

# Bodenmikrobiologische Forschung im internationalen Rahmen

## Biologie und Einsatzmöglichkeiten stickstofffixierender stengelknöllchenbildender Leguminosen in den Tropen

Von J. C. G. Ottow, M. Becker, K. Dittert und K. H. Diekmann

**Grundlagenforschung auf dem Gebiet der mikrobiologischen Stickstoffbindung in Böden, Rhizosphäre oder Wurzelknöllchen hat in den letzten Jahren beachtliche Impulse erhalten und Fortschritte erzielt. Ursache dürfte einmal der wesentlich vereinfachte gaschromatographische Nachweis der potentiellen Stickstoffbindung mit Hilfe des Acetylen-Reduktionstests sein, zum anderen die Erwartung, durch Einsatz von Bio-Düngern (biofertilizers) die Stickstoffversorgung bedarfsgerechter und kostengünstiger erreichen zu können. Der Anwendung biologischer Stickstoffbindung sind jedoch klare Grenzen gesetzt, weil die  $N_2$ -Bindung (= Reduktion zu Ammonium) grundsätzlich sehr energieaufwendig ist und infolgedessen zunächst vom Energieangebot abhängt. Zudem unterliegt auch die  $N_2$ -Bindung dem Prinzip der Wirtschaftlichkeit.**

Dies bedeutet, daß die Aufnahme von anorganischen Stickstoffverbindungen (Ammonium und/oder Nitrat) über das Wurzelsystem gegenüber der  $N_2$ -Bindung (in den Knöllchen und/oder in Wurzelassoziationen) aus energetischen Gründen bevorzugt wird. Diesem Prinzip dürften auch die ggf. von Mikroorganismen auf Pflanzen übertragenen *nif*-Gene (*nif* = nitrogen fixation) unterliegen. Bei der Suche nach Strategien aus diesem Dilemma könnte Lösungsansätzen aus dem Pflanzenreich gefolgt werden, die sich im Laufe der Evolution als Folge einer Anpassung als zweckmäßig erwiesen haben. Dies sollte hier am Beispiel der Hülsenfrüchtler *Sesbania rostrata* und *Aeschynomene afraspera* einmal vorgeführt werden.

### Das universelle Regulationssystem der $N_2$ -Bindung

Knöllchenbakterien der *Rhizobiaceae* (Tabelle 1) leben von toten organischen Substanzen (saprophytisch) in Böden, können aber in einer wirtsspezifischen Endosymbiose mit Wurzeln bestimmter Leguminosen (Hülsenfrüchtler) potentiell Luftstickstoff binden. Als Folge dieser  $N_2$ -Bindung können zahlreiche bodenbedeckende, strauchförmige, krautartige, aber auch baumförmige Leguminosen (vorwiegend der *Faboideae* und *Caesalpinioideae*) im gemäßigten Klima ebenso wie in den Tropen unter bestimmten Standortbedingungen zu einer Verbesserung des Stickstoffhaushaltes beitragen. Wichtig ist die Erkenntnis, daß die Stickstoffbindung in den Knöllchen rasch nachläßt, sobald das Nitrogenasesystem (stickstoffbindende Enzyme) in den Knöllchen durch eine geringfügig verstärkte Aufnahme von anorganischen Stickstoffverbindungen ausgeschaltet wird. Ammonium (und Nitrat-)Ionen unterdrücken nicht nur

die Synthese des Nitrogenasekomplexes, sondern hemmen zudem die Aktivität der bereits vorhandenen Enzyme. Die Aktivität des Nitrogenase-Komplexes wird auf Grund des relativ hohen Energiebedarfs zunächst vom Angebot an ATP<sup>1</sup> und Reduktionsäquivalenten bestimmt. Infolgedessen beeinflussen alle Standortfaktoren (wie Licht,  $CO_2$ -Partialdruck, Temperatur, Angebot an leicht mobilisierbaren Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Molybdän und anderen Spurenelementen, sowie pH und Luft-Wasser-Wärmehaushalt der Böden) die Intensität der  $N_2$ -Reduktion.

Von diesen Faktoren lassen sich die bodenbedingten Eigenschaften durch zweckmäßige Bodenkultur (standortgerechte Bodenbearbeitung, Bewirtschaftung und Fruchtfolge), Bodenbiotechnologie (Aktivierung des Bodenlebens durch organische und/oder anorganische Düngung) und ggf. Impfungen mit wirtsspezifischen Knöllchenbakterien (Rhizobien) (Tabelle 1) deutlich verbessern. Jede *Stickstoffdüngung* (organischer oder anorganischer Art) führt jedoch in diesem Kontext von Maßnahmen sofort zur Abschaltung der symbiotischen (oder asymbiotischen) Stickstoffbindung. In allen diazotrophen, d. h. Luft-Stickstoffbindenden Bakterien katalysieren Glutaminsynthetase und Glutamatsynthase in sequentiell angeordneter Reaktion die Assimilation des Ammoniak in Glutamin. Dessen Amidstickstoff wird unter Beteiligung von Reduktionsäquivalenten auf  $\alpha$ -Ketoglutar-säure übertragen unter Bildung von 2-L-Glutamat.

Aktivität und Synthese der Nitrogenase werden weder von  $N_2$  induziert noch durch das gebildete  $NH_3$  unterdrückt. Stattdessen wirkt die Glutaminsynthetase über die

<sup>1</sup> ATP = Adenosintriphosphorsäure ist ein Speicher und Überträger von Energie und Phosphat



Abb. 1: Oben: Ein etwa 2 Monate alter Bestand von *A. afraspera* auf einem Versuchsfeld im Süden Senegals. Höhe etwa 160–170 cm.

Unten: Ein wildwachsender *Aeschynomene afraspera*-Bestand am Rande eines zeitweiligen feuchten Standorts im Süden Senegals (Höhe etwa 40–60 cm).





Abb. 2: Links: Wildform von *Sesbania rostrata* an einem zeitweise überfluteten Standort der Senegalesischen Sahelregion. Beachte die zahlreichen nackten Adventivwurzeln als Folge der Absenkung des Wasserspiegels. Höhe etwa 150 cm. Rechts: Wuchsform einer etwa 2 Monate alten *Sesbania rostrata*-Pflanzung auf dem relativ nährstoffreichen Versuchsgelände des International Rice Research Institute, Los Baños/Philippinen. Höhe etwa 2–3 m.

Transkription der Nitrogenase-Gene (*nif*-Gene) regulierend. Bei Ammoniakmangel liegt eine sehr aktive Glutaminsynthetase mit sehr hoher Affinität für  $\text{NH}_3$  vor. Als Aktivator der Transkription der *nif*-Gene stimuliert dieses Enzym jetzt die Synthese und Reduktion von  $\text{N}_2$  zu  $\text{NH}_3$ . Eine geringe Erhöhung der Ammoniumkonzentration in der Zelle oder in ihrer unmittelbaren Umgebung führt automatisch zur Repression der Glutaminsynthetase und infolgedessen zur vollständigen Hemmung der Stickstoffbindung. Nitrat unterdrückt nicht nur Ammonium, sondern inaktiviert darüber hinaus die  $\text{N}_2$ -Bindung, weil das zur Aktivierung des reaktionsträgen  $\text{N}_2$  erforderlichen niedrigen Redox (Reduktion-Oxidation)-Potential ( $E_0$ -Ferredoxin ox./red. =  $-420$  mV) in Anwesenheit von Nitrat ( $E_0 = \text{NO}_3^-/\text{NO}_2^- = +420$  mv) nicht erreicht werden kann. Biologisch aktive Böden mit rascher und intensiver Nitrifikation ( $\text{NH}_4^+$ -Oxidation) führen somit stets zur weitgehenden Unterdrückung der Stickstoffbindung. Als Folge dieses sehr empfindlichen, aber zweckmäßigen Regulationssystems spielt die biologische Stickstoffbindung zwangsläufig nur auf stickstoffarmen Standorten und bei bestimmten Pflanzengesellschaften (Pioniervegetation) eine bemerkenswerte Rolle. Am natürlichen Standort hat sich dieses Regulationssystem bewährt. Die Vorstellung, die Stickstoffversorgung von Böden durch Impfen mit potentiell stickstoffbindenden Bakterien auf biologischem Wege zu verbessern, läßt sich aus dem o.g. Sachverhalt ohne Manipulation des hocheffizienten Regulationsmechanismus kaum realisieren.

#### Strategie der $\text{N}_2$ -bindenden stengelknöllchenbildenden Leguminosen

Eine Strategie aus diesem Dilemma führt uns die Natur am Beispiel der stickstofffixierenden, stengelknöllchenbildenden Leguminosen *Sesbania rostrata* und *Aeschynomene afraspera* in eleganter Weise vor. In ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet Westafrikas (Sahelregion von Senegal und Mali) keimen und wachsen diese Erstbesiedler („Pionierpflanzen“) auf relativ armen, sandigen Böden äußerst rasch, sobald die Regenzeit mit starken Niederschlägen einsetzt. Der hohe Stickstoffbedarf für das rasche Wachstum wird durch intensive  $\text{N}_2$ -Bindung in den Wurzelknöllchen ergänzt. Kommt es zur Überstauung, bilden sich an den Stengeln zahlreiche epidermale Knöllchen und Wölbungen, welche die Stickstoffversorgung im Zuge der Symbiose mit grundsätzlich aeroben Rhizobien übernehmen. Die Vorteile dieser Anpassung sind offensichtlich.

Erstens bleibt die Stickstoffversorgung gesichert, weil die Stengelknöllchen die Aufgabe der überfluteten und inaktivierten Wurzelknöllchen übernehmen.

Zweitens werden die Stengelknöllchen direkt durch absteigenden Transport mit energiereichen Assimilaten versorgt. Und drittens bleiben die epidermalen Knöllchen vermutlich relativ unbeeinflusst vom bodenbürtigen Stickstoff, weil sie weitgehend räumlich getrennt sind vom apikalen, aufsteigenden Transport der aktiv aufgenommenen Nährstoffe (insbesondere des Stickstoffs!).

#### Entdeckung der stickstoffbindenden Stengelknöllchen

Es ist das Verdienst der französischen Wissenschaftler Dommergues, Rinaudo und Dreyfus vom Laboratoire de Microbiologie des Sols am ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer) in Dakar, im Jahre 1980 erstmals die Anwesenheit von Rhizobien und Leghämoglobin in den Stengelknöllchen von *Sesbania rostrata* nachgewiesen zu haben. Wenn auch die Symbiose bei *Aeschynomene afraspera* bereits im Jahre 1928 vom dänischen Wissenschaftler Hagerup und bei *A. paniculata* 1936 von den Deutschen von Suessenguth und Beyerle entdeckt wurde, so war es Alazard vom o. g. bodenmikrobiologischen Institut in Dakar, der im Jahre 1984 erstmals den Nachweis von Rhizobien, Leghämoglobin und Stickstoffbindung in den epidermalen Stengelwölbungen erbrachte. Während *A. afraspera* in Süd-Senegal an feuchten Stellen etwa 40–60 cm groß werden kann (Abb. 1), erreicht *S. rostrata* in der Regel eine Höhe von 1 m (Abb. 2 links). Sowohl in Senegal als auch auf den Philippinen vermag *S. rostrata* auf besseren Böden in 2 bis 4 Monaten sogar eine Höhe von etwa 2–3 m zu erreichen (Abb. 2 rechts). Nach erfolgreicher Infektion mit vermutlich wirtsspezifischen Rhizobien entwickeln sich an den Stengeln in der Regel 3 oder 4 parallele Reihen von dicht aufeinander folgenden sphärischen epidermalen Zellwucherungen (von etwa 0,3–0,8 cm Durchmesser) (Abb. 3). Die Stengelknöllchen von *A. afraspera* sind hingegen unregelmäßig angeordnet (Abb. 4). Die Infektion mit Rhi-

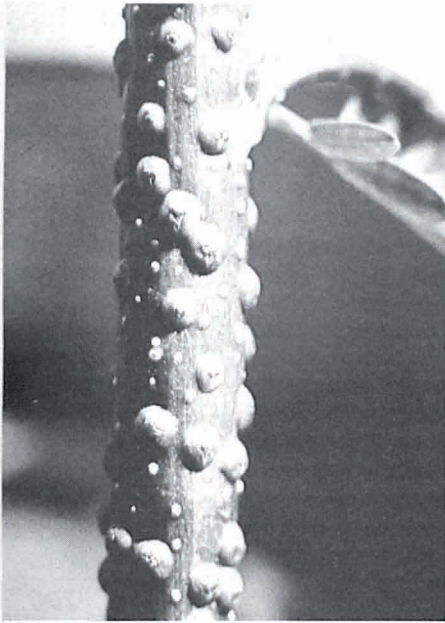


Abb. 3: Stengelknöllchen von *Aeschynomene afraspera*. Die halbkugelförmigen epidermalen Wölbungen entstehen an Seitenwurzelanlagen (= Mamillen, lat. *mamilla* = Brustwarze) und enthalten  $N_2$ -bindende Rhizobien, umgeben von Leghämoglobin (gr. *Laima* = Blut; lat. *globus* = Kugel).

Am natürlichen Standort wird nur ein Teil dieser Wurzelanlagen infiziert, welche sich zoben erfolgt wahrscheinlich mit Staub, Regenwasser und/oder Insekten (Ameisen), und zwar stets an den zahlreichen subepidermalen Seitenwurzel-Anlagen (Mamillen).

bei zunehmender Überstauung rasch zu zusätzlichen Wurzeln entwickeln. Infolgedessen ist der Knöllchenbesatz und damit das Ausmaß der Stickstoffbindung ungleichmäßig und oft gering. Künstliches Beimpfen im Alter von etwa 4 Wochen durch Besprühen der Stengel mit einer isolierten *Rhizobium*-Kultur vermochte die Knöllchenbildung jedoch stark zu erhöhen, wie die französischen Wissenschaftler in Dakar nachweisen konnten. Bereits zwei Tage nach erfolgreichem Beimpfen lassen sich mit dem Mikroskop an den Stengeln morphologische Veränderungen feststellen, und nach einer Woche weisen die meist sphärischen oder gewölbten, grünen und innen rosafarbenen (= Leghämoglobin) Knöllchen einen positiven Acetylen-Reduktionstest auf.

Im Acetylen( $C_2H_2$ )-Reduktionstest werden die Knöllchen kurzfristig in einer  $C_2H_2$ -Atmosphäre (0,1 Vol.-%) bebrütet (unter Standardbedingungen) und die Intensität der  $C_2H_4$  (Äthylen)-Bildung pro Zeiteinheit (meist eine Stunde) als Maß für die potentielle Nitrogenase-Aktivität herangezogen. Diese Meßmethode beruht auf der Feststellung, daß der Nitrogenase-Komplex das Acetylen auf Grund seiner Struk-

turanalogie mit  $N_2$  als Substrat (= Wasserstoffakzeptor) annimmt und irrtümlich zu  $C_2H_4$  reduziert (was im Gaschromatographen dann quantifiziert werden kann). Große praktische Bedeutung kommt der offenbar intensiven Stickstoffbindung von *S. rostrata* zu, welche mit 500–600  $\mu\text{mol } C_2H_4$  (Äthylen)/Pflanze/h als überdurchschnittlich hoch bezeichnet werden kann. Aber auch der tatsächliche Stickstoffgewinn dieser Leguminose wird auf etwa 200 kg N/ha/2 Monate geschätzt und ist somit überdurchschnittlich. Wenn sich diese (wohl vorläufigen) bemerkenswerten Ergebnisse in der Praxis bestätigen sollten, dann dürfte mit *S. rostrata* eine der effektivsten stickstoffbindenden Symbiosen zwischen Leguminosen und Rhizobien vorliegen.

#### Zusammenarbeit in der Grundlagenforschung

Die Anwendung von *S. rostrata* oder *A. afraspera* als Gründüngung verspricht für den Naßreis-Anbau (*Oryza sativa* L.) in den klassischen reisproduzierenden und -konsumierenden Ländern der Tropen gute Einsatzmöglichkeiten, weil die Pflanze in den überfluteten Böden in einer relativ kurzen Vegetationsperiode offenbar bemerkenswerte Stickstoffgewinne zu erzielen vermag. Wenn es gelänge, diese Leguminosen so zu domestizieren, daß ihr Anteil im überfluteten Reisfeld in kürzester Zeit (etwa 2 Monate) eine maximale Biomasseproduktion und Stickstoffbindung erreicht, würde ihre Verwendung für die *Low input*-Landwirtschaft als Gründüngung vor der Einarbeitung von Naßreis in das Feld einer Revolution gleichkommen. Ließen sich das Wachstum und die Stickstoffbindung in den Stengelknöllchen durch geringe Stickstoffgaben sogar verstärken, dann könnte der Anbau dieser Leguminosen den Einsatz relativ teurer mineralischer Dünger auf ein Minimum (Startdüngung) begrenzen.

Sofort drängen sich jedoch Fragen nach der Anpassungsfähigkeit der o. g. Wildpflanzen hinsichtlich Tageslänge (Photoperiodizität) und Bodeneigenschaften (Bedarf an Phosphor, Kalium, Molybdän, Toleranz gegenüber pH, Aluminium-Toxizität), nach der Spezifität der Rhizobien (Tabelle 1), nach der Empfindlichkeit für Schädlinge und nach der Stickstoff-Mineralisationsgeschwindigkeit der eingearbeiteten Reis-pflanzen auf. Gerade solche Fragen sind es, denen in einem gemeinsamen Forschungsprojekt (gefördert von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ) vom Gießener Institut für Mikrobiologie mit dem Laboratoire de Microbiologie des Sols (Dr. G. Rinaudo als Partner) Dakar/Senegal sowie mit dem Department of Soil Microbiology (Dr. S. K. de Datta), beide vom International Rice Research Institute (IRRI) in Los Baños/Philippinen zur Zeit nachgegangen werden. Besonders das IRRI hat großes Interesse an beiden Leguminosen, weil das Institut sich grundsätzlich zur Aufgabe gemacht hat, den Reisanbau der kleinen Landwirte und Subsistenzwirtschaften (vgl. „Spiegel der Forschung“ 4/1986, S. 11), Asiens oder Afrikas durch einfache Verbesserungen der traditionellen Anbaumethoden („Bodenkultur“) unter Verwendung von Hochleistungssorten voranzutreiben.

#### Einfluß von Nitrat oder Ammonium

Von hervorragender Bedeutung für den Einsatz stengelknöllchenbildender Leguminosen ist zunächst der Einfluß des anorganischen Stickstoffs auf die potentielle Stickstoffbindung. In Abb. 5 und 6 sind dazu erste Ergebnisse mit *A. afraspera* graphisch dargestellt. Klar zeigt sich, daß Nitrat und Ammonium die potentielle Stickstoffbindung (gemessen mit der Acetylen-Reduktions-Analytik = ARA) von Stengelknöllchen sogar fördern, jene der Wurzelknöllchen hingegen stark vermindern. Wichtig

Arten	Wirtsspezifität
<i>Gruppe I Rhizobium spp.:</i>	= rasches Wachstum mit Säurebildung auf MHM Agar; starke proteolytische Aktivität
<i>R. fredii</i>	Sojabohne (chin. Kontinent), Straucherbse, Sirato
<i>R. leguminosarum</i>	Klee, Gartenbohne
<i>R. loti</i>	Hornklee
<i>R. meliloti</i>	Luzerne, Steinklee
<i>R. viceae</i>	Erbse, Saatwicke, Wicke
<i>Gruppe II Bradyrhizobium spp.</i> (gr. <i>bradus</i> = langsam):	Langsames Wachstum ohne Säurebildung auf MHM-Agar; keine Proteolyse
<i>B. japonicum</i>	Sojabohne, Lupine, Kuhbohne

Tabelle 1: Gruppierung der wurzelknöllchenbildenden Rhizobien aufgrund von Wirtsspezifität, DNS-Hybridisierung, Antibiotika-Resistenz, serologischen Eigenschaften sowie Wachstumsgeschwindigkeit und Säurebildung auf Mannit-Hefeextract-Mineralmedium (MHM-Medium). Die Stengel-Rhizobien von *S. rostrata* und *A. afraspera* lassen sich aufgrund der ersten Untersuchungen weder in Gruppe I noch in Gruppe II einordnen und stellen möglicherweise eine weitere Gruppe dar

sind vor allem die Auswirkungen steigender Harnstoffmengen in einem Gefäßversuch mit einem lehmigen Sand unter Feldbedingungen (Regenzeit in Dakar, Senegal, 1985). Dabei ist zu bedenken, daß eine Harnstoffdüngung in ihrer physiologischen Wirkung dem Ammonium direkt vergleichbar ist, weil Harnstoff  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  in Böden durch mikrobielle Urease (ein harnstoffhydrolysierendes Enzym) sofort in  $\text{CO}_2$  und Ammonium gespalten wird. Offenbar vermag Ammonium bis zu  $100 \text{ kg N/ha}$  sowohl die Anzahl der Stengelknöllchen als auch die Acetylen-Reduktionsaktivität (ARA) signifikant zu steigern. Damit wird bestätigt, daß die räumliche Trennung der epidermalen Stengelknöllchen von den Transportbahnen des Ammoniums den Pflanzen zu der Möglichkeit verholfen hat, die Nitrogenase-Aktivität trotz relativ hoher mineralischer Stickstoffaufnahme aufrechtzuerhalten. Abgesehen von den direkten Anwendungsmöglichkeiten der hier vorgestellten Leguminosen, ließe sich das Prinzip der epidermalen Stengelknöllchenbildung an den Mamillen durch geeignete Wuchsstoffe und Rhizobien vielleicht auch bei anderen Leguminosen mit der Fähigkeit zur Leghämoglobinbildung etablieren.

#### Lassen sich *nif*-Gene auf Pflanzen übertragen?

Ökophysiologisch bemerkenswert und für die Grundlagenforschung überaus beachtenswert ist die Feststellung, daß die Übernahme bakterieller *nif*-Gene in das Genom einer eukaryotischen Zelle in der Evolution



Abb. 4: Regelmäßig angeordnete Stengelknöllchen von *Sesbania rostrata* zum Ende der Vegetationsperiode (etwa 3 Monate). Beachte auch das Vorkommen von Knöllchen an der Seitenästelung.

offenbar nicht erfolgreich verlaufen ist, obwohl eine solche Anpassung für eine Pionierpflanze als Strategie sehr naheliegend erscheint. Offenbar ist eine solche Entwicklung weder ökologisch sinnvoll noch genetisch einfach zu bewirken. Während ökophysiologische Argumente einleuchten (Stickstoffbindung ist relativ energieaufwendig und verlangt eine kontinuierliche Bereitstellung von Assimilaten; anorganische Stickstoffverbindungen werden zwangsläufig mit dem Massenfluß und der Diffusion aus der Bodenlösung aufgenommen), bedarf die Genetik einiger Randbemerkungen. Problematisch dürfte die räumliche Unterbringung des  $\text{O}_2$ -empfindlichen Nitrogenasekomplexes sein. Die Anordnung müßte so erfolgen, daß der Komplex gegen die redoxpotential-erhöhende Wirkung geringster  $\text{O}_2$ -Mengen (Photosynthese) geschützt wäre. Dieses Problem wurde zwar bei den Cyanobakterien (Blaualgen) durch räumliche Trennung von Photosynthese und Stickstoffbindung erreicht (letzte findet in dickwandigen photosynthetisch inaktiven Zellen statt), doch dürfte die Kompartimentierung in der höheren Pflanze aufgrund seines hohen  $\text{O}_2$ -Bedarfes wesentlich schwieriger sein. Das Übertragen und letztlich informationsstabile Einschließen der *nif*-Gene (oder der gesamten Einheit von Genen, eines Operons) aus einer bakteriellen Zelle dürfte heute in der Gentechnik kaum noch prinzipielle Schwierigkeiten bereiten, zumal *nif*-Gene mancher Bakterien (z.B. *Enterobacter* spp. oder *Rhizobium* spp.) in Plasmiden vorliegen.

Es ist somit lediglich eine Frage der Zeit, bis die Übertragung solcher Plasmide (= kleine extrachromosomaler ringförmiggeschlossener DNS-Fragmente) von Bakterien auf

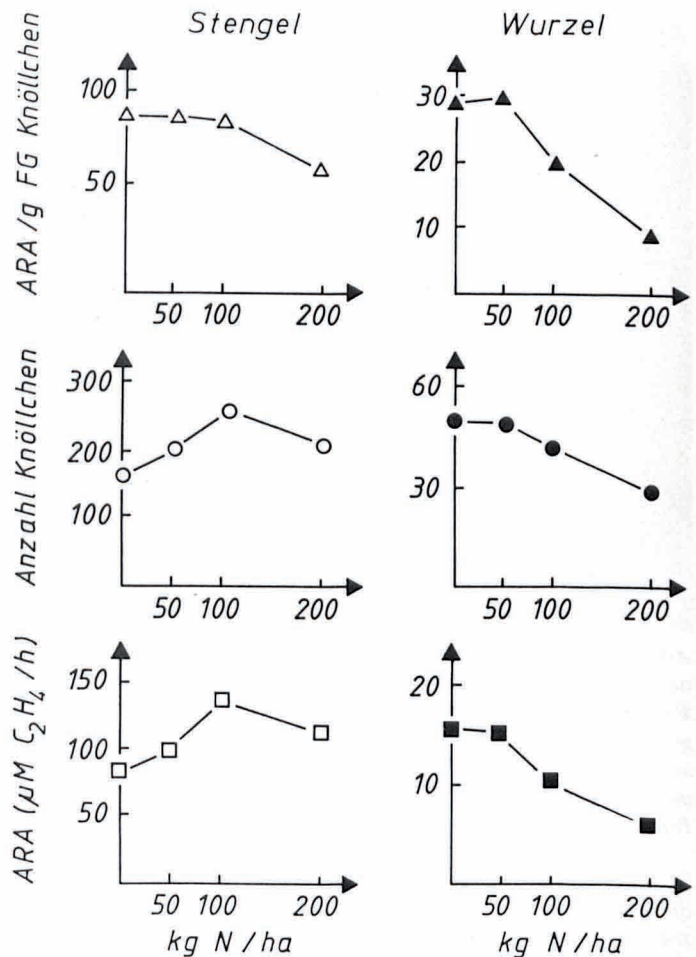


Abb. 6: Einfluß steigender Harnstoffgaben auf Anzahl und Stickstoffbindung (Acetylenreduktionsanalyse = ARA in  $\mu\text{M C}_2\text{H}_4/\text{h}$ ) der Wurzel- und Stengelknöllchen von *A. afraspera* im Gefäßversuch (lehmiger Sand;  $\text{pH}=7,0$ ;  $\text{N}_i=0,26\%$ ) unter Feldbedingungen (Regenzeit 1985, Senegal). Harnstoff wirkt aufgrund der sofortigen Hydrolyse durch Urease in Böden stets als Ammonium auf die Pflanze. Ammonium wirkt stimulierend auf die Anzahl und Aktivität der Stengelknöllchen (bis zu  $100 \text{ kg N/ha}$ ), verursacht jedoch in den Wurzelknöllchen eine kontinuierliche Abnahme dieses Parameters.

Protoplasten höherer Pflanzen (z. B. Getreidearten) und ihre Vermehrung über Gewebekulturen Routine sein wird. Der Transfer braucht zudem nicht in das Genom der Pflanze zu erfolgen, sondern könnte in den Genbestand von Zellorganellen (Plastiden und Mitochondrien) erfolgen, weil deren Chromosomen ebenfalls von entsprechender bakterieller Größe und kreisförmigem Aufbau sind.

Entscheidend für den Erfolgschritt wird sein, ob es gelingt, den Nitrogenase-Komplex gegenüber den  $\text{O}_2$ -Einfluß abzuschirmen. Gerade diese entscheidende Funktion übernimmt in der *Rhizobium*-Leguminosen Symbiose das Leghämoglobin, welches von der betreffenden Leguminose gebildet wird. Wäre das Ziel der Gentechnologie, Getreidearten zur  $\text{N}_2$ -Bindung zu verhelfen, so müßten sowohl die bakteriellen *nif*-Gene als auch die Eigenschaft zur Leghämoglobinbildung auf die Wirtspflanze übertragen

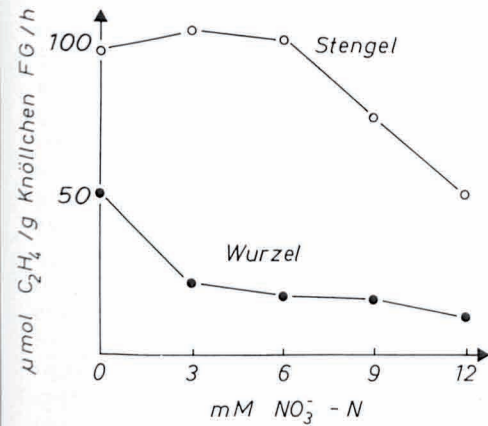


Abb. 5: Einfluß einer steigenden Nitratkonzentration [als  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ] auf die Stickstoffbindung (gemessen als Acetylenreduktionsaktivität in  $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{g}$  Knöllchen-Frischgewicht/h) von vorhandenen Wurzel- und Stengelknöllchen von *Aeschynomene fraspera* (Nährlösungsversuch im Phytothron; 28 °C, 26000 Lux/14 h). Nitrat wurde erst nach 6 Wochen zugesetzt und die entsprechende Nährlösung täglich erneuert. Deutlich zeigt sich, daß Nitrat die Stickstoffbindung der Wurzelknöllchen sofort signifikant verringert, während es bei den Stengelknöllchen bis zu 6 mM Nitrat-N sogar fördernd wirkt.

werden. Gelänge es, diese „Retortenpflanze“ zu „überzeugen“, so bliebe immer noch die entscheidende Aufgabe zu verhindern, daß die  $\text{N}_2$ -Bindung eines „Retortenweizens“ im Feldbestand auf einem guten (organisch oder anorganisch gedüngten) Boden als Folge der Aufnahme geringer Mengen an anorganischen Stickstoff sofort unterdrückt würde.

### Aufgaben der Agrobiotechnologie?

Wenn diese Überlegungen zuträfen, so scheint es unumgänglich, den Automatismus der Unterdrückung durch Entkopplung von Stickstoffbindung und Glutaminsynthetase-Aktivität zu bewirken. Wenn dies gelänge (Genmanipulation), dann könnte die Übertragung der *nif*-Gene auf Pflanzen gleichwohl eine neue ökologische Gefahr beinhalten: Stickstoffbindung ohne Punkt und Komma! Auch aus den verschiedenen o. g. Gründen scheint es unumgänglich, die Biologie und Ökologie vorhandener stickstoffbindenden Systeme – wie sie zwischen Mikroorganismen und bestimmten Pflanzen bestehen – zu studieren und zu verbessern (Selektoren effizienter Wechselwirkungen), um sie gekonnt in der Praxis einzusetzen. Biotechnologie und Ökologie sollten nicht nebeneinander, sondern miteinander arbeiten. Auch hier liegen Aufgaben und Chancen der Agrarwissenschaften und Biologie.

## Gießener Simulationsmodelle

Nicht erst die „größte Steuerreform aller Zeiten“ (1990) hat zu einer durch die breite Öffentlichkeit getragenen Diskussion über Steuerreformmaßnahmen und deren Be- bzw. Entlastungswirkungen geführt. Spätestens seit den verschiedenen Steuerreformen der Reagan-Administration gilt das Interesse den Anreizwirkungen steuerlicher Entlastungsmaßnahmen auf Arbeitsangebot, privates Sparverhalten, Niveau und Struktur der Investitionstätigkeit sowie Innovationsfreudigkeit der Unternehmer. Dabei fällt auf, daß die jeweiligen steuerpolitischen Protagonisten nur sehr zögernd und vage eine zahlenmäßige Untermauerung ihrer Steuerreformpläne bieten. Dies ist nur in geringem Maße bösem Willen zuzurechnen, tatsächlich handelt es sich um auch wissenschaftlich nur selten betretenes Gebiet.



Der Lehrstuhl für Finanzwissenschaft der Universität Gießen (Prof. Dr. Hans-Georg Petersen – Bild) versucht mit dem von der Stiftung VOLKSWAGENWERK geförderten Projekt „Simulation alternativer steuer- und sozialrechtlicher Regelungen für die Bundesrepublik Deutschland“ diesen Mangel zu beheben. Dies geschieht durch Simulationsrechnungen verschiedener Reformvorschläge mit den Daten der Steuerstatistiken auf modernen EDV-Anlagen. Die Simulation hat die gleiche Funktion wie ein naturwissenschaftliches Experiment, sie bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen alternativer steuer- und sozialrechtlicher Regelungen vor ihrem Inkrafttreten mit hoher Genauigkeit abschätzen zu können. Ziel des Projekts ist es, den Steuer- und Sozialpolitikern notwendige Informationen zu liefern, um damit zu einer Erhöhung der Rationalität in diesen Politikbereichen beizutragen. Die Stiftung VOLKSWAGENWERK fördert das Projekt zunächst für einen Zeitraum von drei Jahren.

## Denkanstöße für Ethik in der Medizin

(dpa) – Fragen zur Ethik in der Medizin möchten Ärzte, Philosophen und Theologen in der vor kurzem gegründeten Akademie für Ethik in der Medizin (Erlangen) erforschen. Bei einer Mitgliederversammlung in Mainz erklärte der Vorsitzende, Prof. Hans-Bernhard Wuermeling, ärztliches Handeln dürfe sich nicht nur auf seine biologische Richtigkeit befragen lassen. Es müsse auch „menschlich richtig sein“.

Kritisiert wurde von Wuermeling, der Rechtsmediziner an der Universität Erlangen-Nürnberg ist, die derzeitige Mediziner- und Ausbildung. Früher hätten ältere Ärzte den Nachwuchsmediziner während des Studiums ethische Grundsätze vermittelt. Angesichts einer „Verschulung der Ausbildung“ würden Fragen der ärztlichen Ethik gegenwärtig aber stark vernachlässigt.

In den kommenden Monaten möchte die Akademie Stellungnahmen zur künstlichen Befruchtung, zu Aids und zur Vermittlung ethischen Wissens in der Mediziner- und Ausbildung erarbeiten. Die meisten Fragen zur medizinischen Ethik seien in der Gesellschaft nicht umstritten, sagte Wuermeling. Doch habe bisher ein Forum gefehlt, in dem über solche Fragen diskutiert werden konnte. Diese Lücke möchte die Akademie mit der Herausgabe einer Zeitschrift schließen. Gleichzeitig will die Akademie Ansprechpartner für Ärzte werden, die beispielsweise bei Schwangerschaftsabbrüchen, der Sterbehilfe oder der Intensivmedizin in Gewissenskonflikten stehen.

### Falsches Bild

Der Artikel im Spiegel der Forschung 5/1987, S.13, von Professor Dr. Kurt Brück „Warmlaufen oder Kaltstart? – Sportliche Höchstleistungen durch Kälte“ wurde von der Redaktion mit einem Foto illustriert, das Kurzstreckenläufer am Start zeigt. Professor Brück legt Wert auf die Feststellung, daß dieses Bild nicht von ihm stammt und die Aussage des Artikels verfälschen kann. In seinem Aufsatz wird ausdrücklich erörtert, daß sich die Frage der Aufwärmung auf Ausdauerbelastung, nicht auf kurzdauernde Leistungsforderungen bezieht. Sprinter beenden ihre Arbeit jedoch in längstens 12 Sekunden. Richtiger wäre es daher gewesen, den Start eines Volksmarathons zu zeigen.