

Liebigs Mineraltheorie und die Synthese organischer Stoffe im Getreidekorn

Blättert man in Liebigs Schriften, so spürt man dort noch immer die Genialität, mit der er seine damaligen Leser zu begeistern wußte. Seinem Genius verdanken wir eine große Zahl vielfältiger Erkenntnisse, die — obwohl zum Teil über 140 Jahre alt — nichts von ihrer Aktualität eingebüßt haben. Zu seinen bedeutendsten und immer noch aktuellen Erkenntnissen zählt die „Mineraltheorie“. Sie besagt, daß alle Nährstoffe, welche die Pflanze für ihr Wachstum dem Boden entzieht, durch mineralische Düngung zu ersetzen sind. Die Richtigkeit dieser revolutionären Idee wurde dann auch bald bewiesen, als infolge zunehmender Mineraldüngung die Erträge aller Kulturpflanzen kräftig anstiegen. Dadurch konnte zur Jahrhundertwende die Nahrungsmittelproduktion weltweit verbessert und das Gespenst der Hungersnot gebannt werden. Die Weltbevölkerung wächst jedoch beängstigend schnell weiter, jährlich um 2% (*Beringer, 1976*). Darum taucht erneut das Problem der Sicherung unserer Nahrungsmittelversorgung auf. Um das zu erreichen, sind künftig hohe Steigerungsraten in der Agrarproduktion vonnöten. Durch die Auswahl ertragreicher Sorten, durch verbesserte Anbauverfahren, durch gesteigerte Düngung und gezielten Schutz der Pflanzen und der Erntegüter vor Krankheiten und Verderb, ist es bis jetzt gelungen, die Nahrungsmittelproduktion weltweit jährlich um 2,7% zu erhöhen.

Aber wird man diese Steigerungsrate auch in Zukunft beibehalten können? Diese bange Frage ist ein aktueller Anlaß, um einerseits rückblickend Justus von Liebig's große Verdienste um die Verbesserung der Nahrungsmittelproduktion zu würdigen, andererseits aber auch aufzuzeigen, welche Möglichkeiten für die Agrikulturchemie ca. 120 Jahre nach den epochalen Erkenntnissen ihres Begründers bestehen, um den Wettlauf zwischen Bevölkerungs- und Ertragszuwachs erfolgreich durchzustehen. In den letzten Jahrzehnten sind viele wissenschaftliche Erkenntnisse über mögliche Ertragssteigerungen hinzugewonnen worden. Sie geben Anlaß zu berechtigter Hoffnung.

Aufbau des Getreidekornes

Zweidrittel der menschlichen Ernährung basieren auf dem Getreide. Darum ist es nicht verwunderlich, daß gerade an Getreidepflanzen sehr

Weizenkorn (Längsschnitt)

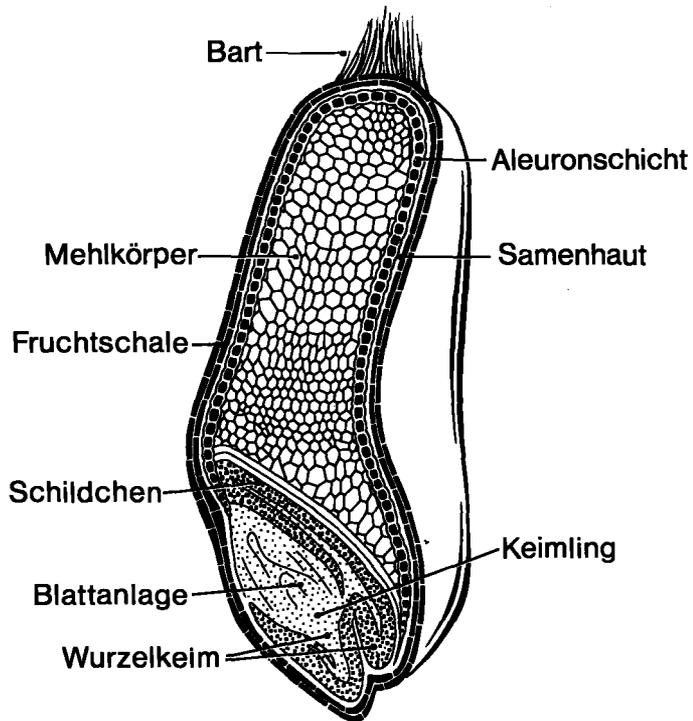


Abb. 1: Längsschnitt durch ein Weizenkorn.

viele Untersuchungen über die Ertragsbildung vorgenommen wurden. Am Beispiel des Getreides soll später die systematische Erforschung des Ertragsaufbaues geschildert und Möglichkeiten zu weiterer Ertragsverbesserung angeführt werden.

Wegen seiner weltweiten Bedeutung ist das Getreidekorn bis heute Symbol menschlicher Ernährung geblieben. Das Korn ist eine Frucht, bei der Samen- und Fruchtschale verwachsen sind. Man nennt diese Frucht deshalb auch Karyopse. In der ersten Abbildung ist ein Weizenkorn im Längsschnitt zu sehen, dessen nähere Betrachtung das Verständnis der späteren Ausführungen erleichtert. Das Korn ist von einer Schale umhüllt, die zu 75% aus Zellwandbestandteilen wie Rohfaser und Pentosanen besteht. Der Schale liegt innen die Aleuronschicht an, die zu je einem Drittel aus Proteinen (Eiweiß) und Pentosanen besteht. Ihr mit 10% relativ hoher Fettgehalt macht diese „Haut“ wasserundurchlässig. Die Aleuronschicht umschließt den großen Mehlkörper, auch Endosperm genannt, der 82% des Gesamtkornes ausmacht. Das Endosperm besteht zu 80% aus Stärke und zu 10% aus Eiweiß. Der Rest setzt sich zusammen aus 1% Fett, 4% Pentosane, 1% Mineralstoffe und 4%

Wasser. Diese Inhaltsstoffe bilden das Nährstoffreservoir des Keimlings.

Dringt in den ruhenden Keimling von außen Wasser ein, und strömt dieses Wasser durch das Schildchen — das ist die Trennschicht zwischen Keimling und Endosperm —, so werden pflanzliche Hormone mit dem Wasser in den Mehlkörper gespült. Dort aktivieren sie Fermente (Enzyme). Diese Enzyme bauen im Mehlkörper die Stärke zu löslichem Traubenzucker ab und die Eiweiße zu löslichen Aminosäuren. Die gelösten Verbindungen diffundieren zum Keimling, wo sie dann als Baustoffe und als Energiequelle für Stoffwechselreaktionen dienen. Der Keimling setzt sich zusammen aus:

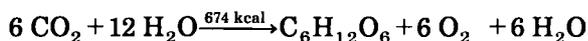
je 26% Zucker und Eiweiß, 10% Fett; 6% Pentosane, 2% Rohfaser, 5% Mineralstoffe und 25% Wasser.

Bezüglich des Nährwertes bestehen zwischen den einzelnen Kornproteinen Unterschiede. Im Keimling findet man Albumine und Globuline. Beide besitzen einen hohen Nährwert, weil sie die für den Menschen notwendigen Aminosäuren in einem recht guten Verhältnis enthalten. Eine der fünf für den Menschen essentiellen Aminosäuren ist Lysin. Der Lysinanteil im Albumineiweiß beträgt 4,5% und im Globulin 3,4%. Leider machen diese qualitativ hochwertigen Eiweiße nur $\frac{1}{5}$ des gesamten Korneiweißes aus. Außerdem wandern sie gar zu häufig mit allen Bestandteilen von Keimling und Aleuronschicht beim Mahlvorgang in den Abfall, die sogenannte Kleie. Fein ausgemahlene Mehle enthalten nur die Stärke und die sogenannten Reserveeiweiße (Prolamin und Glutelin) des Mehlkörpers. Diese Eiweiße sind infolge ihrer geringen Lysingehalte nicht vollwertig für die menschliche Ernährung. Das ist im wesentlichen der Grund, daß in vielen Entwicklungsländern, deren Bewohner sich vorwiegend von Getreide ernähren, Eiweißmangel auftritt. Darum ist man bemüht, die Eiweißqualität der verbreitetsten Körnerfrüchte zu verbessern. Von vielen Getreidearten wie Mais, Reis, Weizen, Gerste und Sorghum hat die Züchtung Pflanzen selektiert, deren Körner einen höheren Lysinanteil am Gesamteiweiß aufweisen. Trotz der höheren Eiweißqualität sind die Mutanten der aufgeführten Getreidearten jedoch nicht anbauwürdig, weil ihre Kornerträge noch zu gering sind. Die Reserveeiweiße Prolamin und Glutelin haben trotz des geringeren Nährwertes große Bedeutung für den Verzehr. Werden sie mit Wasser angeteigt, dann bilden sie eine zähe klebrige Masse. Diese klebrige Masse bewirkt die poröse, lockere Struktur der Backwaren. Prolamin und Glutelin werden deshalb auch unter der Bezeichnung „Klebereiweiß“ zusammengefaßt. Mehle aus den Körnern von Mais, Reis und Hafer sind nicht backfähig, weil das Prolamin im Verhältnis zum Glutelin einen geringeren Anteil ausmacht als bei Weizen und Roggen.

Mineralische Ausgangsbausteine

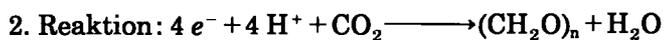
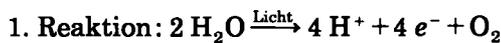
Aus der Schilderung der Kornzusammensetzung ging hervor, daß das Korn vorwiegend aus organischer Substanz besteht. Addiert man die in der ersten Abbildung aufgeführten Komponenten, dann entfallen 83% der Korninhaltsstoffe auf organische Substanzen, 15% auf Wasser und nur 2% auf Mineralstoffe. Es ist darum nicht verwunderlich, wenn Zeitgenossen Liebig's mit ihrem damaligen Verständnis für die Naturwissenschaften annahmen, daß der hohe Anteil organischer Masse in der Pflanze nur von der organischen Masse des Bodens, dem Humus, herühren kann. Die damals übliche und erfolgreiche Düngung des Bodens mit Stallmist rechtfertigte die Vorstellung, daß sich die organische Substanz in einem Kreislauf zwischen Boden und Pflanze befindet. Diese weit verbreitete Ansicht wurde von dem Agronomen Albrecht Thaer (1752—1828) in der sogenannten „Humustheorie“ zusammengefaßt. Es ist bezeichnend für die Kämpfernatur Liebig's, daß er aus Überzeugung und in dem Streben nach absoluter Wahrheitsfindung, der anerkannten These seine konträre „Mineraltheorie“ entgegensetzte. Aus der Kombination bereits vorliegender Erkenntnisse mit seinen Analysendaten, seinen scharfen Beobachtungen und dem Gespür für das Wesentliche, vermochte er die vorausschauende Schlußfolgerung zu ziehen, daß die Pflanze vom anorganischen Material lebt. Sein ausgeprägtes Urteilsvermögen drückt sich aus in den klaren Formulierungen seines bekannten Buches „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“, das 1841 erschien. Hier schreibt er sehr deutlich: „Die ersten Quellen der Nahrung der Pflanzen liefert ausschließlich die anorganische Natur.“ Ob er die großen segensreichen Auswirkungen dieser Erkenntnis schon geahnt hat? Denn an anderer Stelle verkündet er prophetenhaft: „Es wird eine Zeit kommen, wo man den Acker mit einer Auflösung von Wasserglas, mit der Asche von verbranntem Stroh, wo man ihn mit phosphorsauren Salzen düngen wird.“ Die Ernährung der Pflanzen mit all diesem anorganischen Material bescherte der Menschheit die hohen Erträge.

Schon vor Liebig hatte der Niederländer Ingen-Housz (1779) die Photosynthese entdeckt, die wir heute mit der folgenden klassischen Formel umschreiben:



Mit Hilfe der Sonnenenergie kann in den grünen Pflanzenteilen aus dem Kohlendioxid der Luft und dem Wasser Zucker synthetisiert werden. Molekularer Sauerstoff wird dabei von den Pflanzen an die Atmosphäre abgegeben. Diese Reaktion ist unter der Bezeichnung „Photosynthese“

allgemein bekannt. Die chemische Reaktionsfolge war Ingen-Housz und später dem Schweizer De Saussure, der 1804 die Kohlensäure-Assimilation der Pflanze beschrieb, noch nicht bekannt. Diese Wissenschaftler vermochten ihre Erkenntnisse nicht gebührend durchzusetzen. Es war Liebig vorbehalten, zwei Meilensteine zur Aufklärung der Photosynthese zu setzen und der Entdeckung mehr Geltung zu verschaffen. Zum einen erkannte Liebig die Zusammensetzung der aus CO_2 und H_2O synthetisierten Substanz. Er schreibt dazu: „Die Hauptmasse aller Vegetabilien besteht aus Verbindungen, welche Kohlenstoff und die Elemente des Wassers in einem Verhältnis wie im Wasser enthalten.“ Zum anderen erahnte er in seiner Genialität, daß die erste und bedeutendste Reaktion der Photosynthese in der Spaltung des Wassermoleküls besteht.



Dabei wird das Elektron durch die Einwirkung des Lichtes auf ein höheres Energieniveau gehoben. Mit Hilfe dieser Energie und dem abgespaltenen Wasserstoff wird dann in der zweiten Reaktion das CO_2 reduziert und zur Kohlenhydratsynthese verwendet. Hierzu schreibt Liebig schon 1841: „Die Pflanze zerlegt unter Mitwirkung des Sonnenlichtes ... das Wasser, sein Wasserstoff wird mit Kohlensäure assimiliert, während sein Sauerstoff ausgeschieden wird.“ Es hat vieler aufwendiger Versuche mit radioaktiven Isotopen bedurft, bis endlich Ruben u. Mitarbeiter 1941 nachweisen konnten, daß der an die Atmosphäre abgegebene Sauerstoff aus dem Wassermolekül und nicht aus dem CO_2 -Molekül stammt. Die Pflanze vermag aus den drei anorganischen Grundbausteinen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) mit Hilfe des Sonnenlichtes Zucker (Kohlenhydrate) aufzubauen. Um aus diesem Grundgerüst die Eiweiße synthetisieren zu können, ist ein weiterer Baustein, der Stickstoff, erforderlich. Liebig erkannte die Bedeutung des Stickstoffs für die Eiweißsynthese: „Der stickstoffhaltige Kleber in den Körnern steht in Beziehung zum aufgenommenen Stickstoff.“ Schon damals wußte man, daß die Luft den Stickstoff in großen Mengen enthält. Deshalb lag die Vermutung nahe, daß die Pflanzen ihren Stickstoffbedarf aus dem Reservoir der Luft decken. Dieser Ansicht war auch Liebig: „Durch Verwesung von Tierkörpern im Boden entsteht Ammoniak, der von den Pflanzen direkt aufgenommen wird oder in die Atmosphäre übergeht und von hier mit Regenwasser wieder den Pflanzen zugeführt wird.“ Aus seinen Worten geht hervor, daß er annahm, die Pflanzen nehmen den Stickstoff nur in Form des Ammoniaks (NH_3) auf. Hier irrte Liebig, was verständlich wird, wenn man bedenkt, daß zu damaliger Zeit mit den

tierischen Exkrementen im Stallmist der Stickstoff nur als Ammoniak dem Boden zugeführt wurde. Tatsächlich kann die Pflanze den Stickstoff in reduzierter Form als Ammoniak aufnehmen. Das Ammoniak wird aber im Boden sofort oxydiert und dann vornehmlich als Nitrat (NO_3^-) von der Pflanze aufgenommen. In der Pflanze wird das Nitrat zu Aminostickstoff (NH_2^+) reduziert und in dieser Form mit den Kohlenhydratgerüsten zu Aminosäuren verbunden. Die Nutzung des Luftstickstoffs ist nur einigen Pflanzenarten, den Leguminosen, möglich, wie man heute weiß. Diese Pflanzen können den atmosphärischen Stickstoff aber auch nur mit Unterstützung symbiontischer Bakterien, die an den Pflanzenwurzeln leben, assimilieren. Es fehlt nicht an Bemühungen, Pflanzen zu züchten, welche den atmosphärischen Stickstoff direkt nutzen können. Leider ist diesen Bemühungen bis jetzt noch kein Erfolg beschieden gewesen.

Aufbau der organischen Substanz

Selbstverständlich sind dies nicht die einzigen Bemühungen, die gegenwärtig unternommen werden, um die Pflanzenerträge auch in Zukunft anheben zu können. Im folgenden sollen nun die Möglichkeiten aufgezählt werden, die man heute sieht, um die Erträge anzuheben. Durch J. v. Liebig selbst und durch die von ihm inspirierten folgenden Forschergenerationen ist der globale Einfluß der mineralischen Düngung auf die Erträge aller Kulturpflanzen hinreichend untersucht und propagiert worden. Man darf annehmen, daß heute beinahe jeder europäische Landwirt weiß, welche Düngermengen er unter den gegebenen Umweltbedingungen für die entsprechenden Pflanzenarten anwenden muß, um befriedigende Erträge zu erzielen. Im Getreidebau hat sich dabei zur Steigerung der Erträge und auch zur Verbesserung der Kornqualität eine Teilung der Stickstoffdünger in eine Gabe zur Saat und eine Gabe zur Kornbildung besonders bewährt. Voraussetzung für eine solche gezielte und rationelle Ernährung der Pflanze ist aber erstens die Kenntnis all derjenigen Reaktionen in der Pflanze, welche für den Ertrag wichtig sind. Zweitens sollte man wissen, wie man diese Stoffwechselreaktionen durch Umwelteinflüsse stimulieren kann. Diese Zusammenhänge hatte auch Liebig schon erkannt als er schrieb: „Die Entwicklung der Halme und Blätter, der Blüten und Früchte ist an bestimmte Bedingungen geknüpft . . . aus der Kenntnis dieser Bedingungen müssen die Grundsätze der Land- und Feldwirtschaft entspringen.“

In der „Ertragsphysiologie“ werden alle Forschungsvorhaben zusammengefaßt, die sich mit dem für den Ertrag wichtigen Stoffwechselgeschehen in der Pflanze beschäftigen. Aus dieser Fachrichtung stammen die nachfolgend aufgeführten Erkenntnisse.

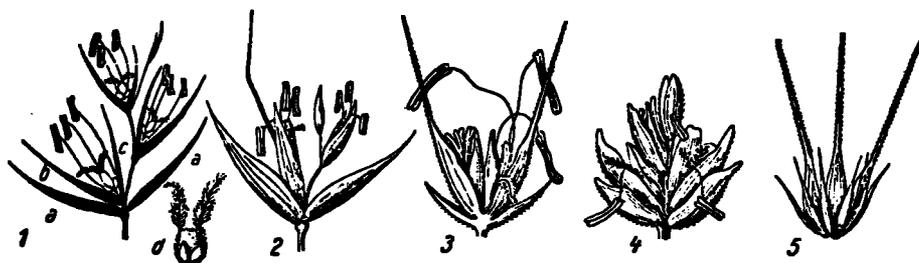


Abb. 2: Getreideährchen 1. Schema: a = Hüllspelzen, b = Deckspelzen, c = Vorspelze, d = Fruchtknoten; 2. Hafer; 3. Roggen; 4. Weizen; 5. Gerste (nach Klapp, 1958).

Der Kornertrag einer Getreidefläche ist das Produkt aus der *Ährenzahl* pro Anbaufläche, der *Kornzahl* pro Ähre und schließlich der *Korngröße*. Alle Ernährungs- und Pflegemaßnahmen des Getreides sind darauf ausgerichtet, die genannten drei Ertragsfaktoren zu optimieren. Beim Weizen erachtet man heute 500 Ähren pro qm als günstig für den Ertrag. Dieses Ziel läßt sich leicht erreichen, entweder durch entsprechende hohe Saatkichte oder durch forcierte Verzweigung (Bestockung) einer geringeren Pflanzenzahl. Schon etwas schwieriger ist die Beeinflussung der Kornzahl in der Ähre. Erst durch die jüngsten Untersuchungen ist man sich der großen Bedeutung, welche die Kornzahl für den Ertrag hat, richtig bewußt geworden. In einer Weizenähre findet man durchschnittlich 20 bis 30 Körner. Schon in einem sehr frühen Entwicklungsstadium wird die Kornzahl der Ähre angelegt. Schützend eingehüllt in die Blätter findet man bereits im 6-Blatt-Stadium einer Weizenpflanze eine mikroskopisch kleine, aber in ihrer Gestalt deutlich erkennbare Ähre mit den vielen übereinander angeordneten Ährchen vor. Jedes Ährchen enthält je nach Getreideart ein bis vier Blüten, in denen nach der Befruchtung die Körner wachsen (Abb. 2). Die Ährchenzahl ist genetisch fixiert, ihre weitere Ausbildung wird jedoch von der Umwelt beeinflusst. Während der Entwicklung bis zur Blüte degenerieren normalerweise 10 bis 25% der angelegten Ährchen. Bei Roggen werden erfahrungsgemäß mehr abortiert als bei Weizen. Um möglichst viele Ährchen vor der Abortation zu bewahren, ist neben anderen Faktoren auch eine ausreichende und vor allem rechtzeitige Ernährung der Pflanze wichtig. Experimente haben bewiesen, daß durch steigende Stickstoffdüngung die Ährchenabortation beträchtlich zurückgedrängt werden kann. An den in Tab. 1 gezeigten Untersuchungsergebnissen ist zu erkennen, daß durch die Stickstoffdüngung der Ährchenverlust bei beiden Getreidearten um ca. 10% gesenkt werden konnte. Das ist ein Beispiel, wie durch rechtzeitige, ausreichende Düngung die Kornzahl erhöht und damit der Ertrag verbessert werden kann.

Tabelle 1: Einfluß der Stickstoffdüngung auf Anlage und Ausbildung der Ährchen bei Winterroggen und Winterweizen. (Nach *Fuchs*, 1975)

	Angelegt (Anzahl/Ähre)	Ausgebildet (% der Anlage)
W. Roggen		
0 kg N/ha	39	60
40 kg N/ha	39	70
40 + 40 kg N/ha	39	75
W. Weizen		
0 kg N/ha	19	72
60 kg N/ha	21	79
60 + 30 kg N/ha	21	86
60 + 60 kg N/ha	21	85

Nach der Blüte wachsen aus dem bestäubten Fruchtknoten in den Ährchen die Körner mit Embryo und Endosperm heran. Beide Kornteile entwickeln sich mit gleicher Geschwindigkeit. Das Wachstum untergliedert sich in die drei Phasen Zellteilung, Zellstreckung und Stärkeeinlagerung. Alle drei Stadien sind von gleicher Wichtigkeit für die Größe des zukünftigen Kornes. Werden während der Zellteilungsphase, die sich etwa über die ersten beiden Wochen nach der Blüte erstreckt, nicht genügend Zellen gebildet, dann wird von vornherein die Speicherkapazität für die aus den Blättern angelieferten Assimilate begrenzt. Zur Ausbildung einer genügend großen Zahl von Zellen im Endosperm des Kornes ist eine ausreichende Ernährung vor allem mit Stickstoff und Kalium wichtig.

An die Teilungsphase schließt sich die etwa zwei Wochen dauernde Streckungsphase an. In diesem Stadium ist der Nährstoff Kalium sehr wichtig, weil er zum einen als Osmotikum die Wasseranreicherung in der Zelle und deshalb die Zelldehnung fördert und zum anderen die Assimilatanlieferung zu den Körnern begünstigt. In der Streckungsphase erreicht das Getreidekorn seine maximale Ausdehnung, noch bevor der größte Teil der Speicherstoffe im Korn eingelagert ist.

Die Hauptphase der Stärkeeinlagerung erstreckt sich ebenfalls über ca. 2 Wochen. In dieser Zeit werden etwa 50% der im Korn zu speichernden Produkte eingelagert. Abbildung 3 verdeutlicht den raschen Verlauf der Kornfüllung. Zweidrittel bis dreiviertel aller Kornspeicherprodukte stammen aus den beiden oberen Blättern und der angrenzenden Stengelpartie. Diese Pflanzenteile und das Gefäßsystem, in dem die Assimilate in die Ähre fließen, müssen darum in diesem Stadium noch voll intakt sein, um die große Synthese- und Transportleistung erfüllen zu können. Aus Untersuchungen mit radioaktiv markiertem Kohlendioxyd weiß

Anteil der Pflanzenorgane an der Kornfüllung
und Verlauf der Assimilateinlagerung in das Korn
(Stoy 1973)

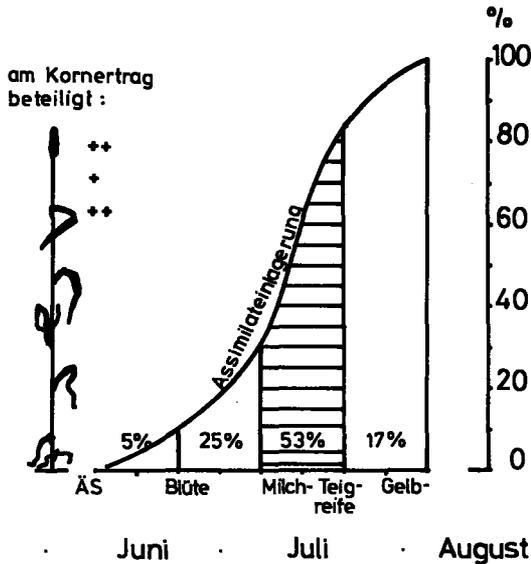


Abb. 3: Zeitlicher Ablauf der Assimilateinlagerung in das Getreidekorn und Anteil der verschiedenen Pflanzenteile an der Assimilatproduktion für das Getreidekorn (nach Stoy, 1973).

man, daß durch die Stickstoff- und Kaliumernährung sowohl die Photosynthese der grünen Pflanzenteile als auch der Assimilatfluß in die Ähre gefördert wird. Abbildung 4 zeigt, wie durch erhöhte K-Ernährung die Assimilation und der Transport radioaktiv markierter Assimilate in die Ähren, besonders während der Haupteinlagerungszeit, verbessert wird. Für den Assimilateinbau in das Getreidekorn ist jedoch nicht nur die Anlieferungsgeschwindigkeit wichtig. Nach derzeitigen Erkenntnissen wären die Pflanzen in der Lage mehr Assimilate für die Kornfüllung zu produzieren, wenn diese nur genügend schnell von den Körnern abgenommen würden. Die Pflanze ist grob vergleichbar mit einer nicht voll ausgelasteten Fabrikationsstätte. Pflanzliche Hormone sind es, welche die Geschwindigkeit und die Dauer des Assimilateinbaues in das Korn steuern. Die Bedeutung des Hormonspiegels für die endgültige Korngröße macht die Abb. 5 deutlich. Diejenige Gerstensorte, die am Anfang der Kornfüllphase den höheren Cytokiningehalt aufzuweisen hatte, besaß zum Schluß auch die größeren Körner. Vielleicht wird es in nicht allzu ferner Zukunft möglich sein, mit Hilfe dieser Hormone die Geschwindigkeit und die Dauer des Kornwachstums zu erhöhen und größere Getreidekörner zu ernten. Wachstumsregulatoren werden schon heute mit großem Erfolg und weit verbreitet im Getreidebau eingesetzt. Die

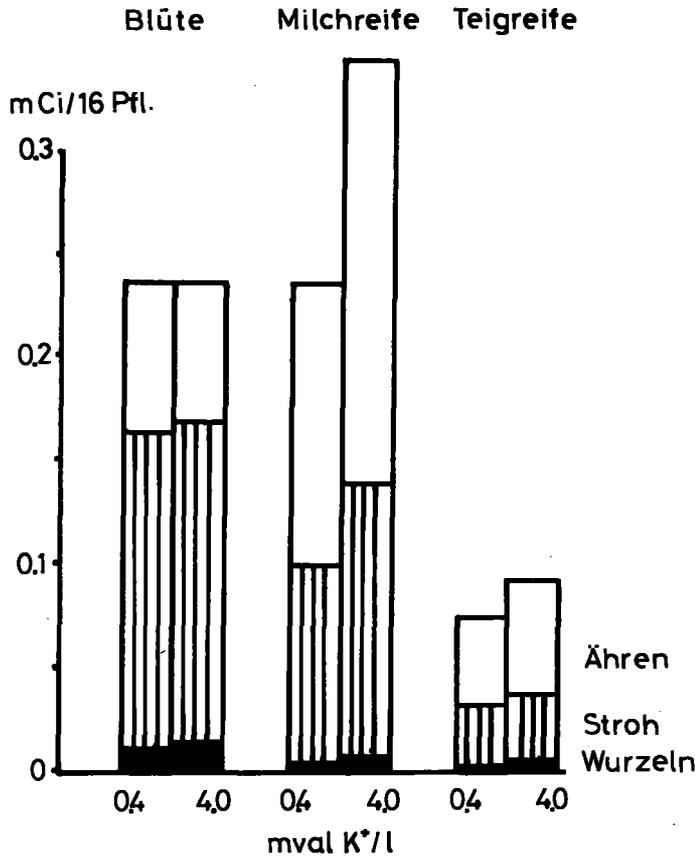


Abb. 4: ¹⁴C-Assimilation von S.-Weizen in verschiedenen Reifephasen (Mengel u. Haeder, 1974).

grundlegenden Erkenntnisse zur Anwendung des Wachstumsregulators Chlorcholinchlorid (CCC) sind unter Federführung von Herrn Prof. Linsler im Institut für Pflanzenernährung an der Gießener Universität vor eineinhalb Jahrzehnten erarbeitet worden. Dies ist ein Beispiel aus der Gegenwart, wie die Gießener Agrikulturchemie in Liebig's Vermächtnis für die Ertragsanhebung streitet. Der Wachstumsregulator CCC verkürzt die Getreidehalme. Ein kürzerer Halm kann eine schwerere Ähre eher tragen als ein längerer. Wenn durch intensivere Düngung die Ähren schwerer werden, dann ist die Gefahr des Umknickens — der Landwirt spricht von Lager — bei CCC-behandelten Pflanzen geringer. Aus dem geschilderten Grunde wirkt eine hohe Stickstoffgabe bei CCC-behandeltem Weizen noch ertragserhöhend, während sie bei unbehandeltem Weizen schon depressiv wirkt. Das will die Abb. 6 veranschaulichen. Aus dem gleichen Grunde vertragen alte langstrohige Getreidesorten nicht so hohe Stickstoffgaben wie moderne kurzstrohige. Die

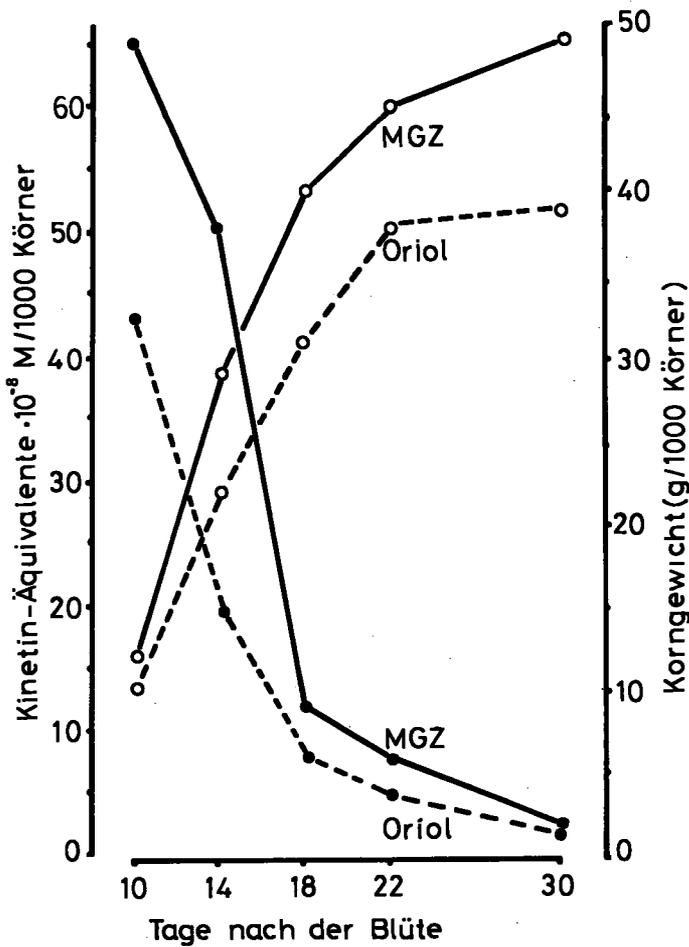


Abb. 5: Cytokinin-Aktivität (●) und Korngewicht (○) bei den S.-Gersten Sorten Ackmanns MGZ und Oriol in verschiedenen Reifestadien (nach Michael und Seiler-Kelbitsch, 1972).

Pflanzenzüchtung beschäftigt sich schon seit geraumer Zeit mit der Entwicklung kurzstrohiger Sorten, die möglichst viele Körner pro Ähre besitzen. Das Beispiel zeigt, daß generell ein höherer Düngeraufwand nur sinnvoll ist, wenn die angebauten Sorten die entsprechenden Voraussetzungen für eine Ertragserhöhung (Ertragspotential) mitbringen. Nach den Angaben in Abb. 6 liegt das Ertragsmaximum des Weizens bei 6 t/ha. Im maritimen Klima Norddeutschlands und Englands sind jedoch mit einigen Winterweizensorten Kornserträge bis zu 10 t/ha erzielt worden. Das bedeutet, daß das genetische Potential der zur Zeit angebauten Weizensorten weitere Ertragssteigerungen erlaubt, wenn es gelingt, die Umweltbedingungen, zu denen auch die Ernährung gehört, für den Weizen optimaler zu gestalten. In der Abb. 7 zeigt sich ein enger Zusammen-

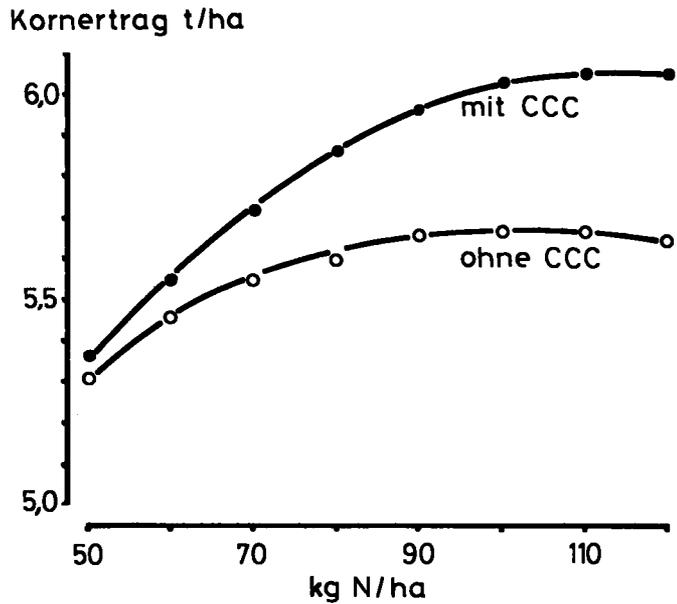


Abb. 6: Wirkung steigender Stickstoffdüngung auf den Kornertrag von Weizen, der mit CCC behandelt wurde oder unbehandelt blieb (nach Kemmler, 1974).

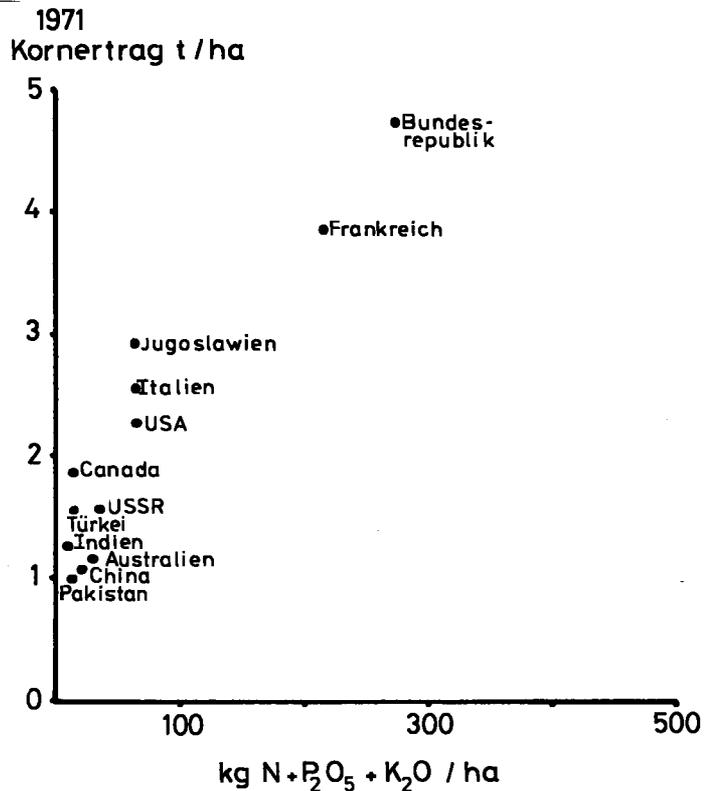


Abb. 7: Weizenerträge des Jahres 1971 und durchschnittliche Düngergaben zu Weizen (1969/70) in 12 Ländern (nach Kemmler, 1974).

hang zwischen dem Düngemittelverbrauch und den Weizenerträgen in den 12 bedeutendsten Ländern der Weizenproduktion. Selbstverständlich darf man bei dieser Betrachtung nicht vergessen, daß in manchen der aufgeführten Länder nicht die Ernährung, sondern der Wassermangel die Erträge limitiert. Dennoch besteht die berechtigte Hoffnung, daß durch Verbesserungen in der Anbautechnik Ertragssteigerungen noch möglich sind. Die Tab. 2 weist China, Indien und die UdSSR als Länder mit den größten Getreideflächen aus. Von diesen Ländern erreicht nur

Tabelle 2: Getreideanbauflächen, Körnerproduktion und Erträge in verschiedenen Gebieten der Welt (Durchschnitt 1970–74). (Ewell, 1976)

	Mill. ha	Mill. t	t/ha
USA	63	219	3,48
Canada	17	34	2,00
Lateinamerika	47	73	1,55
Europa	71	216	3,04
USSR	117	183	1,56
Indien	100	112	1,12
China	119	218	1,83
restl. Asien	99	170	1,72
Afrika	66	62	0,94
Oceanien	12	15	1,25
Welt	711	1302	1,83
Weltbevölkerung	4,0 Milliarden		
Produktion pro Kopf	325 kg		

China die Körnerproduktion, die in USA oder Europa auf der etwa halb so großen Anbaufläche geerntet wird. Gewiß sind in den Ländern mit der größten Getreide-Anbaufläche noch einige Ertragsreserven zu mobilisieren. Diese Möglichkeit eröffnen Versuchsdaten aus indischen Feldversuchen, die in Tab. 3 wiedergegeben werden. Niedrig sind die Hektarerträge ausgerechnet in Regionen mit hohem Bevölkerungszuwachs. Bei einer Weltbevölkerung von vier Milliarden ist in der Tab. 2 eine durchschnittliche jährliche Körnerproduktion von 325 kg pro Kopf er-

Tabelle 3: Durchschnittliche Weizenerträge von über zweitausend bewässerten Feldern in Indien, die gedüngt wurden (120 kg N/ha, 60 kg P₂O₅/ha, 60 kg K₂O/ha), im Vergleich zu ungedüngten. (Nach 1. Kanwar et al., 1972, und 2. Singh et al., 1976)

Düngung	t/ha	
	mit	ohne
1. 1967–1971	4,02	1,99
2. 1971–1974	3,59	1,71

rechnet worden. Es ist bekannt, daß hier eine große Lücke zwischen den sogenannten entwicklungsbedürftigen und den Industrieländern klafft. Wenn man berechneten Zukunftsprognosen Glauben schenkt, dann soll diese Diskrepanz in Zukunft noch größer werden. Darum ist die Mobilisierung aller Ertragsreserven, besonders in den entwicklungsbedürftigen Ländern, vordringlich.

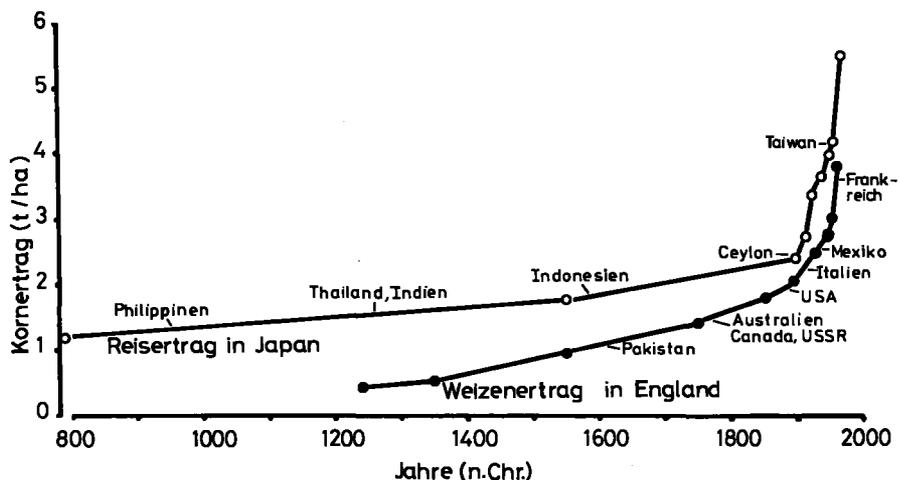


Abb. 8: Entwicklung der Reiserträge in Japan und der Weizenerträge in England im Vergleich zu den entsprechenden Erträgen anderer Länder aus dem Jahre 1968 (nach Evans, 1975).

Ganz gewiß ist es schwierig, den durch Liebig's revolutionäre Erkenntnisse eingeleiteten steilen Ertragsanstieg weiterzuführen. Dieser steile Anstieg ist erkennbar in der Abbildung 8. Sie zeigt, daß seit Einführung der Mineraldüngung um die Jahrhundertwende die Erträge an Reis und Weizen in Japan bzw. England rapide angestiegen sind. Sie zeigt außerdem, daß sich viele Entwicklungsländer mit ihren heutigen Reis- und Weizenerträgen auf einem Niveau bewegen, das in Japan bzw. England im 19. Jahrhundert bestand.

Die Darstellung veranschaulicht in ergreifender Weise noch einmal die bedeutende Leistung des Agrikulturchemikers Justus von Liebig. Sie soll aber gleichzeitig den Agronomen aller Zeiten Ansporn sein, die Erkenntnisse Liebig's in allen Ländern der Welt in die Praxis umzusetzen.

Literatur

- Beringer, H.: Landwirtschaftliche Produktionsreserven und Welternährung. Kali und Steinsalz, Verlag Glückauf, Essen 1976, S. 41—47.
 Evans, L. T.: Crop physiology; Cambridge University Press, 1975.
 Ewell, R.: persönliche Mitteilung.
 Fuchs, W.: Untersuchungen zum Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Anlage und Ausbildung des Ertragsmerkmals Ährchenzahl. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde 19, 277—286 (1975).

Kanwar, J. S., M. N. Das, M. G. Sardana u. S. R. Bapat: Balanced fertilizer use for maximizing returns from wheat on cultivators' fields. *Fertilizer News*, 17, 19—30 + 54 (1972).

Kemmler, G.: Modern aspects of wheat manuring. Internat. Potash Institute Berne, 1974, Bulletin Nr. 1.

Klapp, E.: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues, Verlag Parey, Hamburg 1958, S. 297.

Liebig, J. v.: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Verlag Vieweg, Braunschweig 1841.

Mengel, K. u. H. E. Haeder: Photosynthese und Assimilattransport bei Weizen während der Kornausbildung bei unterschiedlicher Kaliumernährung. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 140, 206—213 (1974).

Michael, G., B. Blume u. H. Faust: Die Eiweißqualität von Körnern verschiedener Getreidearten in Abhängigkeit von Stickstoffversorgung und Entwicklungszustand. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkde.* 92, 106—116 (1961).

Michael, G. u. H. Seiler-Kelbitsch: Cytokinin content and kernel size of barley grains as affected by environmental and genetic factors. *Crop Sci.* 12, 162—165 (1972).

Ruben, S., M. Randall, M. Kamen u. J. Hyde: *J. Am. Chem. Soc.* 63, 877—879 (1941).

Singh, D., K. S. Krishnan u. S. R. Bapat: Economics of fertilizer use based on experiments conducted in cultivars' fields. *Fertilizer News*, 21, 8—13 (1976).

Stoy, V.: Assimilatbildung und -verteilung als Komponenten der Ertragsbildung beim Getreide. *Angew. Bot.* 47, 17—26 (1973).

Viele Gründe...

... sprechen dafür, ausreichend hoch mit Kall zu düngen, denn:

- ▶ **je besser die Kaliversorgung des Bodens, desto ungestörter erfolgt die Kallaufnahme durch die Pflanze, und . . .**
- ▶ **je höher der Kallgehalt der Pflanze, desto besser sind:**
 - die Stickstoffverwertung,
 - die Bildung von Stärke und Zucker,
 - der Abtransport dieser Stoffe in die Reserveorgane,
 - die Standfestigkeit,
 - die Widerstandskraft gegen Krankheiten und Schädlingsbefall
 - und die Transport- und Lagerfähigkeit.

Außerdem:

eine mit Kall gut versorgte Pflanze braucht für die gleiche Leistung weniger Wasser. Das kann in niederschlagsarmen Jahren Höhe und Sicherheit der Erträge entscheidend beeinflussen.

Kali und Salz AG

K+S