Der Kleesäureprozess bei Rudolf Steiner und die Biologie der Pflanzensäuren

Klaus Frisch

Ausgangsfrage: Was meinte Rudolf Steiner mit «Kleesäure»?

Als Beispiel für ein typisches pflanzliches Heilmittel wählten Rudolf Steiner und Ita Wegman in ihrer Schrift «Grundlegendes für eine Erweiterung der Heilkunst» (1925) die Kleesäure – eine ältere, heute nicht mehr gebräuchliche Bezeichnung für die Oxalsäure. Bei anderer Gelegenheit verwendete Steiner (1923a, 1924a) auch diese letztere Bezeichnung. Es scheint also selbstverständlich dieser pflanzliche Inhaltsstoff gemeint zu sein. Und doch sind Zweifel angebracht, ob damit die Tragweite der mit diesen Hinweisen intendierten Anregung richtig erfasst ist.

Die Gewinnung der Kleesäure für die auch in «Grundlegendes…» angegebenen Indikationen beschrieb Steiner genauer in einem Arbeitervortrag (Steiner 1923b): «Sie müssen den gewöhnlichen Sauerklee oder den Klee überhaupt, der auf den Äckern ist, zerpressen, diese Säure herausnehmen und ihm [dem Menschen; Red.] eingeben.» Ebenso wurden in dem am selben Tag gehaltenen Mitgliedervortrag im Zusammenhang mit der Oxalsäure neben dem Sauerklee ausdrücklich die «Kleearten überhaupt» genannt (Steiner 1923a). Diese seien besonders reich an Oxalsäure, während sie in anderen Pflanzen in geringeren Mengen, ja zuweilen nur «in homöopathischer Dosis» vorkomme. Tatsächlich gehören jedoch die auf den Äckern anzutreffenden Kleearten – anders als der Sauerklee – nicht zu den oxalsäurereichen Pflanzen. Da die Verbreitung der Oxalsäure im Pflanzenreich damals schon ausgiebig erforscht war (*Wetzel* 1927, *Bennet-Clark* 1933) und Steiner offenbar über gute Kenntnisse der pflanzlichen Inhaltsstoffe verfügte (Pedersen & al. 1994), hätte ihm das wohl bekannt sein können.

Um die Verwendung der Oxalsäure oder Kleesäure zu begründen, führte Steiner wiederholt aus, dass der Mensch diese Säure in Ameisensäure umwandle und in dieser Tätigkeit eine notwendige Grundlage für sein Inkarniertsein habe (*Steiner* 1923a, b, 1924a). Das sei dem mittelalterlichen Alchemisten innerlich erfahrbar gewesen; heute müsse es durch die physiologische Forschung wieder gefunden werden. Die seitherigen Fortschritte der Physiologie erbrachten allerdings anstelle der von Steiner prophezeiten Bestätigung zunächst einen klaren Gegenbeweis: Der menschliche Organismus erwies sich als unfähig, Oxalsäure in Ameisensäure zu verwandeln. Stattdessen fand man jedoch andere, chemisch sehr ähnliche

Umsetzungen, denen im Menschen und in der außermenschlichen Natur genau die Bedeutung zukommt, die Steiner der Umwandlung von Oxalsäure in Ameisensäure zuschrieb: die Decarboxylierungen des Zitronensäurezyklus und der Glykolyse (*Frisch* 1992, 1998). Insofern es sich darum handeln soll, dem Menschen pflanzliche Säuren zuzuführen, die er in der von Steiner beschriebenen Weise verwandeln kann, müsste man also geeignete Vorstufen dieser physiologischen Prozesse wählen. Dazu gehören die beiden häufigsten Pflanzensäuren: Äpfelsäure und Zitronensäure, nicht aber die Oxalsäure.

Im Hinblick auf die pflanzlichen Inhaltsstoffe und ihre physiologischen Umsetzungen war Steiner auf die Kenntnisse der zeitgenössischen Naturwissenschaft angewiesen, und überwiegend bezog er sie offenbar aus zwei pharmazeutischen Handbüchern (*Pedersen* & *al.* 1994). Dem Missverständnis, man könne die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Empirie auch durch geistige Forschung ersetzen, widersprach er sehr deutlich (*Frisch* 1995). Diese Seite seiner Ausführungen unterliegt also der üblichen Korrektur durch die weitere äußerlich-empirische Forschung. Und um solche Ausführungen überhaupt beurteilen zu können, muss der damalige Kenntnisstand der betreffenden Fachwissenschaft berücksichtigt werden. Damit ist unsere Fragestellung umrissen.

Die Kenntnis der Pflanzensäuren in den 20er Jahren

Dank der leichten Nachweisbarkeit der Oxalsäure war die Verbreitung dieser Pflanzensäure in den 20er Jahren bereits gründlich erforscht (*Wetzel* 1927, *Bennet-Clark* 1933). Es war klar, dass sie bei manchen Pflanzen – neben dem Sauerklee z.B. beim Sauerampfer und bei Begonien – die vorherrschende Säure ist, aber bei der großen Mehrzahl der Pflanzenarten hinter anderen Säuren zurücktritt und dort nur in geringen Mengen vorhanden ist. Es zeichnete sich auch ab, dass es wohl nicht viele Pflanzen geben dürfte, bei denen diese Säure völlig fehlt. Sehr viel weniger war dagegen über die anderen Säuren bekannt, deren sicherer Nachweis mit den damaligen Mitteln weitaus schwieriger und aufwendiger war. Zwar gab es Berichte über das Vorkommen der Äpfelsäure bei über 200 Pflanzenarten, aber nur bei 15 Arten war der Nachweis so spezifisch durchgeführt worden, dass eine Verwechslung mit anderen Säuren ausgeschlossen werden konnte (*Franzen* & *Keyssner* 1923). Ähnlich verhielt es z.B. sich mit der Zitronensäure (*Franzen* & *Helwert* 1923). So war es überwiegend noch unklar, welche Säuren im Saft der Pflanzen wirklich vorhanden sind, und in welchen Mengenverhältnissen. Lediglich für die Oxalsäure war eine weite Verbreitung gesichert.

Noch weniger wusste man über die Prozesse, an denen diese Säuren beteiligt sind, über ihr Entstehen und Vergehen und ihre Funktionen im Organismus. Bei manchen Pflanzen hatte man Veränderungen des Säure-

gehalts im Tages- oder Jahreslauf oder im Verlauf der Organentwicklung beobachtet, deren Bedeutung aber völlig rätselhaft blieb. Auf welche Weise die Säuren gebildet und abgebaut werden und welche Rolle ihnen im pflanzlichen Organismus zukommt, war de facto nicht bekannt, aber Gegenstand vieler Spekulationen. Hinsichtlich der Oxalsäure herrschte die Auffassung vor, dass sie dissimilatorisch, also durch oxidativen Abbau entstehe – eine Annahme, die sich vor allem auf den gegenüber anderen organischen Säuren sehr niedrigen Brennwert der Oxalsäure stützte (*Wetzel* 1927, *Grütz* 1956). Daneben gab es auch die auf Justus von Liebig zurückgehende Ansicht, die Oxalsäure sei ein Zwischenprodukt der CO_2-Assimilation, also der Photosynthese.

Mit diesem Stand der zeitgenössischen Wissenschaft stehen Steiners Darstellungen durchaus im Einklang. Wenn auch völlig unbewiesen, war es doch die allgemeine Überzeugung der Fachleute, dass die anscheinend in allen – oder doch sicherlich in fast allen – Pflanzen vorhandene Oxalsäure eine zentrale Funktion im pflanzlichen Organismus haben müsse. Liebig hatte sie wegen dieser Ubiquität schon 1843 mit der Photosynthese als der zentralen Stoffwechselleistung der Pflanze in Zusammenhang gebracht. Ganz derselbe Gedanke, aber anthroposophisch erweitert, findet sich bei Steiner, wo er vorsichtig umschreibend die Oxalsäure mit dem Ätherleib zusammenbringt. Und die von ihm beschriebene Metamorphose zur Ameisensäure – anknüpfend an einen anschaulichen Versuch in der Retorte – ist zunächst eigentlich nur eine etwas vereinfachte Illustration der auch von den meisten Pflanzenphysiologen angenommenen Rolle der Oxalsäure bei der Atmung, die dann allerdings wieder anthroposophisch erweitert wird. Vor den Ärzten schloss er seine diesbezüglichen Ausführungen mit der Bemerkung, dass er damit eigentlich nur auf die Notwendigkeit hinweisen wolle, diese biochemischen Vorgänge «in allen Einzelheiten» zu untersuchen (*Steiner* 1924a). Das ist inzwischen sehr weitgehend geschehen. Was sich daraus für das Verständnis des Ameisensäureprozesses ergeben hat, wurde andernorts behandelt (*Frisch* 1998). Hier gehen wir nun auf die Biologie der Pflanzensäuren ein, um auch den Kleesäureprozess aus neuerer Sicht beleuchten zu können.

Was bedeutet die Säurebildung der Pflanzen?

Pflanzliche Presssäfte sind – anders als die Säfte beseelter Organismen – generell sauer (*Thomas* 1951, *Smith* & *Raven* 1979). Akkumulation von Säure ist also ein Charakteristikum des pflanzlichen Stoffwechsels. Davon zu unterscheiden ist das Auftreten kurzlebiger Säuren als Intermediate des Primärstoffwechsels bei Pflanze, Tier und Mensch. Wie erst in den 60er Jahren deutlich wurde, hat der größte Teil der in den Pflanzen enthaltenen Säure

nichts mit dem Primärstoffwechsel zu tun (*Osmond* 1976). Die Hauptmasse der Säure entsteht unabhängig vom Primärstoffwechsel und wird in den Zellvakuolen abgelagert. Obwohl es sich dabei überwiegend um dieselben Säuren handelt, die auch im mitochondrialen Zitronensäurezyklus auftreten (Äpfelsäure, Zitronensäure, seltener auch Bernsteinsäure und Fumarsäure), bilden sie einen eigenen, von diesem Prozess abgesonderten «Pool».

Was hat es mit dieser Säure-Akkumulation auf sich? In den meisten Fällen steht sie in engem Zusammenhang mit dem Mineralstoffwechsel (*Osmond* 1976). Die Aufnahme von Mineralstoffen aus dem Erdreich und insbesondere die Assimilation des aufgenommenen Nitrats resultiert in einem Basen- bzw. Kationen-Überschuss, den die Pflanze durch die Bildung von Säuren kompensiert. Um welche Säuren es sich hierbei handelt, ist artspezifisch verschieden; am häufigsten sind Äpfel-, Zitronen- und Oxalsäure. So liegen in den Blättern gewöhnlich 80-90 % der Säure als Alkali- und Erdalkalisalze vor, und nur der geringe Überschuss bedingt den leicht sauren Charakter des Safts. Die gelösten Salze sind der wichtigste Faktor für den osmotischen Druck, die treibende Kraft des Pflanzenwachstums (*Willenbrink* 1987).

Eine Anreicherung von Säure ohne zugehörigen Basenanteil ist ein spezielles Charakteristikum fleischiger Früchte (*Wolf* 1960, *Ulrich* 1970). Deshalb schmecken solche Früchte gewöhnlich stärker sauer als die zugehörigen Blätter. Dabei muss der absolute Säuregehalt übrigens nicht höher sein als im Blatt, er kann sogar erheblich geringer sein. Ausschlaggebend für den sauren Geschmack ist der relative Mangel an mineralischen Basen; in unreifen Früchten wird er vielfach noch durch einen hohen Gerbstoffgehalt unterstützt. Bei der Reifung geht der Säuregehalt gewöhnlich wieder zurück, und der Geschmack wird durch Anreicherung von Zucker abgemildert. Eine Ausnahme ist die Zitrone, die immer noch weiter Säure akkumuliert und deshalb so extrem sauer wird. Die vorherrschenden Säuren sind auch in den Früchten meistens Zitronen- und Äpfelsäure, während die Oxalsäure hier stark zurücktritt.

Nun kann der Fruchtcharakter allerdings auch auf andere Teile der Pflanze übergreifen. In besonderem Maße ist das bei Kakteen und anderen Sukkulenten der Fall, die auch in ihren vegetativen Teilen fruchtartig fleischig werden und dort auch einen Säurestoffwechsel entwickeln, der an den der Früchte erinnert (*Frisch* 1996). Wie die Frucht im Verlauf ihrer Entwicklung zunächst Säure akkumuliert und diese dann teilweise durch Zucker ersetzt, tun das die Sukkulenten auch im Blatt oder sogar im Stamm, allerdings im kürzeren zeitlichen Rhythmus des Tageslaufes: Im Verlauf der Nacht werden sie sauer wie unreife Früchte, und im Tageslicht verwandeln sie die akkumulierte Säure photosynthetisch in Zucker oder Stärke. In al-

ler Regel handelt es sich hierbei um Äpfelsäure, vereinzelt kann aber auch Zitronensäure beteiligt sein.

Und schließlich gibt es noch solche Pflanzen, die in ihren vegetativen Teilen dauerhaft einen starken Überschuss an Säure aufweisen. Hierzu gehören neben dem Sauerklee der Sauerampfer und der mit ihm verwandte Säuerling sowie die Begonien. Mit Ausnahme der Stengel und Blattstiele der Begonien sind diese Pflanzen zwar nicht sukkulent, zeigen aber eine wässrige Saftigkeit wie die Sukkulenten. Wie es scheint, ist hier von der Fruchtartigkeit einseitig nur der Aspekt des sauren Saftes in den vegetativen Bereich verschoben. Und merkwürdigerweise ist die vorherrschende Säure hier gerade die giftige Oxalsäure, die in der Frucht typischerweise fehlt.

Die Sonderstellung der Oxalsäure und des Sauerklees

Die Oxalsäure ist, wie erwähnt, weitgehend auf die vegetativen Teile der Pflanzen beschränkt und tritt auch dort gewöhnlich hinter Äpfel- und Zitronensäure zurück. In mancherlei Hinsicht nimmt sie unter den Pflanzensäuren eine Sonderstellung ein (*Thomas* 1951, *Crombie* 1960, *Lew* 1974). So hat sie mit Abstand den geringsten Energiegehalt und die höchste Azidität, neigt also unter den organischen Säuren am stärksten zum Anorganischen hin. Bemerkenswert ist auch ihre hohe Neigung zur Kristallisation, insbesondere in Form des Calciumsalzes. Während die anderen Säuren durchweg im Saft gelöst bleiben, ist die Oxalsäure bei den meisten Pflanzen fast vollständig in Ca-Oxalat-Kristallen festgelegt. Und selbst in gelöster Form ist sie dem aktiven Stoffwechsel gewöhnlich stärker entzogen als die anderen Säuren.

Unter den Pflanzen, deren dominierende Säure die Oxalsäure ist, lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Die eine, zu der der Sauerklee gehört, wurde schon erwähnt. Die andere umfasst hauptsächlich die Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae), die mit diesen nah verwandten Fuchsschwanzgewächse (Amaranthaceae) sowie viele Nelkengewächse (Caryophyllaceae) (*Bennet-Clark* 1933, *Lew* 1974, *Kinzel* 1982). Diese Pflanzen zeichnen sich durch eine starke Offenheit für das Mineralisch-Salzige aus. Es finden sich unter ihnen ausgesprochene Salzpflanzen (z.B. Queller und Strandsode), und generell bevorzugen sie mineralstoffreiche Standorte und nehmen reichlich gelöste Mineralien auf. Ihr Saft ist daher reich an anorganischen Salzen. Daneben enthält er auch mehr oder weniger große Mengen Oxalat, während andere organische Säuren nahezu fehlen. Charakteristisch ist außerdem ein hoher pH-Wert, der nur knapp unter 7 liegt. Die Oxalsäuresynthese dieser Pflanzen richtet sich offenbar ganz nach der Art und Menge der aufgenommenen Mineralien und geht nicht über das zur Neutralisierung des Kationenüberschusses erforderliche Maß hinaus.

Zu diesem «Gänsefuß-Typ» der Oxalatpflanzen verhält sich der «Sauerklee-Typ» in mancher Hinsicht polar. Während im Saft des Gänsefuß-Typs das Mineralische dominiert und weitgehend die vorgefundenen Bodenverhältnisse widerspiegelt (wenn man das unlösliche Ca-Oxalat mit berücksichtigt), bildet der Sauerklee-Typ einen großen Überschuss an organischer Säure, wie er sonst nur in der vom Irdischen emanzipierten Frucht auftritt. Das Besondere des Sauerklee-Typs wird noch deutlicher, wenn wir auch die Art des Auftretens der Oxalsäure im übrigen Pflanzenreich mit in Betracht ziehen. In geringer Menge ist sie ja, wie erwähnt, bei fast allen Pflanzen vorhanden. In der Regel handelt es sich dabei jedoch ausschließlich um kristallines Ca-Oxalat. Lösliche Oxalate findet man nur in wenigen Pflanzenfamilien, und freie Oxalsäure ist ausgesprochen selten (*Crombie* 1960, *Lew* 1974). Angesichts des schon fast mineralischen Charakters dieser Säure selbst und ihrer weitgehenden Beschränkung auf die vegetativen Pflanzenteile können wir wohl im Gänsefuß-Typ eine Steigerung dessen sehen, was auch bei anderen Pflanzen mit der Oxalsäure verbunden ist. Der Sauerklee-Typ dagegen löst die Oxalsäurebildung von ihrem «normalen» Zusammenhang mit dem Mineralischen ab und betreibt sie für sich. Erst dadurch wird diese Säure, die sonst als ubiquitärer Pflanzeninhaltsstoff ganz harmlos ist, zum Gift – und damit in besonderem Maße zum potentiellen Heilmittel.

Äpfelsäure und Zitronensäure

Die vorherrschende Säure in den Blättern der meisten Pflanzen ist die Äpfelsäure (*Kinzel* 1963). Begleitet wird sie wohl generell von der Zitronensäure, die dadurch im Blattbereich die zweithäufigste Säure ist, aber nur selten gegenüber der Äpfelsäure überwiegt (z.B. bei Krähenbeere und Siebenstern). Anders sind hingegen die Verhältnisse bei den Früchten (*Wolf* 1960, *Ulrich* 1970): Zwar gibt es viele fleischige Früchte, in deren Saft die Äpfelsäure dominiert – neben dem Apfel die meisten Birnensorten, die Steinobstarten (Aprikose, Pflaume, Kirsche und die meisten Pfirsichsorten), die Vogelbeere, die Preiselbeere und die Banane. Mindestens ebenso verbreitet ist hier aber das Vorherrschen der Zitronensäure, wie es außer den Zitrusfrüchten auch die Tomate, die Johannisbeeren, Himbeere und Erdbeere, Heidelbeere, Holunder, Feige, Guave, Ananas und Granatapfel zeigen. Viele andere Früchte enthalten beide Säuren in wechselnden Anteilen, ohne dass eine von ihnen klar überwiegt.

Ein besonders hoher Anteil der Zitronensäure bei meist niedrigem Gesamtsäuregehalt ist für Samen charakteristisch (*Carles* 1960, *Fowden* & *Moses* 1960). Dabei korreliert der Zitronensäuregehalt offenbar mit der Keimfähigkeit der Samen (*Täufel* & *Pohloudek-Fabini* 1955, *Fowden* & *Moses* 1960). Bei der Keimung geht die Zitronensäure wieder zurück,

was besonders bei fettreichen Samen sehr auffällig ist. Nur beim Getreide, dessen Körner relativ wenig Zitronensäure enthalten, erreicht diese Säure erst im Keimling ihr Maximum, um dann aber auch wieder zurückzutreten.

So tritt die Zitronensäure besonders in Frucht und Samen hervor, während die Äpfelsäure in der vegetativen Pflanze vorherrscht. Die Äpfelsäure lässt sich noch weiter dadurch charakterisieren, dass zumeist sie es ist, mit deren Bildung die Pflanzen flexibel auf den Kationenüberschuss aus dem Mineralstoffwechsel reagieren (*Osmond* 1976), und dass auch die tagesrhythmischen Säureschwankungen vieler Pflanzen, wie schon erwähnt, ganz überwiegend diese Säure betreffen. Äpfelsäure entsteht in den Pflanzen hauptsächlich durch Carboxylierung, also durch nicht-photosynthetische Fixierung von CO_2 an die Akzeptorsubstanz Phosphoenolpyruvat, ein Intermediat der Glykolyse (*Basra* & *Malik* 1985). Andere Säuren, wie die Zitronensäure, können dann sekundär aus ihr gebildet werden. Insofern steht die Äpfelsäure dem Mineralischen, zu dem ja in gewisser Weise auch das CO_2 gehört, besonders nah.

Wie unterscheidet sie sich aber in dieser Hinsicht von der Oxalsäure? Darüber können vergleichende Saftanalysen einigen Aufschluss geben (*Kinzel* 1963). Während Oxalatpflanzen das Calcium ausfällen, vielfach auch kalkreiche Standorte meiden und sich durch hohe Gehalte der Alkalielemente Kalium und Natrium auszeichnen, sind besonders hohe Äpfelsäuregehalte in vegetativen Pflanzenteilen oft mit hohen Konzentrationen gelösten Calciums verbunden, wobei der Äpfelsäurepegel gewöhnlich sogar dem des Calciums proportional ist. Andererseits sind typische Oxalatpflanzen auffällig arm an Äpfelsäure, die bei ihnen sogar hinter die Zitronensäure zurücktritt. Offenbar tritt die Oxalsäure an die Stelle der Äpfelsäure, wenn eine starke «Sympathie» für die Alkalielemente mit einer starken «Antipathie» gegenüber dem Calcium gepaart ist. Dagegen kennzeichnet die Äpfelsäure eine allgemeinere Beziehung zum Mineralischen überhaupt und in besonderem Maße vielleicht zum Kalk (Ca und CO_2).

Ausblick

Damit sind die drei wichtigsten Pflanzensäuren in einer noch vorläufigen Weise durch die jeweiligen biologischen Zusammenhänge charakterisiert. Es ist zu vermuten, dass eine gründlicheres Erarbeiten der Fachliteratur als es im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts möglich war, zu einem reicheren und differenzierteren Bild führen würde. Hier sollte zunächst vor allem gezeigt werden, dass ein solches Vorgehen möglich ist und zu Ergebnissen führen kann.

Eine Aufarbeitung der bereits in der naturwissenschaftlichen Fachliteratur dokumentierten Kenntnisse über das «Säftespiel» im menschlichen

Organismus bezeichnete Rudolf Steiner in eindrücklicher Weise als eine der Voraussetzungen für die Begründung einer anthroposophischen Medizin (*Steiner* 1923c). Als eine konkrete Anregung hierzu – mit der Erweiterung auch auf das Säftespiel in den Pflanzen – waren seine Ausführungen zur Oxalsäure gemeint (*Steiner* 1924a). Wenn diese und ähnliche Anregungen zu einer naturwissenschaftlichen «Grundlagenforschung» von entsprechend vorgebildeten Spezialisten aufgegriffen werden, «dann werden wir» – so Steiner – «eine anthroposophische Medizin begründen» (*Steiner* 1923c). Das ist noch heute erst in Anfängen geleistet.

Aus der hier angedeuteten differentiellen Charakterisierung der Pflanzensäuren dürften sich Anhaltspunkte für ihre pharmazeutische Verwendung ergeben. Ein Teil dessen, was bisher unter Berufung auf Steiner mit der Oxalsäure verbunden wurde, ist richtigerweise wohl auf die Äpfel- oder Zitronensäure zu beziehen. Das in pharmazeutischer Hinsicht weiter auszuarbeiten, überlasse ich den Spezialisten auf diesem Gebiet.

Als Rätsel bleibt bestehen, warum Steiner speziell den Klee als Quelle für die zu verabreichende pflanzliche Säure nannte, und warum er nicht zwischen Sauerklee und anderen Kleearten unterschied. Ähnlich reich an Oxalsäure wie der Sauerklee ist der Sauerampfer, eine alte Heilpflanze. Warum nannte Steiner nicht ihn? Und andererseits: Was ist dem Sauerklee und den gewöhnlichen Kleearten gemeinsam und rechtfertigt, sie in einem Atemzug zu nennen? Mit Ausnahme der sehr ähnlichen Blattform sind das morphologisch, biochemisch und ökologisch doch recht verschiedene Pflanzen. Ein Hinweis, dem weiter nachzugehen sich vielleicht lohnen würde, ist die Charakterisierung des Klees als Futterpflanze im Landwirtschaftlichen Kurs: Im Stofflichen des Klees sei der Fruchtprozess in den Laub- und in den Krautprozess hereingeholt (*Steiner* 1924b). So könnte man auch das formulieren, was wir oben bezüglich der Säurebildung beim Sauerklee feststellten.

Diese Arbeit wurde gefördert durch die Weleda AG, Schwäbisch Gmünd.

Literatur

Basra, A.S., Malik, C.P. (1985): Non-photosynthetic fixation of carbon dioxide and possible biological roles in higher plants. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society **60**: 357-401.

Bennet-Clark, T.A. (1933): The rôle of the organic acids in plant metabolism, Part I. New Phytologist 32: 37-71.

Carles, J. (1960): Le métabolisme des acides organiques dans l'ensemble de la plante. Handbuch der Pflanzenphysiologie XII/2: 663-700.

Crombie, W.M. (1960): Metabolism of "extracyclic" organic acids. Handbuch der Pflanzenphysiologie XII/2: 890-933.

Fowden, L., Moses, V. (1960): The acid metabolism in seed formation and germination. Handbuch der Pflanzenphysiologie XII/2: 701-719.

Franzen, H., Helwert, F. (1923): Über die chemischen Bestandteile grüner Pflanzen. XXIV. Mitteilung: Kritisches über das Vorkommen der Citronensäure in den Pflanzen. Biochemische Zeitschrift **135**: 384-415.

Franzen, H., Keyssner, E. (1923): Über die chemischen Bestandteile grüner Pflanzen. XXIII. Mitteilung: Kritisches über das Vorkommen der Äpfelsäure in den Pflanzen. Biochemische Zeitschrift **135**: 183-216.

Frisch, K. (1992): Oxalsäure und Ameisensäure. Zum Verständnis einer «Lehrplan-Angabe» Rudolf Steiners. Erziehungskunst **56**: 577-599.

Frisch, K. (1995): Zum Verhältnis von anthroposophischer Medizin und biochemischer Forschung. Tycho de Brahe-Jahrbuch für Goetheanismus 1995: 162-192.

Frisch, K. (1996): Zum tagesrhythmischen Säurestoffwechsel der Kakteen und anderer Pflanzen. Ein Beitrag zu einer goetheanistischen Pflanzenphysiologie. Tycho de Brahe-Jahrbuch für Goetheanismus 1996: 77-127.

Frisch, K. (1998): Der Ameisensäure-Prozess im Menschen: die Zellatmung. Merkurstab **51**: 143-148.

Grütz, W. (1956): Beziehungen zwischen Nährstoffversorgung und Oxalsäurebildung in der Pflanze. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 7: 121-135.

Kinzel, H. (1963): Zellsaft-Analysen zum pflanzlichen Calcium- und Säurestoffwechsel und zum Problem der Kalk- und Silikatpflanzen. Protoplasma **57**: 522-555.

Kinzel, H. (1982): Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Stuttgart

Lew, H. (1974): Vergleichende physiologische Untersuchungen an oxalathältigen Pflanzen. Wien.

Osmond, C.B. (1976): Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants. Encyclopedia of Plant Physiology N.S. 2: 347-372.

Pedersen, P.A., Pröbstl, A., Meyer, U. (1994: Angaben zu Pflanzeninhaltsstoffen bei Rudolf Steiner. Eine bibliographische Studie. Merkurstab **47**: 561-580.

Smith, F.A., Raven, J.A. (1979): Intracellular pH and its regulation. Annual Review of Plant Physiology **30**: 289-311.

Steiner, R. (1923a): Mysteriengestaltungen (GA 232), 15. Vortrag. Dornach.

Steiner, R. (1923b): Vortrag vom 22.12.1923, in: Mensch und Welt. Das Wirken des Geistes in der Natur. Über das Wesen der Bienen (GA 351). Dornach.

Steiner, R. (1923c): Der Entstehungsmoment der Naturwissenschaft in der Weltgeschichte und ihre seitherige Entwickelung (GA 326), 9. Vortrag. Dornach.

Steiner, R. (1924a): Meditative Betrachtungen und Anleitungen zur Vertiefung der Heilkunst (GA 316), 1. Vortrag. Dornach.

Steiner, R. (1924b): Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft (GA 327), 8. Vortrag. Dornach.

Steiner, R., Wegman, I. (1925): Grundlegendes für eine Erweiterung der Heilkunst nach geisteswissenschaftlichen Erkenntnissen, Kap. XVII: Substanz-Erkenntnis als Grundlage der Heilmittel-Erkenntnis. Dornach.

Täufel, K., Pohloudek-Fabini, R. (1955: Keimfähigkeit und Gehalt an Zitronensäure bei gelagerten Pflanzensamen. Biochemische Zeitschrift **326**: 317-321.

Thomas, M. (1951): Organische Säuren im Stoffwechsel höherer Pflanzen. Endeavour **10**: 160-165.

Ulrich, R. (1970): Organic acids. In: The Biochemistry of Fruits and their Products, Vol. 1. Hrsg. A.C. Hulme. London. S. 89-118.

Wetzel, K. (1927): Zur Physiologie der organischen Säuren in grünen Pflanzen. IV. Zur Entstehung der Oxalsäure. Planta **4**: 476-525.

Willenbrink, J. (1987): Die pflanzliche Vakuole als Speicher. Naturwissenschaften **74**: 22-29.

Wolf, J. (1960): Der Säurestoffwechsel fleischiger Früchte. Handbuch der Pflanzenphysiologie XII/2: 720-808.

Klaus Frisch
DE-69207 Sandhausen
chronos@onlinehome.de