

Justus von Liebig und die modernen Auffassungen von einer umweltverträglichen Mineralstoffernährung der Pflanze *

In der Sendereihe „Zeitzeichen“ wurde vom Westdeutschen Rundfunk am 12. Mai 1983 eine Betrachtung zum 180. Geburtstag Justus von Liebig ausgestrahlt. In dieser Sendung wurden nicht so sehr die bahnbrechenden Erkenntnisse Liebig's zur Mineralstofftheorie und Notwendigkeit der Mineraldüngung herausgestellt, durch deren Nutzung die Ernährungssicherung der wachsenden Bevölkerung erst möglich wurde, als vielmehr der Eindruck erweckt, daß die Lehren Liebig's heute in der Landwirtschaft ohne Rücksicht auf mögliche ökologische Schäden umgesetzt werden. Der fachlich nicht vorbelastete Hörer konnte aus dieser Sendung eigentlich nur den Schluß ziehen, daß die Mineraldüngung in der Regel mit unerwünschten Nebeneffekten verbunden sei und daher die aktuellen Auswirkungen der Lehren Liebig's weit eher als negativ denn als positiv angesehen werden müßten. Selbst wenn es das primäre Ziel dieser Sendung gewesen sein sollte, ungünstige Folgewirkungen einer unsachgemäßen Mineraldüngung und damit die möglichen Grenzen in der Nutzung der Erkenntnisse Liebig's aufzuzeigen, so konnte sie durch die vorgenommene Pauschalierung und Vereinfachung dem Anspruch des Hörers auf objektive Informationen keinesfalls gerecht werden.

Es könnte noch eine ganze Reihe von typischen Beispielen dieses Informationsstils aufgeführt werden, durch den in der öffentlichen Meinung inzwischen etwa fol-

gendes Bild über den Einsatz der „Kunst-dünger“ oder „Chemie-Dünger“ erzeugt wurde:

Die Landwirtschaft ist dabei, mit Hilfe der Agrarchemie, d. h. auch der Lehren Liebig's über die Mineraldüngung, die Nahrungsmittel und das Wasser zu vergiften und die Bodenfruchtbarkeit zu zerstören. Dieses Bild ist falsch! Es ist ein Zerrbild, das es zu entzerren und zugleich transparenter zu machen gilt.

Heute, und gerade hier an der Wirkungsstätte Liebig's, kommt es mir daher auf eine Gewichtung *aller* von Liebig zur Verbesserung der mineralischen Ernährung der Pflanze erkannten Möglichkeiten und vorgeschlagenen Maßnahmen an. Vor allem geht es dabei auch um die Beantwortung der Frage, ob es überhaupt Widersprüche zwischen den damaligen Erkenntnissen und Lehren Liebig's und den heutigen Vorstellungen über die Mineralstoffernährung der Pflanze im Rahmen einer ökologischen, d. h. umweltfreundlichen Pflanzenproduktion gibt.

Liebig's Vorstellungen zum Ausgleich der Nährstoffbilanz

Es war ein sehr logischer Weg von der Erkenntnis Liebig's: „Die ersten Quellen der Nahrung der Pflanzen liefert ausschließlich die anorganische Natur“ (1; 1) zu seinem die Pflanzenernährung revolutionierenden Postulat: „Wir können die Fruchtbarkeit unserer Felder in einem stets gleichbleibenden Zustand erhalten, wenn wir ihren Verlust jährlich wieder ersetzen, eine Steigerung der Fruchtbarkeit, eine

* Vortrag anlässlich der Mitgliederversammlung der Gesellschaft Liebigmuseum am 3. Mai 1985

Erhöhung ihres Ertrages ist aber nur dann möglich, wenn wir mehr wiedergeben, als wir ihnen nehmen“ (1;163). Liebig ging es also von vornherein nicht nur um die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, sondern er sah in der Verbesserung der Mineralstoffversorgung der Böden zugleich auch die einzige Möglichkeit zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und damit der Ernten.

Zufuhr mineralischer Düngemittel

Liebig sieht in der Zufuhr mineralischer Düngemittel eine wichtige, aber durchaus nicht die einzige Maßnahme zur Aufrechterhaltung der Mineralstoffbilanz, wie es vielfach dargestellt wurde und wird. Denn mit seiner Aussage: „Als Prinzip des Ackerbaus muß angenommen werden, daß der Boden in vollem Maße wieder erhalten muß, was ihm genommen wird“, verbindet er unmittelbar folgende wesentliche Erkenntnis: „In welcher Form dieses Wiedergeben geschieht, ob in Form von Exkrementen oder von Asche oder Knochen, dies ist wohl ziemlich gleichgültig“ (1;167).

Er sah jedoch sehr klar, daß selbst bei weitgehend geschlossenem innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf ein voller Ausgleich der Bilanz nicht möglich ist, da über die für den Markt hergestellten Produkte eine gewisse Nährstoffmenge aus dem Betrieb abfließt. „Auch bei sorgfältiger Verteilung und Sammlung des Düngers ist ein Verlust einer gewissen Menge phosphorsaurer Salze unvermeidlich; denn wir führen jedes Jahr in dem Getreide und dem gemästeten Vieh ein bemerkbares Quantum aus ...“ (1;163). Hieraus ergab sich wiederum für ihn als zwingende Perspektive die Mineraldüngung: „Es wird eine Zeit kommen, wo man den Acker ... mit phosphorsauren Salzen düngen wird, die man in chemischen Fabriken bereitet ...“ (1;167). Die Auffassung Liebigs über die

Bedeutung der Mineraldüngung ist also so zu sehen, daß er sie zum vollen Ausgleich der Mineralstoffbilanz bei einem gegebenen Fruchtbarkeitszustand des Bodens sowie zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit für unabdinglich hält.

„Recycling“ der Exkremente

Die Rückführung der dem Boden entzogenen Nährstoffe über organische Dünger hat für Liebig jedoch absolute Priorität. Dies bezieht sich bei ihm nicht nur auf die Wirtschaftsdünger aus der Tierproduktion, sondern auch auf die menschlichen Exkremente. Was wir heute mit „Recycling“ bezeichnen, war in bezug auf die Nährstoffe für Liebig bereits ein außerordentlich ernstes Anliegen. Er weist warnend darauf hin, „daß ein jedes Land dadurch verarmen muß, wenn die Bevölkerungen die sich in den Städten anhäufenden Produkte der Stoffwechsel nutzlos verloren gehen lassen“ (2;141). In einem Brief an Wöhler vom 29. 11. 1859 schreibt er sehr drastisch: „Die Bedingungen der Fruchtbarkeit aller Länder verschwinden in den Kloaken Londons“. Er macht Vorschläge und entwirft Projekte, wie man z. B. die in größeren Städten über unterirdische Abzugskanäle in die Flüsse abgeleiteten Exkremente des Menschen sammeln (sozusagen in Kläranlagen) und zu einem Dünger verarbeiten könnte. Vor allem geht es ihm hierbei um den in den Exkrementen enthaltenen Stickstoff. Bereits in seinem grundlegenden Werk schreibt er 1840: „Die Exkremente der Menschen lassen sich, wenn durch ein zweckmäßiges Verfahren die Feuchtigkeit entfernt und das freie Ammoniak gebunden wird, in eine Form bringen, welche die Versendung auch auf weite Strecken hin erlaubt“ (1;176).

Dieses Anliegen Liebigs eines konsequenten Recyclings der in den menschlichen

Exkrementen vorhandenen Nährstoffe hat an Aktualität nichts verloren. Inzwischen sind 80% der bundesdeutschen Bevölkerung an Kläranlagen angeschlossen. Jährlich gelangen rund 100 000 t P_2O_5 und 400 000 t N aus menschlichen Exkrementen in Kläranlagen. Nur rund 35% der dort anfallenden 47 Mio. t Klärschlamm werden heute einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt.

Nutzung der Nährstoffe in Ernterückständen

Liebig weist in mehreren Schriften darauf hin, daß die Ernterückstände ganz wesentlich zur Aufrechterhaltung der Nährstoffbilanz beitragen können, vor allem bei Kulturen, bei denen in den eigentlichen Ernteprodukten relativ wenig Nährstoffe enthalten sind. So propagiert er bereits 1840, daß man in Weinbergen nicht nur das Laub der Reben, sondern ganz konsequent auch das Holz (nach Zerkleinerung) in den Boden einarbeiten sollte. Damit würde das entzogene Kali weitgehend dem Boden wieder zugeführt. Er belegt an Beispielen, daß mit dem Wein als eigentlichem Ernteprodukt eine nur sehr geringe Menge an Alkali ausgeführt wird und nimmt an, daß diese geringe Menge jährlich durch Verwitterung dem Boden wieder zufließe (1; 347).

Besondere Bedeutung mißt Liebig den Ernterückständen der Futtergewächse zu, die „vermittels ihrer in die Erde tief eindringenden vielverzweigten Wurzeln die im Untergrund zerstreuten Nährstoffe aufnehmen“ (2, Einl.; 145). Den Anbau von Futtergewächsen empfiehlt Liebig somit auch zur besseren Nutzung von Nährstoffreserven des Bodens.

Ein großer Teil der aus dem Untergrund aufgenommenen Nährstoffe „häuft sich in den Blättern und Stengeln des Klees oder

den Wurzelstöcken der Rüben an, und dieser dient sodann in letzter Form als Mist die Ackerkrume daran reicher zu machen“ (2, Einl.; 145).

Ogleich sich Liebig vor allem in seinen früheren Schriften sehr stark gegen die Nutzung von Nährstoffreserven des Bodens wendet und dies als Raubwirtschaft bezeichnet, so verkennt er doch nicht, daß der fruchtbare Boden durch Verwitterungsprozesse selbst dazu beitragen kann, die Bilanz an aufnehmbaren Nährstoffen zu verbessern, ja unter Umständen sogar ausgleichen. Auf die direkten Möglichkeiten des Landwirts, durch verschiedenartige Anbaumaßnahmen die Mobilisierung von Bodennährstoffen zu verbessern, weist Liebig in seinen Schriften immer wieder hin. Hierauf wird an späterer Stelle noch eingegangen.

Er macht jedoch auch immer wieder klar, daß die Nutzung der Nährstoffreserven des Bodens nur begrenzt sei. Den „Wiederersatz der in den Ernten den Feldern entzogenen Stoffe bis auf den Zeitpunkt hinausverschieben, wo ein Zusatz an assimilierbarem Nährstoff im Boden durch Brachliegen nicht mehr stattfindet“, bedeutet für Liebig eine „leichtfertige Beschönigung der Raubwirtschaft, welche den Nachkommen eine Pflicht zuschiebt, die man selbst aus Mangel an Erkenntnissen nicht zu erfüllen weiß oder aus Bequemlichkeit nicht erfüllen will“. Liebig hält also eine fachlich – zumindest temporär – vertretbare Maßnahme aus ethisch-moralischen Gründen langfristig nicht für richtig (2, Einl.; 148).

Nährstoffdynamik und -verfügbarkeit aus der Sicht Liebigs

Wo liegen nun die Gemeinsamkeiten in der Auffassung Liebigs über die Rolle der Mineraldüngung als Produktionsmittel im landwirtschaftlichen Betrieb und den

heutigen modernen wissenschaftlichen Vorstellungen und Erkenntnissen über die Stellung der Mineraldüngung im Rahmen einer umweltfreundlichen integrierten Pflanzenproduktion? Diese integrierte Betrachtungsweise umfaßt die vielfältigen Steuerungsmöglichkeiten der mineralischen Ernährung der Pflanze über Düngung und standortgerechte Anbau- und Bewirtschaftungsmaßnahmen. Sie erfordert somit die Einbeziehung der neuesten Erkenntnisse über die Nährstoffdynamik im Boden und der diese beeinflussenden Parameter in die Bewirtschaftungsmaßnahmen mit dem Ziel, eine optimale Nutzung der mineralischen Nährstoffe – sei es aus der Düngung oder dem Bodenvorrat – zu erreichen. Lassen Sie mich Ihnen nun einen Überblick über die heutigen Auffassungen zur Nährstoffdynamik im Boden und der sie beeinflussenden Faktoren und Maßnahmen geben und diese an den Vorstellungen Liebig's messen.

Das Ziel aller Maßnahmen ist es, den Nährstoffgehalt und die Nährstoffmobilität im Boden auf ein Niveau zu bringen und es dort zu halten, bei dem die Pflanze sich während der gesamten Vegetationszeit – auch in den Perioden höchster Aufnahmeintensität und dies selbst in witterungskritischen Perioden – optimal mit Nährstoffen versorgen kann. Da die Pflanze sich aus der Bodenlösung ernährt, muß der Nährstoffvorrat des Bodens quantitativ und vor allem auch qualitativ, d. h. durch entsprechende Löslichkeitskriterien, in der Lage sein, die Bodenlösung mit ausreichender Geschwindigkeit laufend mit Nährstoffen aufzufüllen.

Auch Liebig hatte diese Zusammenhänge sehr klar erkannt und faßt sie 1865 wie folgt zusammen: „Ein Boden ist nur dann vollkommen fruchtbar für eine Pflanzenart, wenn jeder Teil seines Querschnittes, der mit der Pflanzenwurzel in Berührung ist, die für den Bedarf der Pflanze erforderliche

Menge Nahrung in einer Form enthält, welche den Wurzeln gestattet, sie in jeder Periode der Entwicklung der Pflanze in der richtigen Zeit und in richtigen Verhältnissen aufzunehmen“ (3; 67). Und daß bei bestimmten Kulturen in bestimmten Zeiten hohe Nährstoffmengen aufgenommen werden, d. h. in mobiler Form im Boden vorliegen und schnell an die Bodenlösung nachgeliefert werden müssen, stellt er am Beispiel der Turnip-Rübe heraus, für die er aus Versuchen je nach Wachstumsperioden eine tägliche Aufnahme zwischen 1,0 und 1,4 kg P_2O_5 /ha errechnet (3; 23).

Liebig's Betrachtungen über die Nährstoffbilanz waren also nicht nur quantitativ, sondern schlossen von Anfang an den qualitativen Aspekt, d. h. die Nährstoffdynamik und -mobilität mit ein. So wußte Liebig sehr genau, daß sich zugeführte Nährstoffe – in welcher Form auch immer – im Boden in bodeneigene Bindungsformen umsetzen und als solche zur Wirkung kommen: „Man überfährt das Feld mit flüssigen oder festen Düngestoffen, welche Nährstoffe enthalten, die sich sogleich, wenn sie sich in Lösung befinden, oder nach und nach, wenn sie eine gewisse Zeit zur Lösung brauchen, mit den Erdteilen, mit denen sie in Berührung sind, verbinden und diese sättigen, und es ist eigentlich diese mit Düngestoffen an der äußersten Oberfläche oder an inneren Stellen gesättigte Erde, mit welcher der Landwirt düngt, d. h. mit welcher er die entzogenen Nährstoffe ersetzt“ (3; 149). Und an anderer Stelle: „Die Ackerkrume zersetzt alle Kali-, Ammoniak- und die löslichen phosphorsauren Salze und es empfängt das Kali, das Ammoniak und die Phosphorsäure in dem Boden immer dieselbe Form, von welchem Salz sie auch stammen mögen ...“ (3; 119).

Liebig hatte auch erkannt, daß die Nährstoffe im Boden aus dem chemisch gebun-

denen Vorrat in eine physikalische Bindungsform übergehen können, und daß vor allem diese in physikalischer Bindung im Boden vorliegenden Nährstoffe über eine hohe Nachlieferungsgeschwindigkeit in die Bodenlösung verfügen. „In diesem Zustand der physikalischen Bindung besitzen die Nahrungsmittel offenbar die für den Pflanzenwuchs allergünstigste Beschaffenheit; denn es ist klar, daß die Wurzeln der Pflanzen an allen Orten, wo sie mit der Erde in Berührung sind, die ihnen nötigen Nahrungsstoffe in diesem Zustand ebenso verteilt und vorbereitet finden, wie wenn diese Stoffe im Wasser gelöst wären, aber für sich nicht beweglich und mit einer so geringen Kraft festgehalten, daß die kleinste lösende Ursache welche hinzukommt, hinreicht, um sie zu lösen und übergangsfähig in die Pflanze zu machen“ (3; 74). Die Brache bringt nach Liebig einen Übergang von chemisch gebundenen Nährstoffen in die mobilere physikalische Bindung: „Nicht die Summe der Nährstoffe wird mit der Brache vermehrt, sondern die Anzahl der ernährungsfähigen Teile derselben“ (3; 77).

Einflußarten auf die Nährstoffdynamik im Boden

Die Nährstoffversorgung der Pflanze wird nach den heutigen Erkenntnissen nicht nur vom Nährstoffangebot über die Düngung, sondern in starkem Maße auch von spezifischen Eigenschaften der Pflanze selbst, von Bodeneigenschaften und von Klimafaktoren beeinflußt. Alle diese Faktoren können direkt oder indirekt auf die vielfältigen Prozesse der Nährstoffdynamik positiv oder negativ einwirken (Darst. 1). Abhandeln möchte ich die positiven Wirkungen der Einflußfaktoren Pflanze und Boden, da hier der Landwirt selbst steuernd eingreifen kann. Zugleich ist zu untersuchen, welche Vorstellungen

Liebig über diese Einflußmöglichkeiten äußerte.

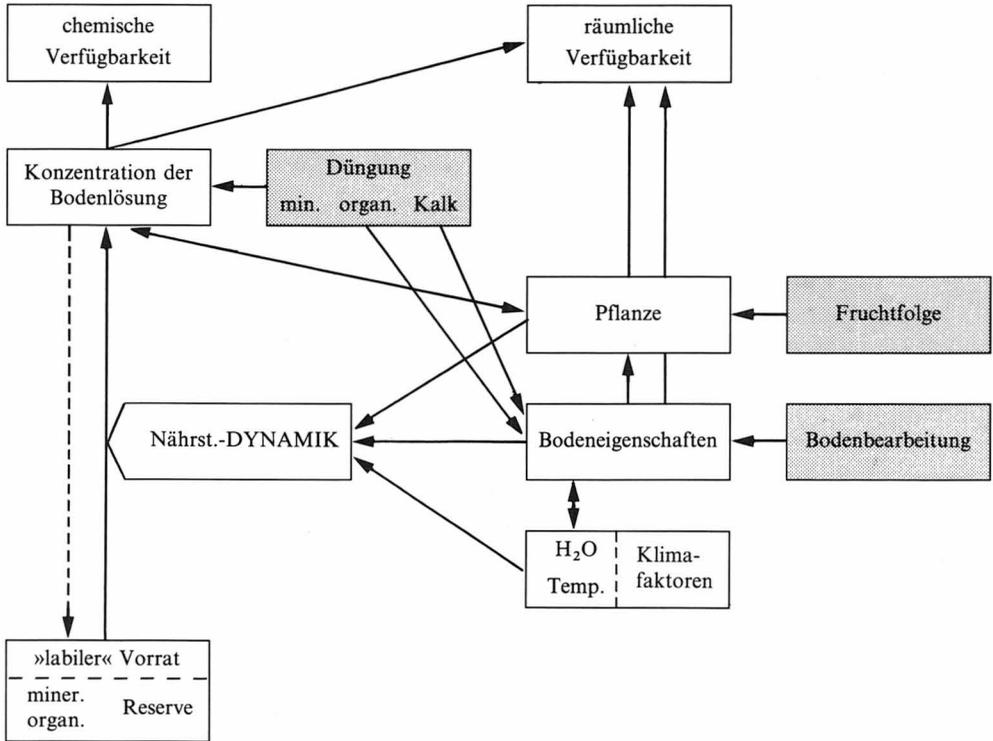
Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanze

Wir wissen heute, daß jede Pflanze aufgrund ihrer Wurzelaktivität ein spezifisches Nährstoffaneignungsvermögen besitzt, das kausal sowohl mit der *Morphologie der Wurzel*, als auch mit den *Wurzelausscheidungen* zusammenhängt. Letztere wirken über eine Mobilisierung von Nährstoffen im Boden, während durch die morphologischen Wurzeleigenschaften (Verteilung, Länge, Zahl der Wurzelhaare) eine Verbesserung der räumlichen Verfügbarkeit der Nährstoffe zustandekommt (Darst. 2).

Sind diese Zusammenhänge nun wirklich neue Erkenntnisse? Die Pflanze senkt durch ihre Nährstoffaufnahme in unmittelbarer Nähe der Wurzel die Konzentration der Bodenlösung stark herab, wodurch ein Konzentrationsgradient entsteht, der die Zudiffusion von Nährstoffen aus benachbarten Bodenzonen oder die Anlieferung von Nährstoffen aus dem labilen Vorrat auslöst. Durch den Aufbau einer Verarmungszone um die Pflanzenwurzel, wie man sie erst in den letzten Jahren durch Einsatz radioaktiv markierter Mineralstoffe bei Phosphat und Kalium nachweisen konnte, greift also die Pflanze sehr direkt in das Nährstoffgleichgewicht und somit die Nachlieferung ein.

Die Existenz dieser *Verarmungszone*, die wir als relativ junge Erkenntnis ansehen, war im Prinzip bereits Liebig bekannt: „An jeder Wurzelfaser haftet ein Zylinder von Erdteilchen wie ein Hof und aus diesen Erdteilchen empfängt die Pflanze die Phosphorsäure, das Kali etc. . . .“ (3; 100). Und schließlich: „Denn jede Wurzelfaser ist umgeben von einem Erdzylinder, dessen innere der Wurzel zugekehrte Wand

Darstellung 1: Bestimmungsfaktoren der Nährstoffdynamik und -verfügbarkeit



Darstellung 2: Wurzelaktivität und Nährstoffverfügbarkeit



von der abwärts dringenden Wurzelspitze oder den abwärts sich ansetzenden Zelloberflächen gleichsam abgenagt worden ist ...“ (3;123).

Liebig wies auch bereits auf die Bedeutung sowohl der Wurzelaußscheidungen

als auch der *Wurzelverteilung* im Boden für die Nährstoffversorgung der Pflanze hin: „... durch die Wurzeln werden kohlenstoffreiche Substanzen abgeschieden und von dem Boden aufgenommen“ (2;43). Und an anderer Stelle: Versuche

über die Wirkungsweise der Wurzel zeigen, „daß Gemüsepflanzen, welche man in neutraler blauer Lackmustinktur vegetieren läßt, diese Flüssigkeit rot färben; die Wurzeln scheiden hiernach eine Säure aus. Beim Kochen wird die gerötete Tinktur wieder blau; diese Säure ist demnach Kohlensäure“ (2; 136). Die Bedeutung einer guten Durchwurzelung des Bodens für die Nährstoffaufnahme hat Liebig klar erkannt. Er wußte: „Die nahrungsaufnehmende Oberfläche der Wurzeln ist nicht mit allen nahrungsenthaltenden Erdteilen, sondern nur mit einem kleinen Volumen der Erdmasse in Berührung ...“ (3; 122) und folgerte daher an anderer Stelle: „Die größere Wurzeloberfläche ist mit mehr Erdteilen in Berührung und kann in derselben Zeit mehr Nahrungsstoffe daraus aufnehmen als die kleinere“ (3; 142). Heute wissen wir z. B., daß an der Ernährung eines Maisbestandes nur etwa 15–20% des Krümen-Bodenvolumens beteiligt sind.

Daß bei der Rübenkultur die obere Bodenschicht reicher an Phosphaten sein muß, begründet er ebenfalls mit der Wurzelverzweigung: „Denn in der ersten Hälfte der Vegetationszeit ist die Wurzelverzweigung weit geringer als später und die Wurzel ist mit einem kleineren Volumen Erde in Berührung als später, und wenn sie daraus ebensoviel Nahrung empfangen soll wie aus dem größeren, so muß das erstere in eben dem Verhältnis mehr davon enthalten als die aufsaugende Wurzeloberfläche kleiner ist“ (3; 25). Bei dieser der Wurzelverzweigung eingeräumten Bedeutung für die Nährstoffaufnahme der Pflanze beklagt er, daß „der Durchmesser und die Länge der Wurzelfasern bei keiner Pflanze bekannt ist, und wir uns demnach auf Schätzungen beschränken müssen“ (3; 123). „Die Bekanntschaft mit der Durchwurzelung der Gewächse ist die Grundlage des Feldbaus“, schreibt er an

anderer Stelle. „Alle Arbeiten, welche der Landwirt auf seinen Boden verwendet, sollten genau der Natur und Beschaffenheit der Wurzel der Gewächse angepaßt sein, damit der den Boden in der rechten Weise für die Entwicklung und Tätigkeit der Wurzeln zubereite“ (3; 13).

Bodeneigenschaften und Nährstoffverfügbarkeit

Die Bedeutung chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften für die mineralische Ernährung der Pflanze war auch schon Liebig bekannt. Allerdings hatte er die Bedeutung des *Humus* für den Boden in der anfänglichen Frontstellung zwischen seiner Mineralstofftheorie und der Humustheorie zunächst verkannt. Er glaubte, daß organische Dünger ersetzbar seien durch Materien, die ihre (anorganischen) Bestandteile enthalten (1; 163). Allerdings scheute er sich später nicht, diesen Irrtum zu revidieren. „Der Humus ernährt die Pflanze nicht dadurch, daß er im löslichen Zustand von derselben aufgenommen und als solcher assimiliert wird, sondern weil er eine langsame und andauernde Quelle von Kohlensäure darstellt, welche als das Lösungsmittel gewisser für die Pflanze unentbehrlicher Bodenbestandteile und als Nahrungsmittel die Wurzel der Pflanze in vielfacher Weise mit Nahrung versieht“. Und weiter: „Der Humus enthält zuletzt als der Rückstand verwesender Pflanzenstoffe allen Stickstoff dieser Vegetabilien und stellt infolge fortschreitender Zellersetzung eine im Boden stets gegenwärtige Stickstoffquelle dar“ (2; 45 u. 46). Die Bodenreaktion und ihre Regulierung durch *Kalkung* ist eine weitere für die Nährstoffdynamik bedeutsame chemische Bodeneigenschaft. Auch diese Erkenntnis ist nicht neu, sondern Liebig wies bereits auf diese Zusammenhänge hin, indem er Kalk und gebrannten kalkhaltigen Ton als chemische Hilfsmittel be-

zeichnete, „welche dem Landwirt zu Gebote stehen, um die in seinem Feld vorrätigen Pflanzennahrungsstoffe, die phosphorsäuren Erdsalze, das Kali und die Kieselsäure verbreitbar und den Pflanzen zugänglich zu machen“ (3; 88).

Wenn wir heute bei der Beurteilung der Nährstoffverfügbarkeit eines Bodens neben der *chemischen Verfügbarkeit*, die jahrelang im Vordergrund der Betrachtungen stand, in zunehmendem Maße auch die *räumliche Verfügbarkeit* berücksichtigen und über Düngungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen versuchen, diese beiden Faktoren gleichermaßen zu optimieren, dann sollten wir uns vor Augen halten, daß gerade dies schon vor mehr als 100 Jahren ein ernstes Anliegen Liebig's war. In einer seiner späten Schriften führt er aus: „Hohe Erträge sind ganz sichere Merkzeichen des aufnahmefähigen Zustands der Nährstoffe durch die Wurzel und ihrer *Zugänglichkeit* im Boden“ (3; 203). Aufnahmefähiger Zustand der Nährstoffe ist gleichbedeutend mit ihrer chemischen Verfügbarkeit, Zugänglichkeit der Nährstoffe ist gleichbedeutend mit räumlicher Verfügbarkeit. Der Begriff „Zugänglichkeit der Nährstoffe“ ist also nicht das Ergebnis neuerer Erkenntnisse, wie meist angenommen wird, sondern er ist bereits von Liebig geprägt worden.

Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung

Dem Landwirt stehen zur Beeinflussung der Nährstoffdynamik und -verfügbarkeit nicht nur Düngungsmaßnahmen zur Verfügung, sondern auch die Maßnahmen einer standortspezifischen Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung. Die Düngungsmaßnahmen führen direkt zu einer Erhöhung der Nährstoffkonzentration der Bodenlösung und des labilen Vorrats (Mineraldüngung) bzw. indirekt,

über Verbesserung chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften, sowohl in Richtung einer verbesserten chemischen Verfügbarkeit, als auch, über eine Begünstigung der Durchwurzelung, zu besserer räumlicher Nährstoffverfügbarkeit (organische Düngung, Kalkung).

Mit Liebig bringt man im allgemeinen nur den Maßnahmenkomplex „Düngung“ in Verbindung und hierbei wiederum vorrangig die mineralische Düngung. Ein näheres Studium der Schriften Liebig's zeigt jedoch, daß er sich nicht minder über die Möglichkeiten zur Verbesserung der Mineralstoffernährung der Pflanze über die organische Düngung (s. oben) sowie die Bodenbearbeitung bewußt war. Bereits in der ersten Auflage seines Werkes führte Liebig aus, daß die *Wechselwirtschaft* ein System der Feldwirtschaft ist, „dessen Hauptaufgabe es ist, einen möglichst hohen Ertrag mit dem kleinsten Aufwand von Dünger zu erzielen“ (1; 144). Er machte mehrere Ursachen für die Erfolge des *Fruchtwechsels* verantwortlich: Den unterschiedlichen Nährstoffbedarf aufeinanderfolgender Kulturen (1; 141), die Mobilisierung von Nährstoffen aus tieferen Bodenschichten durch tiefwurzelnde Futtergewächse (2, Einl.; 145) und die Steigerung des Humusgehaltes (1; 156). In dieser Beziehung wird vor allem gewissen Pflanzen wie Luzerne und Esparsette eine besondere Bedeutung beigemessen. Die noch wichtigere Rolle der Leguminosen, die Nutzung von Luftstickstoff über die Symbiose mit Knöllchenbakterien, war Liebig noch nicht bekannt; sie wurde erst 1877 von Hellriegel und Willfahrt entdeckt.

Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Erhöhung der Mobilität und der Zugänglichkeit der Nährstoffe hat Liebig an vielen Stellen seiner Schriften als außerordentlich wichtig herausgestellt: „Wenn von zwei gleichen Feldern das eine gut, das an-

dere schlecht bearbeitet worden ist und beide auf ganz gleiche Weise gedüngt worden sind, so liefert das gut bearbeitete einen höheren Ertrag. Von zwei Landwirten, von denen der eine sein Feld besser kennt und zweckmäßiger bebaut als der andere, würde der erste mit weniger Dünger in einer gegebenen Zeit ebenso hohe Ernten, oder mit derselben Menge höhere Ernten erzielen als der andere“ (3;138). Ähnlich ist eine Aussage zu verstehen, daß „ein im Verhältnis ärmerer, aber wohlkultivierter Boden bessere Ernten liefern kann als ein reicher, wenn die physikalische Beschaffenheit der Wurzeltätigkeit und -entwicklung günstiger ist“ (3;93). Aus dieser Erkenntnis beschwört er den Landwirt, „die größte Sorgfalt darauf zu verwenden, daß die physikalische Beschaffenheit seines Bodens auch den feinsten Wurzeln gestattet, an die Orte zu gelangen, wo sich die Nahrung befindet. Der Boden darf durch seinen Zusammenhang ihre Ausbreitung nicht hindern“ (3;92). Wie ungeheuer wichtig Liebig neben den Nährstoffgehalten gerade auch die *physikalischen Bodeneigenschaften* für die Fruchtbarkeit ansieht, läßt sich kaum besser als mit folgendem Zitat belegen: „Von den zur Fruchtbarkeit eines Bodens notwendigen physikalischen Bedingungen, welche der Chemiker nicht mit in die Rechnung bringt, rührt es her, daß die Kenntnisse des Gehaltes an mineralischen Nahrungsstoffen einer Ackererde nur einen sehr bedingten Wert hat, daß der Gehalt an mineralischen Nahrungsstoffen keinen Schluß rückwärts auf die Güte des Bodens gestattet“ (1;192).

Vielleicht zeigen gerade die meine Ausführungen abschließenden Zitate, welche Bedeutung Liebig der Fruchtfolge und der richtigen Bodenbearbeitung für die Ernährung der Pflanze beimißt: „Die Kunst des Landwirts besteht hiernach im wesentlichen darin, daß er diejenigen Pflan-

zen auszuwählen weiß und in einer gewissen Ordnung aufeinander folgen läßt, die sein Feld ernähren und daß er alle ihm zu Gebote stehenden Mittel auf seinem Feld zur Anwendung bringt, wodurch die chemisch gebundenen Nährstoffe wirksam werden“, d. h. in einen mobilen Zustand gelangen. Für Liebig ist es klar, daß auf von Natur aus fruchtbaren Böden „der Landwirt, indem er die Ursachen wirken läßt, welche die chemische und physikalische Beschaffenheit seines Bodens verbessern, mehr und günstigeren Einfluß auf die Erhöhung seiner Erträge ausüben kann, als durch Zufuhr von Nahrungsstoffen“ (3;131). Und etwas später: „Wenn also die mechanischen Mittel ausreichen, um den Vorrat an Nährstoffen so gleichmäßig zu verbreiten, daß die Pflanzen der darauffolgenden Kultur ebensoviel allerorts im Boden vorfinden wie in der vergangenen, so würde die weitere Zufuhr von Nährstoffen durch Düngung eine Verschwendung sein“ (3;138).

Zumindest für einige Jahre sieht er die Möglichkeit, durch Fruchtfolge und Bodenbearbeitung die Nährstoffversorgung der Pflanzen zu verbessern und die Erträge zu steigern bzw. zu erhalten. Er hält es andererseits aber für zwingend notwendig, langfristig die Nährstoffbilanz des Bodens zu beachten; denn: „Die höheren Ernten sind nicht dadurch bedingt, daß das Feld an Nährstoffen reicher wurde, sondern sie beruhen auf der Kunst, es früher ärmer daran zu machen“ (2;146).

Schlußfolgerung

Es kann kein Zweifel daran bestehen, daß die Mineralstofftheorie und die Erfindung der Mineraldünger die bedeutendsten und bahnbrechendsten Leistungen Liebig's waren. Darüber hinaus hat Liebig – und dies zu verdeutlichen war die Absicht meines Vortrags – eine Reihe von Erkenntnissen

über die Zusammenhänge zwischen Mineralstoffverfügbarkeit und Bodenbearbeitungs- und Fruchtfolgemeasuresnahmen aufgezeigt, mit denen man ihn gegenwärtig nur selten in Verbindung bringt. Diese Erkenntnisse sind weitgehend identisch mit unseren heutigen Auffassungen über die Mineralstoffernährung der Pflanze und den neueren Vorstellungen über die Rolle der organischen und mineralischen Düngung im Zusammenwirken mit standortgerechter Fruchtfolge und Bodenbearbeitung im Rahmen einer umweltfreundlichen Pflanzenproduktion. Somit ist aus dem Aspekt der aktuellen Diskussion über bedarfsgerechte und zugleich umweltverträgliche Düngungsmaasuresnahmen ein sorgfältiges Studium der grundlegenden Schriften Liebig's überaus lohnend. Es ist faszinierend, mit welcher Genialität, Kühnheit und Weitsicht Liebig seinerzeit Tatsachen erkannt, Zusammenhänge formuliert und Folgerungen gezogen hat, die eigentlich bereits die wesentlichen Elemente der heutigen *integrierten Pflanzenproduktion* beinhalten.

Wenn also heute vereinzelt Umweltprobleme im Zusammenhang mit unsachgemäßen Düngungsmaasuresnahmen auftreten, dann ist dies nicht eine Folge der Lehren

Liebig's, sondern eine Folge davon, daß diese Lehren und Erkenntnisse häufig nicht in ihrer Gesamtheit gesehen und in die Praxis umgesetzt werden. Aus der Sicht Liebig's würde sich sogar die Frage stellen, ob düngungsbedingte ökologische Probleme nicht hätten vermieden oder früher erkannt werden können, wenn die wissenschaftliche Arbeit der einschlägigen Disziplinen noch konsequenter nach einer Devise ausgerichtet worden wäre, die Liebig bereits 1840 in seinem Hauptwerk formulierte und die man als Leitfaden seiner eigenen Arbeit ansehen kann: „*Einer jeden Wirkung entspricht eine Ursache; suchen wir die Ursachen uns deutlich zu machen, so werden wir die Wirkungen beherrschen*“ (1;167).

Literatur

Die Quellenangaben beziehen sich auf die folgenden Arbeiten Liebig's:

1. *Justus von Liebig*: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie. 1. Auflage, Verlag Vieweg, Braunschweig 1840.
2. Ders.: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie, 8. Auflage, Teil 1: Der chemische Prozeß der Ernährung der Vegetabilien. Braunschweig 1965.
3. Ders.: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie, 8. Auflage, Teil 2: Die Naturgesetze des Feldbaus. Braunschweig 1865.