierte Übersetzung von Dr. Friedrich Adler. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1908.
- Duhem, Pierre: Quelques réflexions au sujet de la physique expérimentale. In: Duhem, Pierre: *Prémices philosophiques*. Présentées avec une introduction en anglais par Stanley L. Jaki. Leiden u. a.: E. J. Brill, 1987. S. 147–197. [Ursprünglich erschienen in der *Revue des questions scientifiques* 36 (juillet 1894), S. 179–229.]
- Eckert, Roger: Tierphysiologie. Mit Beiträgen von David Randall. Übersetzt und bearbeitet von Raimund Apfelbach unter Mitarbeit von E. Weiler und R. Kästner. Stuttgart, New York: Thieme, 1986.
- Faller, Adolf: Die Entwicklung der makroskopisch-anatomischen Präparierkunst von Galen bis zur Neuzeit. Basel: S. Karger, 1948. (= *Acta Anatomica*, Supplementum VII.)
- Fiedler, Wilfried: Analogiemodelle bei Aristoteles. Untersuchungen zu den Vergleichen zwischen den einzelnen Wissenschaften und Künsten. Amsterdam: B. R. Günter, 1978. (= *Studien zur antiken Philosophie*; 9.)
- Fikenscher, Georg Wolfgang Augustin: Gelehrtes Fürstentum Baireut. Bd. 9. 1804.
- Forbes, Robert J.: Martinus van Marum, life and work. 6 Bde. 1969–1976.
- Force, James E.: William Whiston. Honest Newtonian. Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 1985.
- Fournier, Marian: The Fabric of Life. Microscopy in the Seventeenth Century. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press, 1996.

- Frigo, Gian Franco: Die Welt der lebenden Natur bei Hegel. In: Breidbach, Olaf; Engelhardt, Dietrich von (Hrsgg.): Hegel und die Lebenswissenschaften. Berlin: Verlag für Wissenschaft und Bildung, 2002. S. 107–120.
- Galluzzi, Paolo: Nuovi Documenti Malpighiani. In: Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze 3 (1978), fasc. 1, S. 95–103.
- Gascoigne, John: Politics, Patronage and Newtonianism: The Cambridge Example. In: The Historical Journal 27/1 (1984), S. 1–24.
- Gautheret, R. J.; Dinechin, Bruno de; Pueyo, G.; Viel, C.: Conférences sur Henri-Louis Duhamel du Monceau 1700–1782. Pithiviers 1984.
- Geus, Armin: Zoologische Disziplinen. In: Jahn, Ilse (Hrsg.): Geschichte der Biologie. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2000. S. 324–355.
- Heller, René: Mariotte et la physiologie végétale. In: Mariotte, savant et philosophe († 1684). Analyse d'une renommée. Paris: Librairie philosophique J. Vrin, 1986.
- Henkelmann, Thomas: Zur Geschichte des pathophysiologischen Denkens. John Brown (1735–1788) und sein System der Medizin. Berlin u. a.: Springer, 1981.
- Höhle, Vittorio: Pflanze und Tier. In: Petry, Michael John (Hrsg.): Hegel und die Naturwissenschaften. Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog, 1987. (= Spekulation und Erfahrung, Abtlg. II: Untersuchungen, Bd. 2.) S. 377–422.
- Holleman-Wiberg. Lehrbuch der anorganischen Chemie, begründet von A. F. Holleman, fortgeführt von Egon Wiberg. 91. – 100., verbesserte und stark erweiterte Auflage von Nils Wiberg. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1985.
- Hoppe, Brigitte: Polarität, Stufung und Metamorphose in der spekulativen Biologie der Romantik. In: Naturwissenschaftliche Rundschau 20 (1967), S. 380–383.
- Hoppe, Brigitte: Naturphilosophische Theorien als Wegbereiter für die experimentelle Erforschung des Stoffwechsels der Organismen zu Beginn der Neuzeit, insbesondere in den Werken von Stephen Hales. In: Actes du XIII^e Congrès International d'Histoire des Sciences, Moscou, 18–24 Août, 1971. Section IX. Moscou: Editions „Naouka“, 1974. S. 59–62.

- Hoppe, Brigitte: Biologie. Wissenschaft von der belebten Materie von der Antike zur Neuzeit. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag, 1976. (= Sudhoffs Archiv; Beiheft 17.)
- Jahn, Ilse: Hanstein, Johannes Emil Robert v. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 7, Berlin: Duncker & Humblot, 1966. S. 640–641.
- Jahn, Ilse: Naturphilosophie und Empirie in der Frühaufklärung (17. Jh.). In: Jahn, Ilse (Hrsg.): Geschichte der Biologie. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 2000. S. 196–230.
- James, Peter J.: Stephen Hales' *Statical Way*. In: History and Philosophy of the Life Sciences 7 (1985), Nr. 1, S. 287–299.
- Jöcher, Christian Gottlieb: Christian Gottlieb Jöchers allgemeines Gelehrten-Lexicon. 4 Bde. Leipzig 1750–1751. (Nachdruck Hildesheim: Georg Olms, 1960–1961.)
- Jöcher, Christian Gottlieb; Adelung, Johann Christoph: Fortsetzung und Ergänzungen zu Christian Gottlieb Jöchers allgemeinem Gelehrten=Lexikon [...]. Angefangen von Johann Christoph Adelung und vom Buchstaben K fortgesetzt von Heinrich Wilhelm Rotermund, [...]. 7 Bde. Leipzig, Delmenhorst, Bremen, 1784–1897. (Nachdruck Hildesheim: Georg Olms, 1960–1961.)
- Knoefel, Peter K.: Felice Fontana. Trento: Società di Studi Trentini di Scienze Storiche, 1984. (= Studi su Felice Fontana; 2.)
- Kobolt, Anton Maria: Anton Maria Kobolts [...] Baierisches Gelehrten=Lexikon, [...]. Landshut, in der Max Hagen'schen Buchhandlung, 1795.
- Kottler, Dorian Brooks: Jean Senebier and the Emergence of Plant Physiology, 1775–1802: From Natural History to Chemical Science. Ph.D. Dissertation, The Johns Hopkins University. Baltimore (Maryland), 1973.
- Kümmel, Werner Friedrich: Analogie in den Wissenschaften. In: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 12 (1989), S. 1–6.
- Künkele, Waltraut: Zur Entwicklungsgeschichte der Pflanzenchemie. Beginn der chemischen Pflanzenanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Forschungen an der Akademie der Wissenschaften in Paris vom Ende des 17. bis Mitte des 19. Jahrhunderts. Marburg/Lahn 1971.
- Lammel, Hans-Uwe: Physiologie und Naturphilosophie in Deutschland um 1800. In: Gloy, Karen; Burger, Paul (Hrsgg.): Die Naturphilosophie im Deutschen Idealismus. Stuttgart-Bad Cannstatt: frommann-holzboog, 1993.

- (= Spekulation und Erfahrung, Abtlg. II: Untersuchungen, Bd. 33.) S. 190–203.
- Lasswitz, Kurd: Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton. 2 Bde. Hamburg, Leipzig: Leopold Voss, 1890.
 - Laudan, Larry: Demystifying Underdetermination. In: Curd, Martin; Cover, Jan A. (Hrsgg.): Philosophy of Science. The Central Issues. New York, London: W. W. Norton & Co., 1998. S. 320–353.
 - Leiber, Theodor: Vom mechanistischen Weltbild zur Selbstorganisation des Lebens. Helmholtz' und Boltzmanns Forschungsprogramme und ihre Bedeutung für Physik, Chemie, Biologie und Philosophie. Freiburg, München: Karl Alber, 2000. (= Alber-Reihe Thesen; 6.)
 - Lenoir, Timothy: Generational Factors in the Origin of *Romantische Naturphilosophie*. In: Journal of the History of Biology 11 (1978), S. 57–100.
 - Levine, Joseph M.: Dr. Woodward's Shield. History, Science, and Satire in Augustan England. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1977.
 - Lopriore, G.: A Bonaventura Corti. Discorso letto per il suo I^o Centenario nell'Aula Magna del Collegio S. Carlo il 23 febbraio 1913. In: Atti della Società dei Naturalisti e Matematici di Modena 46 [=Bd. 15 der vierten Serie], 1913, S. 51–91.
 - Maaß, Christian: Johann Bernhard Wilbrand (1779–1846). Herausragender Vertreter der romantischen Naturlehre in Giessen. 2 Bde. Giessen: Wilhelm Schmitz Verlag, 1994. (= Arbeiten zur Geschichte der Medizin in Giessen; 19/I u. 19/II.)
 - Mabberley, D. J.: Jupiter Botanicus. Robert Brown of the British Museum. Braunschweig: J. Cramer, London: British Museum (Natural History), 1985.
 - Manzini, Paola: Un manoscritto di Lazzaro Spallanzani: „Riflessioni critiche sull'Operetta del Lettor Corti intorno alla Tremella e alla Cara“. In: Bollettino storico reggiano 14, fasc. 53 (1982), S. 49–61.
 - Manzini, Paola: Carteggio tra Bonaventura Corti e Charles Bonnet. In: Contributi 12, Nr. 23–24 (1988), S. 5–71. [Manzini, 1988a.]
 - Manzini, Paola: B. Corti, F. Fontana, L. Spallanzani: due lettere inedite per una polemica. In: Bollettino storico reggiano 21, fasc. 68 (1988), S. 49–60. [Manzini, 1988b.]

- Marzell, Heinrich: Wörterbuch der deutschen Pflanzennamen. 5 Bde. Leipzig [später Stuttgart]: S. Hirzel, Wiesbaden: Steiner, 1943–1979. (Nachdruck Köln: Parkland, 2000.)
- Mazzolini, Renato: Il carteggio tra Charles Bonnet e Felice Fontana. In: *Physis* 14 (1972), S. 69–103.
- Middleton, W. E. Knowles: An Unpublished Letter from Marcello Malpighi. In: *Bulletin of the History of Medicine* 59 (1985), Nr. 1, S. 105–108.
- Mühlpfordt, Günter: Physiologie, Biologie und Agronomie im rationalistischen Wissenschaftssystem Christian Wolffs. In: Völker, Arina; Thaler, Burchard (Hrsgg.): *Die Entwicklung des medizinhistorischen Unterrichts*. Halle (Saale): Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 1982. (= Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, *Wissenschaftliche Beiträge* 1982/6 [E 43].) S. 74–91.
- Neuser, Wolfgang: Organismus als Strukturbegriff in der Hegelschen Naturphilosophie. In: Breidbach, Olaf; Engelhardt, Dietrich von (Hrsgg.): *Hegel und die Lebenswissenschaften*. Berlin: Verlag für Wissenschaft und Bildung, 2002. S. 13–23.
- Oisermann, T. I.: Hegel und der naturwissenschaftliche Empirismus. In: Horstmann, R.-P.; Petry, M. J. (Hrsgg.): *Hegels Philosophie der Natur*. 1986. S. 389–400.
- Pagel, Walter: *William Harvey's Biological Ideas*. Basel, New York: S. Karger, 1967.
- Pas, Peter W. van der: The Discovery of the Brownian Motion. In: *Scientiarum Historia* 13 (1971), S. 27–35.
- Portal, Catherine; Rideau, Marc; Viel, Claude: Quelques aspects de l'œuvre de Duhamel de Monceau dans le domaine des sciences naturelles et des sciences physiques. In: *Comptes rendus du 107^e congrès national des sociétés savantes Brest 1982*. Section des sciences. Fascicule IV. Paris: Comité des travaux historiques et scientifiques, 1983. S. 341–350.
- Poser, Hans: Vom Denken in Analogien. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 12 (1989), S. 145–157
- Premuda, Loris: Corti, Bonaventura. In: *Dictionary of Scientific Biography*. Bd. 3. New York: Charles Scribner's Sons, 1971. S. 425–426.
- Probst, Christian: Johann Bernhard Wilbrand (1779–1846) und die Physiologie der Romantik. In: *Sudhoffs Archiv* 50 (1966), S. 157–178.

- Radkau, Joachim; Schäfer, Ingrid: Holz. Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1987.
- Randles, William G.: The unmaking of the medieval Christian cosmos: 1500–1760. From solid heavens to boundless aether. Aldershot u. a.: Ashgate, 1999.
- Reinbacher, Rudolph W.: Leben, Arbeit und Umwelt des Arztes Johann Daniel Major (1634–1693). Linsengericht: M. Kroeber, 1998.
- Ritterbush, Philip C.: Overtures to Biology. The Speculations of Eighteenth-Century Naturalists. New Haven, London: Yale University Press, 1964.
- Roe, Shirley A.: Matter, Life and Generation. Eighteenth-century embryology and the Haller-Wolff debate. Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 1981.
- Rothschuh, Karl Eduard: Idee und Methode in ihrer Bedeutung für die geschichtliche Entwicklung der Physiologie. In: Sudhoffs Archiv 46 (1962), S. 97–119.
- Le Rougetel, Hazel: The Chelsea Gardener Philip Miller 1691–1771. With a contribution by William T. Stearn on the botanical importance of Miller. Portland (Oregon): Sagapress Inc. u. Timber Press, Inc.; London: Natural History Museum Publications, 1990.
- Rowbottom, Darrell: Underdetermination and its Consequences for Theory Choice: In Defence of Scientific Realism. 2000.
<http://www.btinternet.com/%7Ed.p.rowbottom/underdetermination.htm>
- Sachs, Julius: Geschichte der Botanik vom 16. Jahrhundert bis 1860. München: Oldenbourg, 1875. (Nachdruck New York: Johnson Reprint Corporation, Hildesheim: Georg Olms, 1966.)
- Salomon-Bayet, Claire: L'institution de la science et l'expérience du vivant. Méthode et expérience à l'Académie royale des sciences 1666–1793. Paris: Flammarion, 1978.
- Schofield, Robert E.: Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason. Princeton (New Jersey): Princeton University Press, 1970.
- Scholz, Hildemar: Wenig Bekanntes aus der Berliner Botanik-Geschichte. In: Schnarrenberger, Claus; Scholz, Hildemar (Hrsgg.): Geschichte der Botanik in Berlin. Berlin: Colloquium Verlag, 1990. S. 365–376.

- Schubert, Charlotte: Organisches Leben als Kreisbewegung: Zur Bedeutung der Kreismetaphorik in der Naturphilosophie F. W. J. Schellings. In: Sudhoffs Archiv 72 (1988), S. 154–159.
- Scott, Harold W.: Walker, John. Dictionary of Scientific Biography. Bd. 14. New York: Charles Scribner's Sons, 1976. S. 131–133.
- Staves, Mark P.: Cytoplasmic streaming and gravity sensing in *Chara* internodal cells. In: Planta 203 (1997), S. S79–S84.
- Stearn, William T.: The Botanical Importance of Philip Miller's Publications. In: Le Rougetel, Hazel: The Chelsea Gardener Philip Miller 1691–1771. Portland (Oregon): Sagapress Inc. u. Timber Press, Inc.; London: Natural History Museum Publications, 1990. S. 169–190.
- Steinke, Hubert: „Die Ehre des Rechthabens“: Experiment und Theorie im Streit um die Lehre von der Irritabilität. In: Sudhoffs Archiv 82 (1998), S. 141–169.
- Strasburger. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 32. Aufl. Stuttgart, New York: Fischer, 1983.
- Strieder, Friedrich Wilhelm: Grundlage zu einer hessischen Gelehrten- und Schriftsteller-Geschichte. Bd. 16. 1812.
- Surgot, E.: Supplément aux œuvres complètes de Mariotte. Thèse de 3^e cycle. Paris, ca. 1967 (maschinenschriftlich).
- Thomas, Hamshaw H.: The Rise of Natural Science in Cambridge. In: Cambridge Review, 1937, S. 434–436.
- Thomas, Hamshaw H.: Richard Bradley, an Early Eighteenth Century Botanist. In: Bulletin of the British Society for the History of Science 1 (1952), S. 176–178.
- De Toni, G. B.: Dalle „Osservazioni microscopiche“ di Bonaventura Corti. In: Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti 72 (Serie ottava, Bd. 15) (1912–1913), 2. Teil, S. 409–421.
- Tränkle, Hans-Peter: „Der rühmlich bekannte philosophische Arzt und politische Schriftsteller Hofrath Christoph Girtanner“. Untersuchungen zu seinem Leben und Werk. Med. Diss. Tübingen 1986.
- Viel, Claude: Duhamel du Monceau, naturaliste, physicien et chimiste. In: Revue d'histoire des sciences 38 (1985), S. 55–71.

- Walters, S. M.: *The Shaping of Cambridge Botany. A short history of whole-plant botany in Cambridge from the time of Ray into the present century.* Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 1981.
- Whittaker, Edmund T.: *A History of Aether & Electricity.* 2 Bde. London, New York: T. Nelson, 1951–1953. (Nachdruck New York: Dover Publications, 1989.)
- Wöhrle, Georg: *Theophrasts Methode in seinen botanischen Schriften.* Amsterdam: B. R. Grüner, 1985. (= Studien zur antiken Philosophie; 13.)