

# **Source / Sink – Beziehungen in Pflanzen in Abhängigkeit von Ammonium als „CULTAN“, Nitrat oder Harnstoff als verfügbare Stickstoffdünger**

K. Sommer and H. W. Scherer

INRES – Institut für Pflanzenernährung – Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Str. 13, 53115 Bonn, Germany

## **Zusammenfassung**

Entsprechend der geltenden Lehrmeinung ist Nitrat gegenüber Ammonium für Pflanzen die verträglichere und rascher wirksame N-Form bei der Mineraldüngung. Diese Lehrmeinung wurde mit der Entwicklung des „CULTAN“-Verfahrens widerlegt. Es wurde nachgewiesen, daß die bessere Verträglichkeit und raschere Wirksamkeit von Nitrat gegenüber Ammonium Eigenschaften sind, die abhängig von der Düngungstechnik sind. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, daß bei Nicht-Leguminosen zwischen Sources und Sinks, den Assimilate produzierenden und den Assimilate verbrauchenden Organen einer Pflanze in Abhängigkeit von der Art der N-Mineraldüngung spezifische Wechselwirkungen bestehen.

Bei einer N-Versorgung als Nitrat breitwürfig oder Harnstoff als Depot liegt bei den Pflanzen ein gemeinsames Source für die Synthese von Kohlenhydraten und organische N-Verbindungen in den ausgewachsenen Blättern im Sproß vor mit gemeinsamem Sink-Gefälle zum wachsenden Abschnitt des Sprosses und zu den Wurzeln.

Bei einer N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren liegen für Kohlenhydrate im Sproß und organische N-Verbindungen in den Wurzeln getrennte Sources vor. Damit verbunden sind gegenläufige Sink-Gefälle für die Kohlenhydrate vom Sproß zu den Wurzeln und für die organischen N-Verbindungen von den Wurzeln zum Sproß. Daraus ergeben sich gegenüber einer N-Versorgung als Nitrat erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Verteilung der Assimilate innerhalb einer Pflanze und des Wachstums ihrer verschiedenen Organe, wie des Sprosses oder der Wurzeln.

Aus diesen Unterschieden in der Verteilung der Assimilate in Abhängigkeit von der N-Mineraldüngung resultieren Rückwirkungen auf die Synthese von Phytohormonen und die spezifischen phytohormonellen Gleichgewichte in den Pflanzen, wodurch deren Wachstum sowie die Bildung ihrer Erträge weitgehend gesteuert werden. Sonderstellungen in den Source-/Sink-Beziehungen bestehen in Abhängigkeit von der N-Versorgung bei den Leguminosen gegenüber den Nicht-Leguminosen.

## **1. Einleitung**

In der Pflanzenproduktion werden folgende N-Formen als N-Dünger angewandt:

(1) Ammonium, (2) Nitrat oder (3) Harnstoff bzw. deren Kombinationen als (4) Ammonium x Nitrat, (5) Harnstoff x Ammoniumsulfat oder (6) Harnstoff x Ammonium x Nitrat.

Hinsichtlich der Optimierung der N-Versorgung einer Kultur werden diese N-Formen entsprechend der konventionellen Lehrmeinung nach ihrer Verträglichkeit sowie ihrer raschen oder verzögerten Wirkung diskutiert. Dabei wird seit über 50 Jahre bis in die heutige Zeit Ammonium gegenüber Nitrat als für die Pflanzen wenig verträglich und langsam in seiner Wirkung eingestuft, Kirkby and Mengel, 1967, Kafkafi, 1990, Lips et al., 1990, Wiesler, 1997, Brück and Guo, 2006.

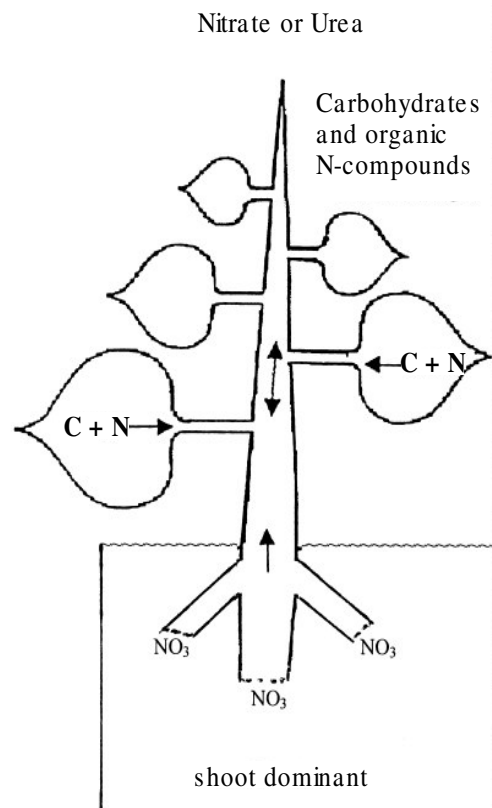
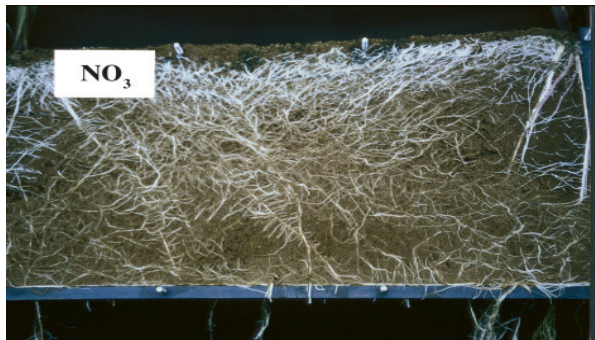
Diese Bewertungen der verschiedenen N-Formen basieren in der Regel auf Ergebnisse aus Versuchen in Wasser- und Sandkulturen sowie Feldversuchen, die hinsichtlich der N-Düngung auf die Kopfdüngung beschränkt sind. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen sind sehr subjektiv und, wie die sachgerechte Anwendung von Ammonium-Düngern nach dem „CULTAN“-Verfahren zeigt, für die Praxis absolut irrelevant. Auf der Grundlage umfassender Ergebnisse aus Gefäß- und

Feldversuchen hat Sommer wiederholt darauf hingewiesen, wie zuletzt 2000 und 2005.

Aufgrund der Nitrifikation im Boden wird entsprechend konventioneller Lehrmeinung unterstellt, daß unabhängig von den gedüngten N-Formen Ammonium, Nitrat oder Harnstoff der Stickstoff für die Pflanzen letztlich als Nitrat verfügbar wird. Es kann davon ausgegangen werden, daß bei breitflächiger Anwendung von mineralischen N-Düngern dieses der Fall ist. Dieses trifft jedoch nicht zu beim „CULTAN“-Verfahren, wo bei platzierter Düngung als Ammonium gedüngter Stickstoff auch als Ammonium verfügbar ist und als Ammonium als gut verträgliche und rasch wirksame N-Form an der Intensität des Wachstums orientiert von den Pflanzen aufgenommen und verwertet wird, Sommer, 2000, Sommer, 2005. Harnstoff oder Nitrat in Mineraldüngern als begleitende N-Formen des Ammoniums müssen bei ihrer Anwendung in Kombination mit dem „CULTAN“-Verfahren als solche von den Pflanzen aufgenommen und verwertet werden. Dieses kann für das Wachstum, die Bildung der Erträge sowie Anreicherungen von Nitrat in den Pflanzen beim Getreide, Grünland und Gemüse mit erheblichen Nachteilen verbunden sein. Gegenüber breitwürfigen Verfahren der N-Düngung mit einer N-Versorgung als Nitrat ergeben sich daraus beim „CULTAN“-Verfahren grundlegende Unterschiede in den Source / Sink-Beziehungen der Pflanzen. Dieses trifft nicht nur für die organische Masse synthetisierenden und die organische Masse speichernden Organe einer Pflanze zu, sondern auch für das Verhalten der Pflanzen im Wachstum, ihre phytohormonelle Steuerung sowie die Bildung der Erträge und ihre Resistenz gegen Pilzkrankheiten. Diese Unterschiede werden in ihren Grundzügen aufgezeigt und erläutert.

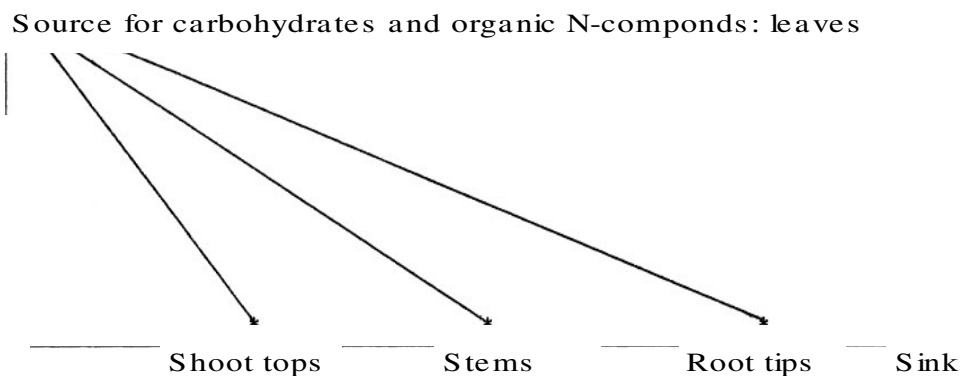
## **2. Source / Sink-Beziehungen entsprechend der geltenden Lehrmeinung**

Die konventionelle Lehrmeinung zum Stoffwechsel der Assimilate in Pflanzen und den Source / Sink-Beziehungen zwischen den organische Masse synthetisierenden und den organische Masse verbrauchenden Organen einer Pflanze wurde von Marschner, 1995, umfassend recherchiert und eingehend erläutert. Diese Lehrmeinung geht davon aus, daß bei einer N-Versorgung der Pflanzen als Nitrat, wie dieses bei konventionellen Verfahren der N-Düngung zu landwirtschaftlichen Kulturen der Fall ist, die Assimilation von CO<sub>2</sub> als Beginn des Stoffwechsels der Kohlenhydrate und die Reduktion des Nitrats als Beginn des Stoffwechsels der organischen N-Verbindungen vorrangig in den ausgewachsenen Blättern einer Pflanze lokalisiert sind. Marschner (1995) weist darauf hin, daß wesentliche Anteile des aufgenommenen Nitrats von den Pflanzen bereits in den Wurzeln reduziert werden können. Dieses trifft jedoch vorrangig für Pflanzen zu, die im latenten N-Mangel heranwachsen. Das ist bei landwirtschaftlichen Kulturen nicht der Fall. Somit ist davon auszugehen, daß bei konventioneller N-Düngung und einer N-Versorgung als Nitrat die ausgewachsenen Blätter als Zentrum der Photosynthese das Source der Pflanzen sind. Dieses Source ist getrennt von den Sinks, den Assimilate verbrauchenden Organen der Pflanzen. Zu diesen gehören das Wachstum der Triebe, Stengel und Wurzeln sowie die Speicherung von Assimilaten in Körnern, Knollen, Rüben oder Früchten etc. Der Transport der Assimilate vom Source zu den verschiedenen Sinks erfolgt entsprechend der Druckstrom-Theorie von Münch, 1930, bei den Kohlenhydraten als Saccharose und bei den organischen N-Verbindungen als Aminosäuren und Amide parallel im Phloemstrom, Abb.: 1 .



**Abb.: 1 Wurzelsysteme und Source / Sink-Beziehungen in Pflanzen bei einer N-Versorgung als Nitrat oder Harnstoff als Depots**

Zwischen den Kohlenhydrate und organische N-Verbindungen synthetisierenden Zentren der ausgewachsenen Blätter des Sprosses, dem Source, und den Kohlenhydrate und organische N-Verbindungen verbrauchenden Zentren als Sproß-, Stengel- und das Wachstum der Wurzeln einschließlich der Speicherung von Assimilaten in Körnern, Knollen, Rüben oder Früchten als Sinks besteht ein gerichtetes Source / Sink-Gefälle und eine Hierarchie zwischen den Sinks entsprechend ihrer Folge im Strom der Assimilate und ihrer Sink-Intensität , Abb.: 2 .



**Abb.: 2 Source / Sink-Gefälle der Assimilate und Hierarchie der Sinks bei Pflanzen bei einer N-Versorgung als Nitrat oder Harnstoff als Depots**

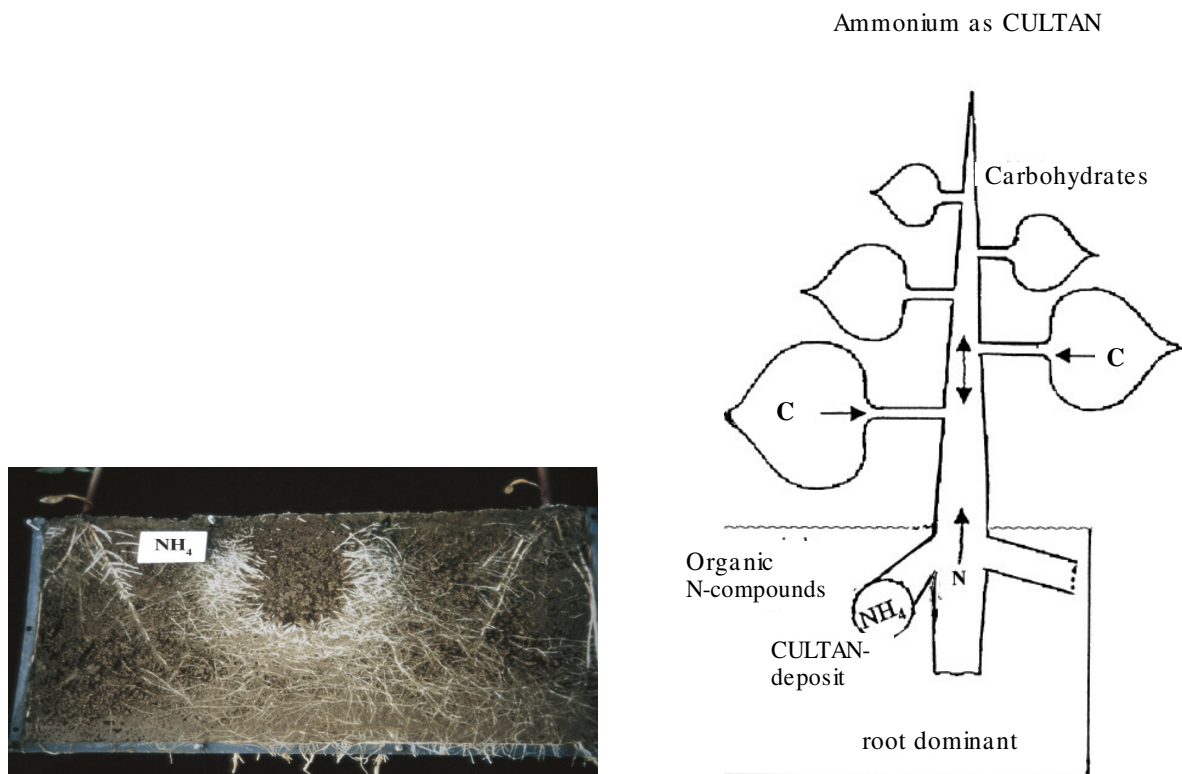
Die Intensität des Transports der Assimilate vom Source zu den Sinks hängt nach Marschner, 1995, wesentlich von der in den Pflanzen hormonell gesteuerten Geschwindigkeit der Be- und Entladung des Phloemstroms mit Assimilaten ab. Hormonelle Defizite bei der Regulation des Wachstums der Pflanzen sind zum Teil in Unzulänglichkeiten bei der N-Versorgung in der Höhe der N-Gaben und der Art ihrer Verteilung, den Verlauf ihrer Wirkung und der Höhe ihres Wirkungsgrades oder im nicht vorhersehbaren Verlauf der Witterung begründet. Diese nicht kontrollierbaren Faktoren werden soweit möglich durch korrigierende Spritzungen mit entsprechenden Wirkstoffen ausgeglichen, wie z.B. beim Getreide die Verkürzung und damit verbunden die Stabilisierung der Halme durch CCC etc. .

Die Hierarchie der Sinks in ihrer Beziehung zum Source, wie z.B. die Versorgung des Sprosses mit Assimilaten im Verhältnis zu den Wurzeln, begleitet von Verschiebungen phytohormoneller Gleichgewichte in den Pflanzen entsprechend der bevorzugten Synthese verschiedener Phytohormone in bestimmten Zentren des Wachstums der Pflanzen, finden in Diskussionen der konventionellen Lehrmeinung keine Resonanz. Dieses ist darin begründet, daß die bestehende Hierarchie als von der Natur gegeben betrachtet wird. Entsprechendes gilt auch für die wechselseitigen Beziehungen zwischen dem Source und den Sinks. Nicht nur die Kapazitäten der Sinks einer Pflanze sondern auch die Intensität ihrer Attraktion von Assimilaten müssen dem Potential ihres Source mindestens entsprechen bzw. es möglichst übertreffen, um das Potential des Ertrages einer Pflanze voll ausschöpfen zu können. Verluste an Assimilaten durch unproduktive Atmung bzw. die Hemmung der Photosynthese durch den Stau von Assimilaten in den Blättern in Abhängigkeit vom Verlauf der Witterung sind dafür bekannte Beispiele, Marschner, 1995.

### **3. Source / Sink-Beziehungen innerhalb des „CULTAN“-Systems**

Grundlage des „CULTAN“-Verfahrens ist die Umstellung der N-Versorgung der Pflanzen vom sogn. gut verträglichen Nitrat auf das sogn. stark phytotoxische Ammonium. Um dieses zu ermöglichen, wird Ammonium in weiträumigen Abständen als linien- oder punktförmige Depots in den Wurzelbereich der Pflanzen eingebracht. Unter diesen Voraussetzungen ist Ammonium im

Boden eine absolut stabile N-Quelle, die keinen N-Verlusten durch Auswaschung oder Denitrifikation unterliegt. Gleichzeitig ist Ammonium für Pflanzen so eine gut verträgliche N-Quelle, die von ihnen mit den Wurzeln aktiv erwachsen und entsprechend der Intensität des Wachstums mit hohem Wirkungsgrad von über 90 % kontrolliert aufgenommen und assimiliert wird, Abb.: 3 .



**Abb.: 3 Wurzelsysteme und Source / Sink-Beziehungen in Pflanzen bei einer N-Versorgung als „CULTAN“**

Die Phytotoxizität des Ammoniums, die entsprechend geltender Lehrmeinung negativ bewertet wird, ist für eine am Wachstum einer Pflanze orientierte N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren eine notwendige Voraussetzung. Dieses beinhaltet der Begriff „CULTAN“:

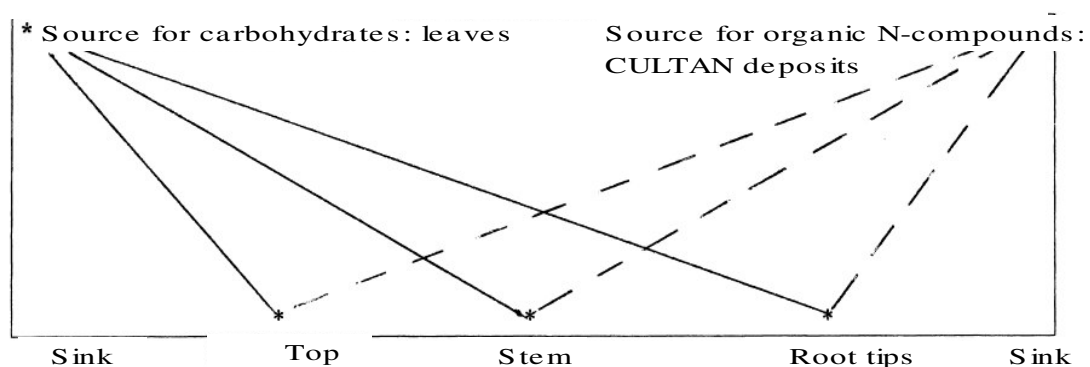
**„Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition“**

eine an der Intensität des Wachstums orientierte langfristige Ernährung der Pflanzen mit Stickstoff als Ammonium.

Die intensive Bewurzelung der Grenzbereiche der Ammonium-Depots ist darin begründet, daß Ammonium unter diesen Voraussetzungen nur dann von den Pflanzen aufgenommen werden kann, wenn die betreffenden Spitzen der Wurzeln als Sinks vom Sproß als Source ausreichend mit

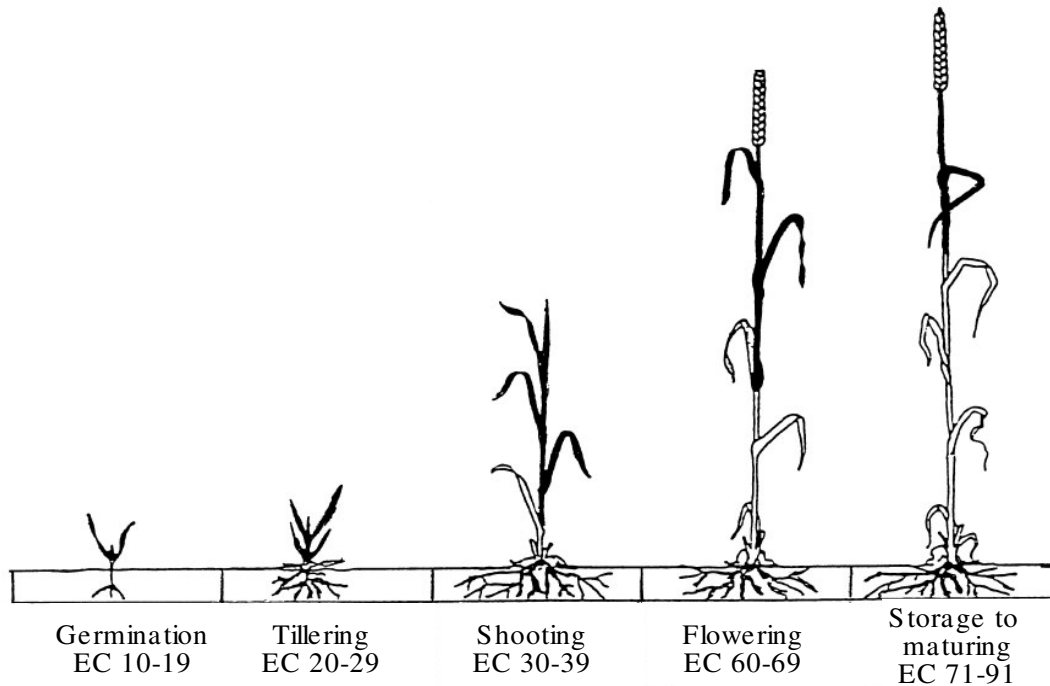
Kohlenhydraten versorgt werden, um das Ammonium direkt in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernehmen zu können. Damit verfügen sie im Stoffwechsel vor allen übrigen Organen über ausreichend Kohlenhydrate und organische N-Verbindungen, um heterotrophes Wachstum vollziehen und sich gegenüber dem Sproß bevorzugt entwickeln zu können.

Im Rahmen dieser Abhandlung ist wesentlich, daß Pflanzen bei einer N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren nicht wie bei konventioneller N-Düngung über ein gemeinsames Source für Kohlenhydrate und organische N-Verbindungen in den ausgewachsenen Blättern verfügen, sondern über zwei, getrennt nach 1.) dem Source für Kohlenhydrate im Bereich der ausgewachsenen Blätter des Sprosses und 2.) dem Source für organische N-Verbindungen in den Spitzen der Wurzeln im Grenzbereich der „CULTAN“-Depots. Daraus resultiert, daß unter diesen Voraussetzungen die Ströme der Assimilate von Kohlenhydraten und organischen N-Verbindungen nicht mehr wie bei konventioneller N-Versorgung in den Pflanzen parallel verlaufen, siehe Abb.: 2, sondern einander entgegengesetzt, Abb.: 4. Inwieweit unter diesen Voraussetzungen der Transport von Assimilaten in den Pflanzen noch nach der Druckstrom-Theorie von Münch (1930) erklärt werden kann, bedarf einer Überprüfung. Darüber hinaus scheint es notwendig, die Hierarchie der Sinks in ihren Beziehungen zu den Sources und den Rückwirkungen auf das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen bei einer N-Versorgung als Ammonium nach dem „CULTAN“-Verfahren, Abb.: 4, gegenüber einer N-Versorgung als Nitrat bei konventionellen Verfahren der Düngung, Abb.: 2, neu zu bewerten.



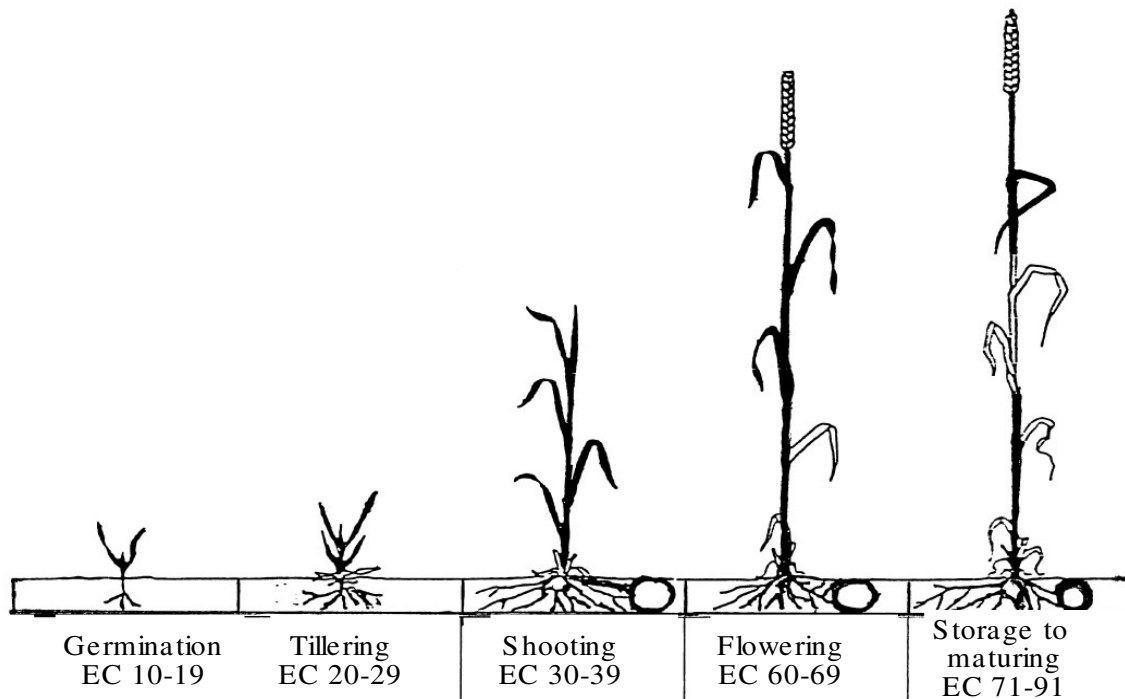
**Abb.: 4 Source / Sink-Gefälle der Assimilate und Hierarchie der Sinks bei Pflanzen bei einer N-Versorgung als „CULTAN“**

Bei der konventionellen N-Versorgung als Nitrat entspricht die Hierarchie vom Source zu den Sinks einer Pflanze dem Schema: Sproß > Stengel > Wurzeln. Durch die Verlagerung von organischen N-Verbindungen in nachwachsende Organe des Sprosses ist diese Hierarchie beim Getreide und Gräsern mit einer relativ frühen physiologischen Alterung der Basis der Stengel sowie der Wurzeln und einer kurzen Reifezeit der Ähren verbunden, Abb.: 5.



**Abb.: 5 Speicherung und Translokation von Assimilaten in Halmen von Getreide in den verschiedenen Stadien des Wachstum bei einer N-Versorgung als Nitrat, Bracht, 1998**

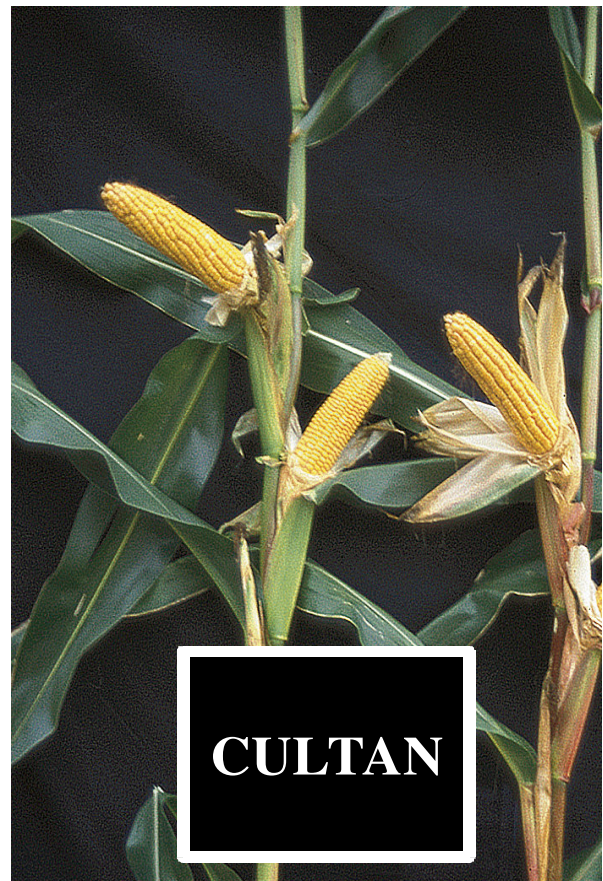
Beim „CULTAN“-Verfahren kann diese Hierarchie vom Source zu den Sinks von mit Nitrat versorgten Pflanzen nur auf den Stoffwechsel der Kohlenhydrate übertragen werden, nicht jedoch auf den Stoffwechsel der organischen N-Verbindungen. Hier verläuft die Hierarchie vom Source zu den Sinks von: den Spitzen der Wurzeln im Grenzbereich der „CULTAN“-Depots > den Wurzeln allgemein > den Stengeln > den Sproß jener der Kohlenhydrate entgegengesetzt, Abb.: . Bei den Halmfrüchten sind diese gegenläufigen Hierarchien von Sources und Sinks bei den Kohlenhydraten gegenüber den organischen N-Verbindungen im Vergleich zu einer N-Versorgung als Nitrat mit einer deutlichen Verzögerung der sekundären Verlagerung der organischen N-Verbindungen aus den älteren in nachwachsende Organe des Sprosses verbunden. Diese wird begleitet von einer verzögerten physiologischen Alterung der Basis der Halme und der Wurzeln, die in eine verlängerte Reifezeit der Ähren resultiert, Abb.: 6.



**Abb.: 6 Speicherung und Translokation von Assimilaten in Halmen von Getreide in den verschiedenen Stadien des Wachstum bei einer N-Versorgung als „CULTAN“, Bracht, 1998**

Begründet sein kann diese reduzierte sekundäre Verlagerung der organischen N-Verbindungen zunächst darin, daß beim „CULTAN“ die Reduktion des Nitrats in den ausgewachsenen Blättern als stimulierender Prozeß für die sekundäre Verlagerung organischer N-Verbindungen fehlt. Darüber hinaus fehlt aufgrund der Auslastung des Phloems durch den kontinuierlichen Transport organischer N-Verbindungen von den Wurzeln in Richtung der Spitze des Sprosses das für die sekundäre Verlagerung organischer N-Verbindungen erforderliche Sink-Gefälle. Schließlich tritt in der Phase der Bildung der Körner und der Reife eine Trennung der sekundären Verlagerung der in den Halmen gespeicherten Assimilate im oberen Teil zur Ähre und im unteren Teil zu den Wurzeln ein.

Dieses alles bedeutet, daß bei einer N-Versorgung als „CULTAN“ die Dominanz des Sprosses als Sink gegenüber den Stengel und die Wurzeln bei konventioneller N-Versorgung als Nitrat gebrochen ist und durch eine Dominanz der Wurzeln gegenüber dem Stengel und dem Sproß ersetzt wird. Unter diesen Voraussetzungen verläuft der Transport der Assimilate der Kohlenhydrate vom Sproß zu den Wurzeln dem Transport der Assimilate der organischen N-Verbindungen von den Wurzeln zum Sproß entgegengesetzt. Beide, die Kohlenhydrate und die organischen N-Verbindungen sind für heterotrophes Wachstum essentiell. Sie sind nicht nur die Voraussetzung für eine harmonische Entwicklung der Pflanzen und die Bildung hoher Erträge sondern auch die Grundlage für eine erhöhte Resistenz gegenüber verschiedene Pilzkrankheiten, wie sie z.B. beim Getreide insbesondere gegenüber deutlich erhöhter Resistenz beim Halmbruch beobachtet wird. Bestätigt wird diese Verschiebung von Source / Sink-Beziehungen bei einer N-Versorgung als „CULTAN“ gegenüber Nitrat besonders beim Mais. Hier kann bei einer N-Versorgung als „CULTAN“ gegenüber Nitrat das Wachstum der Wurzeln deutlich gefördert und bei ausreichender Sonneneinstrahlung leicht ein zweiter Kolben zur Entwicklung gebracht werden, Abb.: 7.



**Abb.: 7 Anlage des zweiten Kolbens beim Mais abhängig von der N-Versorgung als Nitrat oder „CULTAN“**

#### **4. Regulation von Wachstum und Ertragsbildung durch Phytohormone**

Entsprechend geltender Lehrmeinung werden das Wachstum, die Entwicklung und der Stoffwechsel der Pflanzen durch Signalwirkungen folgender Phytohormone gesteuert: Cytokinine (Cyt), Gibberelline (GA), Auxine (AUX; e.g. IAA) und Abszissine (ABA). Die Organe der Pflanzen, in denen diese Phytohormone bevorzugt synthetisiert werden, ihr Transport in den Pflanzen sowie die Art ihrer Wirkung sind in der Tab.: 1 nach Marschner (1995) aufgelistet.

**Tab.: 1 Bedeutende Stellen der Biosynthese und bedeutende Effekte von Phytohormonen, Marschner, 1995**

**Cytokinine (CYT)**

**Biosynthese:** In Meristemen (Wachstumszonen) der Wurzeln

**Vorrangiger Langstreckentransport:** Xylemtransport von den Wurzeln zum Sproß

**Effekte:** Zellteilung und Ausdehnung; Stimulation der RNA und Proteinsynthese; Verzögerung des Abbaus von Proteinen und der Alterung; Förderung der apikalen Dominanz

**Substitute:** Benzyladenin

**Gibberelline (GA)**

**Biosynthese:** Ausdehnung der Blätter und der Spitze des Sprosses

**Effekte:** **Ausdehnung der Zellen;** Brechung der Dormanz von Knospen; Induktion von Blüten

**Antagonisten / Hemmer:** CCC, Triazole und andere synthetische Verbindungen

**Auxins (AUX; e.g. IAA)**

**Biosynthese:** In Meristemen (Wachstumszonen) der Sprosse oder junger sich ausdehnender Gewebe

**Vorrangiger Langstreckentransport:** Basipetal von Zelle zu Zelle

**Effekte:** Ausdehnung und Teilung der Zellen; Förderung der apikalen Dominanz; Induzierung und Aktivierung von Enzymen

**Antagonisten / Hemmer:** ABA, TIBA, NAA und andere synthetische Verbindungen

**Abszissinsäure (ABA)**

**Biosynthese:** In ausgewachsenem Gewebe von Sproß und Wurzeln

**Effekte:** Verhindert die Ausdehnung der Zellen im Gewebe der Sprosse; veranlaßt die Schließung der Stomata; fördert die Durchlässigkeit von Zellmembranen

**Antagonisten / Hemmer:** IAA; CYT; GA und andere synthetische Verbindungen

Entsprechend dem Stand der Forschung werden nach Marschner, 1995, die Gibberelline und Auxine als Phytohormone der Zellstreckung bevorzugt im Sproß und die Cytokinine als Phytohormone der Zellteilung bevorzugt in den Meristemen der Wurzeln synthetisiert. Die Prinzipien der phytohormonellen Steuerung des Wachstums und der Entwicklung einer Pflanze sind genetisch manifestiert. Der Umfang der Synthese dieser Phytohormone ist jedoch nicht im Stoffwechsel der Pflanzen entsprechend ihrer genetischen Prägung manifestiert. Er ist ein vom Wachstum betreffender Organe einer Pflanze abhängiger Prozeß, in denen die entsprechenden Phytohormone bevorzugt synthetisiert werden. Dieses bedeutet, daß die Intensität der Signalwirkung eines Phytohormons, das heißt seine Ausprägung auf das Wachstum und die Entwicklung einer Pflanze von seiner Konzentration im Verhältnis zu den übrigen Phytohormonen abhängt. Aus diesem Grunde sind für das Wachstum und die Entwicklung einer Pflanze letztlich die Gleichgewichte zwischen den Phytohormonen entscheidend. Diese hängen ihrerseits vom Wachstum und der Entwicklung der Organe ihrer Synthese in den Pflanzen ab, was insbesondere für das Verhältnis von den Auxinen und Gibberellinen zu den Cytokininen von Bedeutung ist. Damit hängt die Ausprägung der phytohormonellen Steuerung auf das Wachstum und die Bildung der Erträge bei den Pflanzen wesentlich von den N-Formen bei den N-Mineraldüngern und der Art ihrer Applikation ab. Sie beeinflussen bei den Pflanzen das Wachstum der Sprosse oder Wurzeln und damit die Synthese von Phytohormonen spezifisch, Tab.: 2 .

**Tab.: 2 Synthese von Phytohormonen bei Getreide in Abhängigkeit von den in Mineraldüngern verfügbaren N-Formen und der Art ihrer Applikation**

1. Nitrat im Boden oder als Kopfdüngung verabreicht fördert beim Getreide spezifisch das Wachstum der Sprosse gegenüber den Wurzeln. Aus diesem Grunde fördert Nitrat die Dominanz der Synthese von Auxinen und Gibberellinen gegenüber den Cytokininen, sogn. „sproßdominantes Wachstum II. Ordnung“, Abb.: 8 .
2. Harnstoff in Depots im Boden oder als Blattdünger verabreicht fördert, da er in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernommen werden muß, beim Getreide das Wachstum der Sprosse gegenüber den Wurzeln spezifisch stärker als Nitrat. Aus diesem Grunde fördert Harnstoff die Dominanz der Synthese von Auxinen und Gibberellinen gegenüber den Cytokininen stärker als Nitrat, sogn. „sproßdominantes Wachstum I. Ordnung“.
3. Ammonium als „CULTAN“ im Boden verabreicht fördert beim Getreide spezifisch das Wachstum der Wurzeln gegenüber den Sprossen. Aus diesem Grunde fördert Ammonium als „CULTAN“ die Dominanz der Synthese von Cytokininen gegenüber den Auxinen und Gibberellinen, sogn. „wurzeldominantes Wachstum“, Abb.: 8, siehe auch: Knittl und Mannheim, 2002.



**Abb.: 8 Förderung des Wachstums von Sproß und Wurzeln beim Mais in Abhängigkeit von der verfügbaren N-Form Ammonium als „CULTAN“ oder Nitrat**

Zwischen Sproß und Wurzeln einer Getreidepflanze und den in ihnen synthetisierten Phytohormonen, den Gibberellinen und Auxinen im Sproß sowie den Cytokinen in den Spitzen der Wurzeln bestehen Wechselwirkungen. Diese verändern sich beim Getreide vom vegetativen zum generativen Wachstum entsprechend dem Stand seiner Entwicklung. Daraus resultiert, daß eine ausgeglichene phytohormonelle Steuerung des Wachstums beim Getreide mit einer N-Versorgung als Nitrat in Teilgaben oder Harnstoff in Depots bzw. als Blattdüngung nicht erreicht werden kann, weil beide N-Formen vom Getreide nicht kontrolliert aufgenommen und verwertet werden können. Dieses ist nur bei einer von den Pflanzen selbst kontrollierten N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren Fall. Aufgrund eines N-Angebots „ad libitum“ über die Wurzel gewährleistet die „CULTAN“-Düngung eine ausgeglichene N-Versorgung der gesamten Pflanze und ihres gesamten Wachstums sowie ausgewogene phytohormonelle Gleichgewichte im Stoffwechsel, welche während des Wachstums dem jeweiligen Stand der Entwicklung entsprechen, Abb.: 9.



**Abb.: 9** Wachstum und Entwicklung bei W-Gerste in Gefäßversuchen in Abhängigkeit von den verfügbaren N-Formen Nitrat oder Ammonium und den Terminen der N-Düngung, Sommer und Six, 1982

**Tab.: 3** Erträge bei W-Gerste in Gefäßversuchen in Abhängigkeit von den verfügbaren N-Formen als Nitrat oder Ammonium und den Terminen der N-Düngung, Sommer und Six, 1982

N-Form	Termin der Düngung	Erträge in g/Gefäß				Ähren pro Gefäß	Körner in g/Ähre	Halme in cm
		Körner	s <sub>x</sub>	Stroh	s <sub>x</sub>			
NO <sub>3</sub>	04. 02. 75	89,9	2,6	105,9	3,0	80	1,12	95
NH <sub>4</sub> - C*		97,3	4,6	99,2	3,4	76	1,28	90
NO <sub>3</sub>	03. 04. 75	93,3	1,0	98,1	3,8	72	1,30	90
NH <sub>4</sub> - C**		102,4	1,2	98,2	3,4	73	1,40	88

C\* = „CULTAN“ bei vollem Wuchs / C\*\* = „CULTAN“ bei latentem N-Mangel



**Abb.: 10 Wachstum und Entwicklung bei W-Gerste in Feldversuchen in Abhängigkeit von der verfügbaren N-Form als Nitrat oder Ammonium und dem Termin der N-Düngung, Sommer und Six, 1982**

In der Praxis wird diese Auffassung bei konventionellen Verfahren der N-Düngung mit der Regulation des Wachstums des Getreides durch geteilte Gaben bestätigt. Diese Teilung geschieht letztlich aus dem Grunde, um durch periodisch latenten N-Mangel das Längenwachstum der Halme und damit die Synthese von Auxinen und Gibberellinen zu einzuschränken. Gleichzeitig wird das Wachstum der Wurzeln gegenüber dem Sproß begünstigt und dadurch die Synthese von Cytokininen gegenüber den Auxinen und Gibberellinen relativ angehoben. Da beim Getreide das Wachstum der Halme bei konventioneller N-Düngung auf diese Weise nicht ausreichend reguliert werden kann, werden zur Verkürzung der Halme ergänzend Regulatoren des Wachstums gespritzt. Ungeachtet dessen, daß es sich bei diesen Spritzungen beim Getreide nur um zeitlich begrenzte Korrekturen der hormonellen Gleichgewichte in den Halmen im Verlauf ihres Wachstums handelt, sind diese Maßnahmen bei einer N-Düngung nach dem „CULTAN“-Verfahren nicht erforderlich oder sogar kontraproduktiv, weil sie unter diesen Voraussetzungen Verkürzungen der Halme übersteuern können, begleitet von Einbußen bei den Erträgen, Roperia, 1998.

Phytohormonelle Steuerungen des Wachstums sowie der Bildung der Erträge sind beim Getreide nicht nur äußerst komplexe, sondern wie das Wachstum selbst auch kontinuierliche Vorgänge, abhängig von der richtigen Intensität zur rechten Zeit entsprechend dem Stadium der Entwicklung der Pflanzen und dem Verlauf der Witterung. Derart komplexe Vorgänge wie phytohormonelle Steuerungen des Wachstums und der Entwicklung beim Getreide, beeinflußt durch den Standort, die Art und Sorte des Getreides, die Nachlieferung von  $\text{NO}_3\text{-N}$  vom Boden, den Verlauf der Witterung etc., können nicht durch periodische Spritzungen der Blätter sondern nur über den Stoffwechsel der Pflanzen selbst bei einer N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren optimiert werden, wie die Strukturen der Erträge bei W-Weizen in der Tab.: 4 zeigen.

**Tab.: 4 Größe der Fahnenblätter und die Stabilität des Niveaus der Erträge bei W-Weizen in Feldversuchen in Abhängigkeit von den gedüngten N-Formen, der Höhe der N-Gaben und den Terminen der N-Düngung, Sommer und Rossig, 1978**

N-Düngung			Körner		Fahnenblätter
N-Form	kg N/ha	Termine	dt/ha	TKG in g	Länge in cm
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	150	3 x 50	85,7	47,6	17,1
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	200	4 x 50	81,1	43,3	18,9
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	250	5 x 50	75,6	41,3	19,0
NH <sub>4</sub> -C*	150	22. 03. 1974	83,3	42,0	21,2
NH <sub>4</sub> -C*	200	22. 03. 1974	78,1	39,3	21,4
NH <sub>4</sub> -C*	250	22. 03. 1974	74,7	39,7	21,3
NH <sub>4</sub> -C**	150	11. 04. 1974	85,3	42,7	21,3
NH <sub>4</sub> -C**	200	11. 04. 1974	84,2	41,2	23,9
NH <sub>4</sub> -C**	250	11. 04. 1974	84,2	42,7	23,7
Urea-Depot	150	22. 03. 1974	80,0	41,7	19,7
Urea-Depot	200	22. 03. 1974	73,0	35,7	21,9
Urea-Depot	250	22. 03. 1974	67,4	36,4	20,4
GD = 5%			3,1	3,7	3,5

C\* = „CULTAN“ bei vollem Wuchs / C\*\* = „CULTAN“ bei latentem N-Mangel

### 5. Regeln der phytohormonellen Regulation des Pflanzenwachstums

Entsprechend der vorliegenden Literatur wird das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen phytohormonell gesteuert. Diese Feststellung ist als Lehrmeinung allgemein anerkannt, Michael and Beringer, 1980, Davies, 1990. Gleichzeitig wird über die Gesetzmäßigkeiten dieser phytohormonellen Steuerungen in Abhängigkeit vom Stoffwechsel der Assimilate in den Pflanzen und der mineralischen N-Düngung kaum berichtet. Dieses ist der Fall, obwohl beide das Verhalten der Pflanzen bezüglich des Wachstums von Sproß und Wurzeln und damit auch den Umfang der Synthese von Phytohormonen spezifisch beeinflussen, verbunden mit wesentlichen Rückwirkungen auf die Source-/Sink-Beziehungen im Stoffwechsel der Assimilate in Abhängigkeit von der N-Mineraldüngung. Begründet ist dieses Verhalten seitens der Forschung offensichtlich in der Unterstellung, daß aufgrund von Nitrifikationsprozessen im Boden letztlich das Nitrat die für Pflanzen verfügbare N-Form ist. Bei neuzeitlichen Entwicklungen in der N-Mineraldüngung ist dieses jedoch nicht mehr der Fall.

Eigene Untersuchungen mit den in der Mineraldüngung bedeutendsten N-Formen: Ammonium, Nitrat und Harnstoff sowie deren Mischungen haben gezeigt, daß das Sproß- und Wurzelwachstum beim Getreide und damit auch seine phytohormonelle Steuerung durch Nitrat und Harnstoff als verfügbare N-Formen tendenziell negativ, durch Ammonium tendenziell positiv beeinflusst wird. Grundsätzlich wurde festgestellt, daß Nitrat und Harnstoff das Wachstum der Sprosse gegenüber dem Wachstum der Wurzelsysteme spezifisch fördern. Dadurch werden die phytohormonellen Gleichgewichte zu Gunsten der Auxine und Gibberelline gegenüber den Kinetinen verschoben und die Pflanzen in ihrem Wachstum „sproßdominant“ geprägt. Umgekehrt wird durch Ammonium das Wachstum der Wurzelsysteme gegenüber dem Wachstum der Sprosse spezifisch gefördert. Dadurch werden die phytohormonellen Gleichgewichte zu Gunsten der Kinetine gegenüber den Auxinen und Gibberellinen verschoben und die Pflanzen in ihrem Wachstum „wurzeldominant“ geprägt, Sommer, 2005.

Neben diesen einfachen N-Formen in Mineraldüngern bestehen in der Pflanzenproduktion jedoch Wechselwirkungen zwischen diesen N-Formen und dem Wachstum der Pflanzen. Diese Wechselwirkungen sind abhängig davon, ob verschiedene N-Formen als Mineraldünger gleichzeitig oder nach einander angewandt und als solche von den Pflanzen in den Stoffwechsel aufgenommen werden. Am Beispiel des Getreides, wo diese Faktoren für seine Entwicklung von besonderer Bedeutung sind, werden diese Wechselwirkungen erläutert in den Tab.: 5 u. 5a.

**Tab.: 5 Wechselwirkungen zwischen den N-Formen: Ammonium, Nitrat und Harnstoff als Mineraldünger und „sproß- / wurzeldominanter“ Prägung des Wachstums beim Getreide**

1. Keimendes Getreide ist im Wachstum „wurzeldominant“ geprägt. Dieses ist darin begründet, daß sich erst nach den Keimwurzeln die Sprosse entwickeln. Während des weiteren Wachstums bleibt dieses Getreide so lange „wurzeldominant“ geprägt, wie es seinen N-Bedarf als Ammonium deckt. Das ist bei Sommergetreide dann der Fall, wenn die „CULTAN“-Düngung zur Saat ausgebracht wird. Deckt junges Getreide seinen N-Bedarf aus der N-Nachlieferung des Bodens als Nitrat, was bei der Aussaat von Wintergetreide im Herbst der Fall ist, dann wechselt sein Habitus von „wurzeldominantem“ zu „sproßdominantem“ Wachstum.

2. „Wurzeldominant“ geprägtes Getreide wird durch Nitrat nur dann in „sproßdominantes“ Wachstum überführt, wenn Ammonium als N-Quelle erschöpft ist. Wenn beide N-Formen vom Getreide gleichzeitig aufgenommen werden, dann wird Ammonium gegenüber Nitrat bevorzugt in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernommen. Die „wurzeldominante“ Prägung des Getreides im Wachstum bleibt erhalten. Ungeachtet dessen ist jedoch zu berücksichtigen, daß Nitrat als Osmoregulator in den Pflanzen angereichert wird. Als solches ist Nitrat ein Faktor verminderter Frost- und Dürresistenz sowie erhöhter Anfälligkeit gegenüber Krankheiten durch Pilze.

3. „Wurzeldominant“ geprägtes Getreide wird durch Harnstoff in „sproßdominantes“ Wachstum überführt. Dieses ist auch dann der Fall, wenn Harnstoff mit Ammonium den Pflanzen gleichzeitig als N-Quelle zur Verfügung steht und die Konzentration des Ammoniums nicht ausreicht, über seine Phytotoxizität die Intensität der Aufnahme des Harnstoffs zu kontrollieren. Begründet ist dieses Verhalten darin, daß Harnstoff nach seiner Aufnahme mit dem Transpirationsstrom in den Sproß der Pflanzen gelangt und dort in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernommen werden muß. Aufgrund der Erschöpfung des Stoffwechsels der Kohlenhydrate im Sproß durch die Assimilation des Harnstoffs wird die Aufnahme von Ammonium verhindert und das Wachstum der Wurzeln im Verhältnis zum Sproß relativ eingeschränkt.

**Tab.: 5a Wechselwirkungen zwischen den N-Formen: Ammonium, Nitrat und Harnstoff als Mineraldünger und „sproß- / wurzeldominanter“ Prägung des Wachstums beim Getreide**

4. „Sproßdominant“ geprägtes Getreide kann durch Ammonium als „CULTAN“ nur vor der Verstärkung seines „sproßdominanten“ Wachstums durch Nitrat geschützt werden. Die Umwandlung „sproßdominanten“ Wachstums in „wurzeldominantes“ ist beim Getreide dann möglich, wenn seine „sproßdominante“ N-Versorgung als Nitrat erschöpft ist und im Stadium seiner Bestockung bis zum Beginn des Schossens aufgrund latenten N-Mangels eine Verschiebung im Sproß-/Wurzelverhältnis zu Gunsten der Wurzeln erfolgt. Diese Verschiebung im Sproß-/Wurzelverhältnis kann zum Beginn des Schossens des Getreides im vollen Wuchs auch durch einen Schröpfungsschnitt oberhalb der Anlage der Ähren erreicht werden. Bei Dikotyledonen, wie z.B. beim W-Raps, ersetzt das Abfrieren der Blätter in der Winterzeit Schröpfungsschnitte zur Veränderung der Sproß-/Wurzelverhältnisse. In allen diesen Fällen entwickeln sich nach einer „CULTAN“-Düngung „wurzeldominante“ Pflanzen. Es entwickeln sich Pflanzen mit hoher Standfestigkeit, hoher Frost- und Dürre-resistenz, hoher Resistenz gegen Krankheiten durch Pilze und sehr guten Anlagen für Ähren bzw. Schoten.

5. „Sproßdominant“ geprägtes Getreide wird bei einer N-Versorgung als Nitrat oder Harnstoff in der „sproßdominanten“ Prägung seines Wachstums durch eine N-Düngung in Teilgaben eingeschränkt. Dieses ist darin begründet, daß in Perioden latenten N-Mangels zwischen den N-Gaben das Wachstum der Wurzeln relativ weniger leidet als jenes der Sprosse. Dadurch wird bei einer N-Düngung in Teilgaben das „sproßdominante“ Wachstum des Getreides periodisch in „wurzeldominantes“ Wachstum umgesteuert.

6. Durch Nitrat „sproßdominant“ geprägtes Wachstum beim Getreide wird durch Harnstoff verstärkt. Dieses ist darin begründet, daß Harnstoff nach seiner Aufnahme mit dem Transpirationsstrom vom Getreide im Sproß in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernommen werden muß. Gleichzeitig wird aufgrund der Auslastung des Stoffwechsels organischer N-Verbindungen die Reduktion des Nitrats eingestellt und noch vorhandenes Nitrat in den Pflanzen angereichert.

**6. Regulation von Source-/Sink-Beziehungen in Pflanzen durch das „CULTAN“-System**

Die N-Versorgung greift über den Stoffwechsel der Kohlenhydrate und der organischen N-Verbindungen sowie über die hormonelle Steuerung von Wachstum und Entwicklung in die Wechselwirkungen zwischen Sources und Sinks einer Pflanze ein. Dieses gilt ganz besonders für die N-Versorgung nach dem „CULTAN“-Verfahren, wo der Beginn der Synthese von Kohlenhydraten im Sproß vom Beginn der Synthese organischer N-Verbindungen in den Wurzeln getrennt ist, Abb.: . Ziel der Pflanzenproduktion muß es sein, diese Wechselwirkungen nach einfachen Regeln pflanzenbaulich zu berücksichtigen und auf die Optimierung der Erträge und Qualitäten hin auszurichten. Beim „CULTAN“-Verfahren gilt dieses allgemein für ein kompaktes Wachstum der Pflanzen mit relativ hohen Gehalten an Trockenmasse, hoher Dichte des Chlorophylls in den Blättern bei sehr gut entwickelten Wurzelsystemen gegenüber konventionell gedüngten. Insgesamt entwickeln sich beim „CULTAN“-Verfahren vitale Bestände bei den Pflanzen mit hoher assimilatorischer Leistung, hoher Standfestigkeit und erhöhter Resistenz gegen Dürren und Pilzbefall. Ungeachtet dessen müssen bei der „CULTAN“-Düngung den Kulturen entsprechende Regeln eingehalten werden, wenn vorhandene Potentiale der Erträge voll ausgeschöpft werden sollen. Beim Getreide stellt sich dieses wie folgt dar:

W-Weizen, der aufgrund der N-Nachlieferung vom Boden oder durch eine konventionelle Startdüngung mit Stickstoff im Herbst im Wachstum „sproßdominant“ geprägt ist, kann durch eine „CULTAN“-Düngung allein nicht in eine „wurzeldominante“ Entwicklung umgesteuert werden. Er wird sich unter diesen Voraussetzungen verhalten „sproßdominant“ weiter entwickeln. Eine Umsteuerung des W-Weizens in „wurzeldominantes“ Wachstum ist nur dann möglich, wenn er vor der „CULTAN“-Düngung im Stadium seiner Bestockung, EC 29 bis 31, in den latenten N-Mangel hineinwächst, Tab.: 3 u. 4, Abb.: 9 u. 10, oder bei üppigem Wuchs zum Beginn des Schossens, EC 31, durch einen Schröpfschnitt oberhalb der Anlage der Ähren sein Sproß-/Wurzelverhältnis zu Gunsten der Wurzeln verändert wird, Viehausen, 1983. Beim S-Weizen, bei dem die „CULTAN“-Düngung zur Saat erfolgen soll, ist aufgrund der Priorität seiner N-Assimilation als Ammonium gegenüber Vorräten an Nitrat im Boden unter diesen Voraussetzungen in jedem Fall seine „wurzeldominante“ Entwicklung gewährleistet. Dieses ist für Standorte kalter Klimate von besonderem Interesse. Sommer, 2005.

In den Tab.: 6 u. 6a sind zur fachgerechten Anwendung der „CULTAN“-Düngung für bedeutende landwirtschaftliche Kulturen typische Beispiele aufgeführt.

**Tab.: 6 Optimierung der „CULTAN“-Düngung bei verschiedenen Kulturen und deren Zielsetzung**

**Getreide**

1. **Anwendung:** Die „CULTAN“-Düngung erfolgt beim Sommergetreide zur Saat und beim Wintergetreide im späten Frühjahr bei latentem N-Mangel im Stadium EC 29 - 31 als Punktinjektion entsprechend der Feuchtigkeit der Standorte ca. 5,0 bis 10 cm tief in den Boden.
2. **Zielsetzung:** Durch ein relativ gut entwickeltes Wurzelsystem im Verhältnis zum Sproß soll die Synthese von Kinetin und damit die Entwicklung der Primordien optimiert werden. Zur Erhöhung der Standfestigkeit wird neben einer Verkürzung der Halme ein deutlich reduzierter Befall mit Halmbruch erwartet. Bis zur Blüte soll eine Speicherung von Assimilaten im gesamten Halm erreicht werden. Dieses zu ihrer direkten Translokation in den Ähren und zur längeren Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Wurzeln.

**Mais**

1. **Anwendung:** Nach einer DAP-Unterfußdüngung zur Saat erfolgt die „CULTAN“-Düngung mit dem Beginn der Entwicklung des dritten Blattes in jeder zweiten Zwischenreihe.
2. **Zielsetzung:** Die Dominanz des obersten Kolbens bei der Speicherung von Assimilaten soll gebrochen und dadurch der zweite Kolben voll zur Entwicklung gebracht werden. Durch die bessere Ausnutzung des Potentials der Erträge der einzelnen Pflanzen sollen hohe Erträge mit weniger Pflanzen pro Fläche bei geringerem Verbrauch an Wasser erzielt werden.

**Raps**

1. **Anwendung:** Damit sich der Raps gut entwickelt, erhält er bereits zur Aussaat im Spätsommer eine mineralische N-Düngung. Bei im Herbst vegetativ überwachsenem Raps sollen während der Winterruhe seine Blätter oberhalb der Vegetationskegel abgeschleget werden. Die „CULTAN“-Düngung erfolgt im zeitigen Frühjahr in jeder zweiten Zwischenreihe 5 bis 10 cm tief in den Boden.
2. **Zielsetzung:** Es sollen sich kompakte, vitale Pflanzen mit hoher Schotendichte entwickeln.

**Tab.: 6a Optimierung der „CULTAN“-Düngung bei verschiedenen Kulturen und deren Zielsetzung**

**Kartoffeln**

1. **Anwendung:** Die „CULTAN“-Düngung erfolgt zur Pflanzung in der Reihe je nach Bodenart Lehm oder Sand 10 bis 15 cm unterhalb der Ablage der Pflanzkartoffeln.
2. **Zielsetzung:** Zur Optimierung des Bestandesklimas und der Dürre-resistenz soll das Wachstums der Wurzeln gefördert und jenes des Strauches gehemmt werden. Durch die Trennung des Beginns Synthese der Kohlenhydrate im Sproß vom Beginn der Synthese der organischen N-Verbindungen an der Grenzflächen der „CULTAN“-Depots soll neben einer frühen und ausgeglichenen Entwicklung der Knollen eine frühe Einlagerung von Stärke erreicht werden.

**Zuckerrüben**

1. **Anwendung:** Nach einer Bandspritzung von 40 kg N/ha als AH-Lösung erfolgt die „CULTAN“-Düngung nach der Entwicklung des dritten Blattes in jeder zweiten Zwischenreihe mindestens 15 cm tief in den Boden, in den Bereich der Verjüngung der ausgewachsenen Zuckerrübe.
2. **Zielsetzung:** Zur Optimierung des Bestandesklimas und der Dürre-resistenz soll das Wachstums der Wurzeln gefördert und jenes der Blätter starrträchtig entwickelt werden. Durch die Trennung des Beginns Synthese der Kohlenhydrate im Sproß vom Beginn der Synthese der organischen N-Verbindungen an der Grenzflächen der „CULTAN“-Depots soll neben einer frühen Entwicklung der Rübe die Einlagerung von Zucker gefördert werden.

**Gras und Grünland**

1. **Anwendung:** Die „CULTAN“-Düngung erfolgt bei jedem Umtrieb nach Beweidung bzw. nach jedem Schnitt des Grases als Punktinjektion 5 bis 10 cm tief in den Boden.
2. **Zielsetzung:** Zur Optimierung des Mikroklimas soll starrträchtiges, saftiges Gras mit sehr niedrigen Gehalten an Nitrat, hohen Gehalten an Energie und nur geringem Befall durch Pilze an der Basis vom zeitigen Frühjahr bis zum späten Herbst angezogen werden. Dabei soll ein Anteil an Klee von ca. 30 % im Bestand erreicht werden, um die Schmackhaftigkeit des Futters zu erhöhen und durch die erhöhte Aufnahme an Futter die Leistungen der Tiere zu optimieren.

**Weißkohl**

1. **Anwendung:** Nach einer DAP-Unterfußdüngung bei der Pflanzung erfolgt die „CULTAN“-Düngung, nachdem die Pflanzen gut angewachsen sind, in jeder zweiten Zwischenreihe etwa 15 cm tief in den Boden.
2. **Zielsetzung:** Es sollen kompakte, feste Köpfe hoher Qualität heranwachsen mit geringer Neigung zu inneren Verbräunungen. Darüber hinaus soll das Wachstum der äußeren Blätter gegenüber konventionellen Beständen zur Verminderung der Rückstände zur Ernte stark reduziert sein.

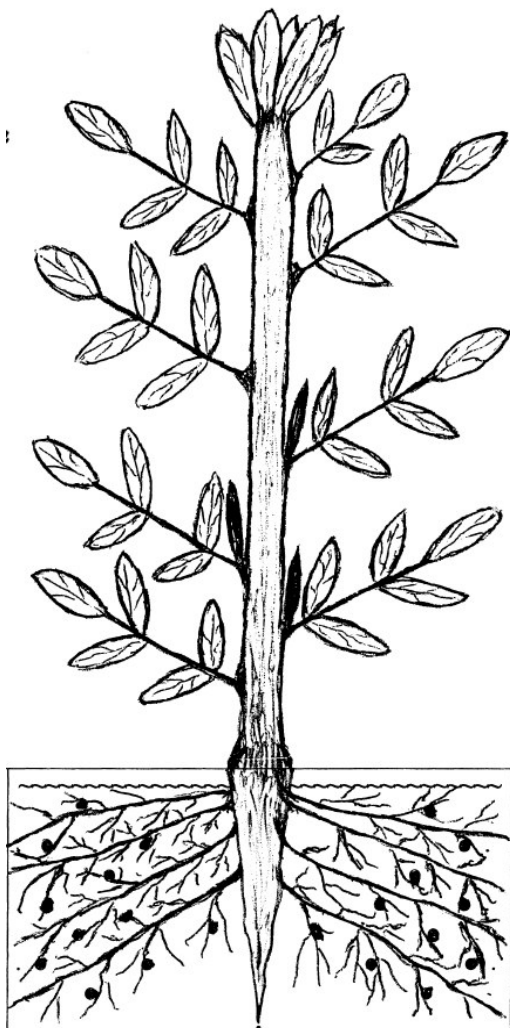
**Obstbäume**

1. **Anwendung:** Die „CULTAN“-Düngung erfolgt direkt nach der Blüte in 20 cm tiefen Dauer-Depots in jedem zweiten Zwischenraum in den Reihen der Bäume
2. **Zielsetzung:** Durch die spezifische Förderung des Wachstums der Wurzeln und der Stämme sollen gesunde Bestände mit guter Resistenz gegen Dürren angezogen werden. Bei den Früchten sollen in Verbindung mit der Düngung von Gips die Probleme der Stippigkeit erheblich entschärft werden. Darüber hinaus wird versucht, bei den Bäumen die Alternanz bei den Erträgen zu überwinden.

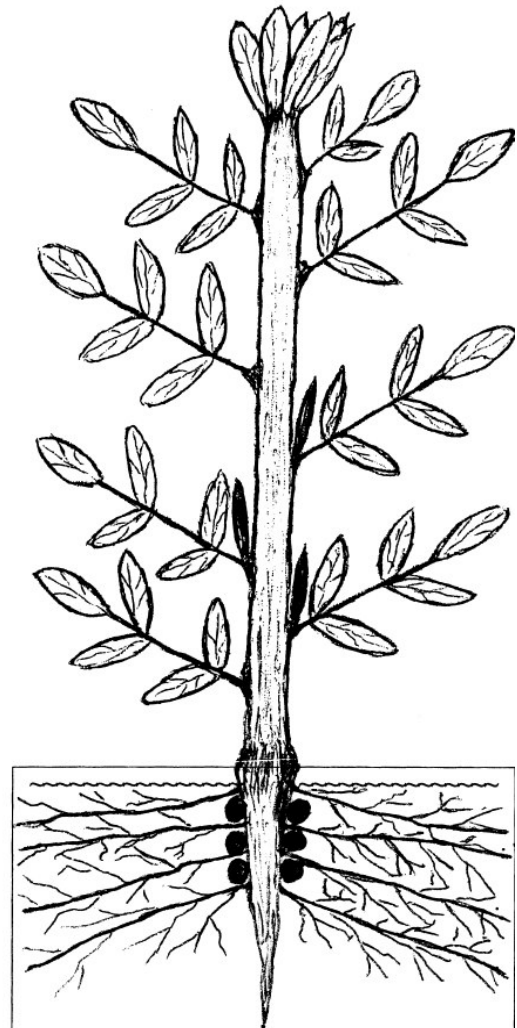
### **7. Source / Sink-Beziehungen in Leguminosen in „CULTAN“-Systemen**

Leguminosen sind als Reinkulturen im Ackerbau und als Mischkulturen mit Nicht-Leguminosen wie Klee und Gras im Grünland von Bedeutung. Ungeachtet dessen, daß sie in Symbiose mit Rhizobien ihren N-Bedarf decken können, wird diese ihre Fähigkeit durch verfügbaren mineralischen Stickstoff wesentlich eingeschränkt, Münch, 1996. Bei einer ausreichenden N-Versorgung als Nitrat aus der Nachlieferung des Bodens oder aus der N-Düngung binden Leguminosen nicht nur keinen Elementarstickstoff. Tatsache ist, daß Ackerbohnen (*Vicia faba minor* L.) unter diesen Voraussetzungen an den Wurzeln keine Knöllchen zur N-Bindung entwickeln. Dieses wahrscheinlich aus dem Grunde, weil sie aufgrund des Wachstums der Sprosse als Source und dominierende Sinks nicht ausreichend mit Kohlenhydraten versorgt werden.

Dem gegenüber binden Leguminosen bei einem N-Angebot als „CULTAN“ ihren Stickstoff selbst, weil aufgrund fehlender Versorgung mit Nitrat die Dominanz des Sprosses im Wachstum gegenüber der Versorgung der Wurzeln mit Kohlenhydraten gebrochen wird. Aufgrund der guten Versorgung mit Kohlenhydraten werden die Stammwurzeln von Ackerbohnen unter diesen Voraussetzungen von Rhizobien dicht besiedelt, nicht wie bei begrenzter Nachlieferung von Nitrat vom Boden oder einer N-Startdüngung zur Saat an den Feinwurzeln.. Für Kohlenhydrate vom Sproß entwickeln sich die Rhizobien an den Stammwurzeln gegenüber den Feinwurzeln rasch als vorrangige Sinks. Die Feinwurzeln verfügen dann nicht über ausreichend Kohlenhydrate, um Ammonium an den Grenzflächen von „CULTAN“-Depots aufnehmen und in den Stoffwechsel organischer N-Verbindungen übernehmen zu können, Abb.: 11 .



After an N-start-fertilisation or high  $\text{NO}_3^-$  - delivery from soils by vicia faba small nodules are developed on the fine roots



Without an N-start-fertilisation and no  $\text{NO}_3^-$  - delivery from soils by vicia faba big nodules are developed on the stem roots

**Abb.: 11 Entwicklung von Knöllchen und N-Bindung bei Ackerbohnen in Abhängigkeit von der verfügbaren N-Form als Nitrat oder Ammonium als „CULTAN“**

Durch diese Wechselwirkungen bei der „CULTAN“-Düngung wird bei Ackerbohnen das Wachstum des Sprosses gegenüber konventionellen Anbau erheblich gefördert. Sie beeinträchtigen jedoch wegen des Abwurfs von Blüten den Ansatz von Schoten und damit das Potential möglicher Erträge. Dieses Verhalten wird aufgrund der starken Förderung des Wachstums bis zur vorübergehenden Krümmung der Spitze des Sprosses der Pflanzen, dem ungewöhnlichen Austrieb von Ästen sowie der Entwicklung von Trieben zur Bestockung an der Basis auf die verstärkte Abgabe von Auxinen durch die Rhizobien zurückgeführt, Abb.: 12.



**Abb.: 12 Abwurf von Blüten und die Entwicklung von Seitenästen und Trieben zur Bestockung bei Ackerbohnen bei starkem Besatz mit Knöllchen zur N-Bindung**

Durch eine Spritzung mit Benzyladenin, einen synthetischen Vertreter der Phytohormone der Cytokinine, in sehr niedriger Konzentration zur Entwicklung des ersten Blütenstandes können derartige Abwürfe von Blütenständen verhindert werden, 13.



**Abb.: 13 Anlage von Schoten und die Vermeidung des Abwurfs von Blüten bei Ackerbohnen mit starkem Besatz mit Knöllchen zur N-Bindung durch eine Spritzung mit Benzyladenin**

Dieses geschieht wahrscheinlich durch die kurzfristig eingeschränkte Rückhaltung von Kohlenhydraten in den Blättern und die damit verbundene Einschränkung der Aktivität der Rhizobien. Damit verbunden ist offensichtlich eine Einschränkung der Abgabe zu hoher Gehalte an Auxin an die Wirtspflanze, Sommer, 2005.

Auf dem Grünland können durch eine N-Düngung als „CULTAN“ günstige Verhältnisse zwischen Gras und Klee im Aufwuchs eingestellt werden. Eine Verdrängung des Klees durch das Gras tritt dann nicht mehr ein. Es können so hohe Erträge schmackhafteren und an Mineralstoffen reichhaltigeren Futters als bei reinen Grasbeständen erzeugt werden, aufgrund der N-Bindung durch den Klee verbunden mit erheblichen Einsparungen bei der N-Mineraldüngung, Sommer, 2005.

## 8. Literature

- Bracht, P. (1998) Veränderung der Mengen an Kohlenhydraten und Stickstoff im Weizen (*Triticum aestivum* L.) in Abhängigkeit von der Art der N-Versorgung. Diss. Univ. Bonn
- Brück, H. and Guo, S. (2006) Influence of N form on growth and photosynthesis of *Phaseolus vulgaris* L. plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 849-856
- Davies, P. J. (1990) *Plant Hormones and Their Role in Plant Growth and Development*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Kafkafi, U. (1990) Root temperature, concentration and the ratio  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  effect on plant development. *J. Plant Nutr.* 13, 1291-1306
- Kirkby, E. A. and Mengel, K. (1967). Ionic balance in different tissues of tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42, 6-14.

- Knittel, H. Und Mannheim. T. (2002). Vorteile durch ammoniumbetonte Ernährung? Kartoffelbau, 53, 36-38
- Lips, S. H., Leidi, E. O., Silberbush, M., Soares, M. I. M., and Lewis, O. E. M. (1990). Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. J. Plant Nutr. 13, 1271 - 1289
- Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 889 pages, Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, London, San Diego, New York
- Michael, G. and Beringer, H. (1980) The role of hormones in yield formation. 85 – 116; in: 15<sup>th</sup> Colloquium International Potash Institute, Bern / Switzerland
- Münch, C. (1996) Optimierung der Ertragsbildung, der N<sub>2</sub>-Bindung sowie des Stickstoffhaushalts im Boden beim Anbau von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) als Reinkultur sowie im Mischanbau mit Nichtleguminosen nach dem „CULTAN“-Verfahren. Diss. Univ. Bonn
- Münch, E. (1930) Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Fischer, Jena
- Roperia, S. S. (1998) Wachstum, Entwicklung und Ertragsbildung bei Triticale und Weizen in Abhängigkeit von der Art der Versorgung mit Stickstoff und der Anwendung von Phytohormonen. Diss. Univ. Bonn
- Sommer, K. (2000) „CULTAN“-Cropping System: Fundamentals, state of development and perspectives. 361 - 375; in: Nitrogen in a Sustainable Ecosystem: From the Cell to the Plant, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands
- Sommer, K. (2005) „CULTAN“-Düngung. Physiologisch, ökologisch, ökonomisch optimiertes Düngungsverfahren für Ackerkulturen, Grünland, Gemüse, Zierpflanzen und Obstgehölze. 218 Seiten; Verlag Th. Mann, Clemens-August-Str. 12-14, 53115 Bonn, Germany**
- Sommer, K., C. Leufen und H.W. Scherer (2006) Bedeutung der N-Formen für die N-Versorgung von Kartoffeln bei platzierter Düngung. Kartoffelbau Heft 1+2, 29 – 37
- Sommer, K. und K. Rossig (1978) Substanzbildung und Stickstoffaufnahme bei Winterweizen in Abhängigkeit von der Art der Stickstoffversorgung. Landwirtsch. Forschung, Sonderh. 35, 249-260
- Sommer, K. und R. Six (1982) Längenwachstum und Assimilateinlagerung bei Wintergerste in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung und möglichen Witterungseinflüssen. Landw. Forschung, 35, 14-25
- Viehausen, E. (1983) Stickstoffmobilisierung und Stickstoffverwertung sowie Regulierung des vegetativen Wachstums bei Winterweizen auf beheizten Böden. Diss. Univ. Bonn
- Weimar, S. und O. Walg (2001) Bedarfsgerechte Stickstoffversorgung von Rebanlagen durch das „CULTAN“-Verfahren, 129 – 139; in: Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245
- Wiesler, F. (1997) Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 160, 227-237

### Bemerkung

Diese Publikation wurde in englischer Sprache auf dem:  
 International Symposium „Source-Sink Relationships in Plants“  
 21. bis 26. Mai 2007, Kaliningrad (Königsberg) in Rußland vorgetragen .  
 Ihre Veröffentlichung erfolgt in englischer Sprache im Kongreßband,  
 organisiert vom wissenschaftlichen Komitee des Symposiums.

