

# Die Bedeutung der Stickstoff~~ver~~bindung von Blaualgen und der Azolla–Anabaenasymbiose für die Naßreiskultur

The Importance of Nitrogen Fixation of Blue–Green Algae and the Azolla–Anabaena Symbiosis for the Cultivation of Lowland Rice

Von Paul Hermelink†\*) und Werner Kramer\*\*)

## 1. Einleitung

Der durch weiter anhaltendes Bevölkerungswachstum ständig steigende Nahrungsmittelbedarf bei gleichzeitig immer knapper werdenden Land- und fossilen Energiereserven erfordert vorerst nur für die zahlungsschwachen Länder der Dritten Welt dringend die Entwicklung alternativer Stickstoffquellen. Für über sechzig Prozent der Weltbevölkerung stellt Reis das Hauptnahrungsmittel dar. Bis zum Jahr 2000 wird die Menschheit von gegenwärtig 4,5 Milliarden auf schätzungsweise 6,5 Milliarden angewachsen sein, ohne daß noch eine nennenswerte Ausdehnung der Anbauflächen auch für Naßreis möglich ist. (Für eine bis zum Jahr 2000 prognostizierte neunzigprozentige Steigerung der Nahrungsmittelproduktion stehen nur etwa vier Prozent zusätzliche Anbaufläche zur Verfügung). Die Weltbank schätzt, daß die Zahl der unterernährten Menschen in den sogenannten unterentwickelten Ländern von Mitte der siebziger Jahre bis zum Jahr 2000 von 400 auf 600 Millionen auf 1,3 Milliarden steigen wird. Eine Steigerung der Flächenproduktivität – auch des Reisanbaus – ist zur Deckung des unvermeidbar ansteigenden Nahrungsmittelbedarfs unumgänglich. Die Züchtung ertragreicher Reissorten allein kann dabei nur wenig helfen. Entscheidend ist vor allem die Verfügbarkeit ausreichender Mengen von Stickstoff und anderer für hohe Reiserträge unentbehrlicher Nährstoffe. Angesichts der chronischen Devisenknappheit und allgemeiner Finanzschwächen der sogenannten Entwicklungsländer, zu denen die wichtigsten Reisanbaugebiete überwiegend gehören, ist eine Deckung des Stickstoffbedarfs eines erforderlichen intensiven Reisanbaus durch äußerst energieaufwendige synthetische Stickstoffdüngemittel schon gegenwärtig höchst problematisch. Die weltweit erzeugten synthetischen Stickstoffdünger stammen zu achtundneunzig Prozent aus der Ammoniaksynthese; für die Gewinnung von einer Tonne reinen Stickstoffs werden 1 t Naphta bzw. 1,1 t Schweröl bzw. 1.200 m<sup>3</sup> Erdgas zusätzlich 300 kWh Elektrizität benötigt, also gerade solche Rohstoffe, die in naher Zukunft knapp werden.

\*)Paul Hermelink, Dipl.–Ing. agr., Anna–Peters–Str. 59, Stuttgart 70

\*\*)Prof. Dr. W. Kramer, Fachgebiet der Agrikulturchemie und Bodenkunde am Fachbereich Intern. Agrarwirtschaft der Gesamthochschule Kassel in Witzenhausen, Anschrift: Steinstr. 19, D–3430 Witzenhausen

Unter anderem aus diesen Fakten folgernd, kommt auch "Global 2000" zu der Ansicht, daß der sich beschleunigt steigende Stickstoffbedarf für die Pflanzenproduktion wahrscheinlich wohl kaum nur mittels synthetischer Stickstoffdüngemittel, deren Herstellung ja auf fossilen Brennstoffen basiert, zu decken sein wird. Auch wegen der umweltbelastenden Wirkung synthetischer Düngemittel werden deshalb Maßnahmen zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Mineraldüngerverwendung und eine weitere Erforschung und Entwicklung der vielversprechenden und hoffnungsvollen biologischen Stickstoffbindung sowie internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet empfohlen. Freilebende, wie in Symbiose mit dem Wasserfarn *Azolla* lebende Blaualgen bieten sich daher durch ihre Fähigkeit, unter Nutzung der Sonnenenergie Luftstickstoff zu binden sowie ihr Leben im Wasser als Stickstofflieferanten für Naßreis, geradezu an.

## 2. Stickstoffbindung und -umsetzung der Blaualgen

Viele freilebende Blaualgenarten, wie auch die als Endophyt in den Blatthöhlungen des Wasserfarns *Azolla anabaena* lebende Blaualgenart *Anabaena azollae*, sind zur Bindung elementaren Stickstoffs befähigt, können aber auch Stickstoffverbindungen, die Luftstickstoffbindung übrigens hemmen, aufnehmen. Alle Stickstoffformen können nur nach Umwandlung zu Ammonium,  $\text{NH}_4$ , in Aminosäuren etc. eingebaut werden. Die in Symbiose mit *Azolla* lebende Blaualgenart *Anabaena azollae* gibt einen Großteil ihres Ammoniums an ihren Farnwirt weiter, der in seiner Stickstoffversorgung voll von seinem Blaualgensymbionten abhängig ist. Der elementare Luftstickstoff,  $\text{N}_2$ , wird durch das molybdän- und eisenhaltige Enzym Nitrogenase unter Beteiligung von Elektronenspendern wie Ferredoxin, ATP und Magnesiumionen zu Ammonium reduziert. Nitrogenase ist nur unter anaeroben Bedingungen aktiv und wird durch elementaren Sauerstoff, irreversibel inaktiviert. Daher ist es den photosynthetischen Blaualgen unter aeroben Bedingungen mit ihren normalen vegetativen Zellen nicht, mit ihren das Photosystem II entbehrenden und daher keinen Sauerstoff bildenden sogenannten Heterocysten jedoch möglich, elementaren Stickstoff zu binden. Wieso auch einige homocyste Blaualgenarten zur aeroben Stickstoffbindung befähigt sind, ist der Wissenschaft bis heute ein Rätsel.

Die exakte Messung der jeweiligen Stickstoffbindungsrate bereitet bis heute größere Schwierigkeiten, am gebräuchlichsten ist die sogenannte Acetylenreduktionsmethode, bei der die geringe Substratspezifität der Nitrogenase – sie reduziert u.a. auch Acetylen,  $\text{C}_2\text{H}_2$  zu Äthylen,  $\text{C}_2\text{H}_4$  – ausgenutzt wird. (Umrechnungsverhältnis red.  $\text{C}_2\text{H}_2$  : red.  $\text{N}_2$ ).

### 2.1 Biologie und Kultur von Blaualgen

Die Blaualgen stellen die einzige photosynthesefähige Klasse des Pflanzenreichs dar, die zur Bindung von elementarem Luftstickstoff befähigt ist. Nur einige Formen der ebenfalls prokaryotischen, den Blaualgen näher als die eigentlichen Algen verwandten Bakterien – daher auch die Bezeichnung Cyanobacteria für Blaualgen – sind ebenfalls in der Lage, Luftstickstoff zu binden. Etwa einhundertfünfundzwanzig stickstoffbindende Blaualgenarten u. -stämme sind bis heute bekannt. Durch ihre Fähigkeit, selbst mehrjährige Austrocknung zu überleben und ihre enorme Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Umweltbedingungen sind sie als ubiquitär zu bezeichnen. In Reisfeldern heften sie sich an Pflanzen und Boden oder treiben frei im Wasser. Ihre optimalen Umweltbedingungen finden sie bei Lichtintensitäten von 14.000 bis 18.000 lux, Temperaturen von 32 bis 36°C und einem pH-Bereich von 6,5 bis 8,5. Wasserflöhe, Insekten führen, wenn auch selten, zu

empfindlichen Schädigungen einer Blaualgenpopulation, der Einsatz von Insektiziden ist daher in entsprechenden Fällen anzuraten. Pathogene, wie Pilze, Bakterien und vor allem Viren, können ebenfalls Schaden anrichten, ihre Bekämpfung lohnt jedoch nicht. Der Einsatz von Herbiziden ist wegen der Unverträglichkeit der Blaualgen den meisten dieser Mittel gegenüber nicht vertretbar.

Von den Nährstoffen und Spurenelementen ist Phosphor mit einer Mindestkonzentration von 6 ppm und üblichen Gaben von etwa 30 kg  $P_2O_5$  je Hektar und Reisfrucht der wichtigste Nährstoff, die Verabreichung von Molybdän in Gaben von 0,26 kg Natrumolybdat je Hektar und Reisfrucht lohnt nur bei selten vorkommenden Molybdänkonzentrationen von unter 0,2 ppm; selten übliche Kalkgaben von etwa einer Tonne je Hektar sind bei stark saurem Milieu angebracht. Der von den Blaualgen bei gutem Wachstum in Mengen von 20 bis 30 kg je Hektar und Reisanbauperiode gebundene Stickstoff wird nur zu etwa dreißig Prozent schon zu Lebzeiten der Blaualgen freigesetzt, der meiste Stickstoff wird erst mit ihrer Zersetzung langfristig mit verzögerter Düngewirkung pflanzenverfügbar, so daß eine anhaltende Wirkung auf Reis besteht. Eine erneute Inokulation zu Beginn jeder Reiskultur in üblichen Mengen von 10 kg TM einer günstigen Inoculummischung aus besonders günstigen Blaualgenarten, vor allem der Gattungen *Nostoc*, *Anabaena* und *Aulosira*, ist daher der kumulativen Wirkung für Reis wegen zu empfehlen. Eine alleinige Kultur von Blaualgen ist außer zur Inoculumvermehrung in überfluteten Vermehrungsbecken mit üblichen Starterkulturmengen von 100 bis 150 g TM/m<sup>2</sup> und der gut zehnfachen Menge an fertigem Inoculum von etwa 1,5 kg TM/m<sup>2</sup> nach einer üblichen Vermehrungsperiode von etwa zwei Wochen weder sinnvoll noch üblich.

## 2.2 Biologie und Kultur der *Azolla*-*Anabaena*symbiose

Die Lebensgemeinschaft des Wasserfarns *Azolla anabaena* und der in den Höhlungen ihrer oberen Blattlappen lebenden, elementaren Luftstickstoff bildenden, Blaualge *Anabaena azollae* ist in sechs Arten und zahlreichen Stämmen unterschiedlicher klimatischer Ansprüche über die langsamfließenden und stehenden Süßgewässer der gemäßigten und tropischen Zonen der Welt verbreitet. Die bislang wichtigste Art *Azolla pinnata* ist im traditionellen Azollakulturraum Südchinas und des nördlichen Vietnam schon seit Jahrhunderten in Kultur. Die Vermehrung von *Azolla* findet überwiegend vegetativ statt, nur durch das Einsetzen von das Überleben der Sporophyten, der eigentlichen Farnen, nicht mehr gewährleistenden Umweltbedingungen, wie vor allem Austrocknung, wird eine sexuelle heterospore Fortpflanzung mit trockenresistenten Makro- und Mikrosporen ausgelöst. Die Entwicklung des Endophyten verläuft zeitlich aufeinander abgestimmt mit dem von ihm besiedelten Farnblatt, die Stickstoffbindungsrate nimmt vom jüngsten bis etwa zwanzigsten Blatt zu und nimmt dann wieder ab. Der vom Blaualgenendophyten gebundene Stickstoff wird zum größten Teil als Ammonium an das Wasserfarn weitergegeben und erst nach dem Absterben der Symbiose während ihrer Zersetzung langfristig über mehr als acht Wochen hinweg als Ammonium freigesetzt. Der größte Wirkungsgrad des Azollastickstoffs für Reis ist bei Einarbeitung frischer *Azolla* bei einem C:N-Verhältnis von etwa 10 und einem bereits geschlossenen, aber noch nicht in Zersetzung übergehenden, mehrschichtigen Azollabestand in die oberste Bodenschicht gegeben. Die Anforderungen an die Umweltbedingungen für ein optimales Wachstum schwanken von Art zu Art. Von den klimatischen Faktoren ist vor allem die Temperatur mit einem Optimalbereich von 20–30° C, bei größerer Hitze von über 31 bis 35° C ein das Wachstum von *Azolla* begrenzender Faktor. Als besonders geeignet für hohe Temperaturen gilt *Azolla mexicana*, die außerdem

als einzige Art schon während ihres Wachstums bedeutende Mengen Ammonium freisetzt, während *Azolla filiculoides* für kühlere Bereiche prädestiniert ist und sogar Frost verträgt. Auch hohe Lichtintensitäten von über 50 klux beeinträchtigen das Gedeihen des Farns, *Azolla caroliniana* ist mit einem Stickstoffbindungsoptimum von 4 bis 5 klux besonders schattenverträglich. Der günstigste pH-Wertbereich beträgt für alle Arten pH 5 bis 7. Die Nährstoffbedürfnisse von *Azolla* entsprechen - abgesehen von synthetischem Stickstoff, der die Stickstoffbindungsaktivität hemmt - denen der meisten höheren Pflanzen; vor allem Phosphor ist in Mengen von 5 bis 15 kg  $P_2O_5$ /ha und einem üblichen Vermehrungszeitraum von etwa einer Woche für ein zufriedenstellendes Wachstum zumeist unentbehrlich; auch Eisengaben sind zuweilen erforderlich. Marginale Umweltbedingungen, wie zu hohe Temperaturen, zu hohe Lichteinstrahlung, Nährstoffmangel und ungünstige pH-Werte, äußern sich durch eine bräunliche bis rötliche Verfärbung des Farns. Tierische Fraßschädlinge, wie Schnecken und Insekten, können ohne eine rechtzeitige Insektizidanwendung oder eine sonstige Kontrolle eine ganze *Azolla*-Population in kurzer Zeit vernichten. Herbizide können eine verheerende Wirkung auf *Azolla* zeigen, sind aber der unkrautverringernenden Wirkung *Azolla*s wegen auch entbehrlich. Die positive Wirkung von *Azolla* auf Reis bedingt in erster Linie durch die Stickstoffanlieferung, aber auch durch eine Mehrung der organischen Substanz und eine Verbesserung der Struktur des Bodens.

Für die Kultur von *Azolla* ist eine ständige Überflutung bei einer Wassertiefe von 5 bis 10 cm wegen Austrocknungsgefahr unbedingt erforderlich. Die Inoculummengen schwanken je nach beabsichtigtem Vermehrungszeitraum und Verwendungszweck zwischen 100 und 800 g/m<sup>2</sup> frischer *Azolla*, bei einem üblichen Vermehrungszeitraum von 5 bis 7 Tagen. Je höher die Inoculummenge, desto eher ist die maximale Biomasse und damit der Erntezeitpunkt erreicht, desto häufiger wiederholte Einarbeitungen in den Boden, eine neue Inoculation durch an der Oberfläche verbliebene *Azolla*-reste erübrigend, sind in einem vorgegebenen Zeitraum möglich.

### **3. Leistung und landwirtschaftliche Bedeutung von Blaualgen, *Azolla* und weiteren Stickstoffbindern und deren eventuelle Kombination**

Sowohl Blaualgen als auch die *Azolla*-*Anabaena*-Symbiose stellen durch ihre Fähigkeit zur Luftstickstoffbindung unter aeroben Bedingungen unter Ausnutzung der Sonnenenergie und ihre im überfluteten Reisfeld erfüllten Umweltansprüche als natürliche Stickstoffquellen für Naßreis geeignete Organismen dar. *Azolla* zeichnet sich im Vergleich zu Blaualgen als quantitativ besserer, aber in der Kultur aufwendigerer Stickstoffbinder aus. Bei alleiniger *Azolla*-kultur werden bei guter Pflege durchschnittlich 1,75 kg K/ha und Tag, etwa 640 kg N/ha und Jahr gebunden, bei Kultur unter Reis in Doppelreihen etwa 60 cm weiten Zwischenabständen wie in China üblich (3,4) sind etwa 0,68 kg N/ha und Tag, etwa 270 kg N/ha und Jahr zu erwarten. Bei gleichzeitiger Kultur mit Reis herkömmlichen Pflanzenverbands ergeben sich v.a. des stark verringerten Lichtangebots wegen kaum nennenswerte Zuwachsraten von im Mittel etwa 10 - 20 kg N/ha und Reisfrucht. Eine geschlossene Farndecke - die je Hektar etwa 10 t frischer *Azolla*, etwa 25 kg N entsprechend - wird hier nicht erreicht.

Diesen recht günstigen Stickstoffbindungsraten stehen hohe Kulturansprüche gegenüber: *Azolla*-farne sterben bei Austrocknung ab, besitzen eine große Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen und Lichtintensitäten und haben aufgrund höherer Biomassenentwicklung einen höheren Phosphatbedarf; ferner besitzen die einzelnen *Azolla*-arten und -stämme recht unterschiedliche Umweltauforderungen.

Blualgen charakterisieren sich demgegenüber als mengenmäßig überwiegend schlechtere aber in ihrer Kultur vergleichsweise anspruchslose Stickstoffbinder: ohne zusätzliche Stickstoffkünstdüngung binden sie bei fast ausschließlich üblicher Kultur mit Reis herkömmlicher Pflanzenabstände höchstens bis zu 0,5 kg N/ha und Tag, im Mittel jedoch nur 20 bis 30 kg N/ha und Reisfrucht und bewirken einen durchschnittlichen Mehrertrag an Rohreis von etwa 400 Kg/ha und Reisfrucht. Bei kombinierter Verwendung von Blualgen und synthetischem Stickstoffdünger für Reis bewirkt die Blualgeninokulation nach Venkataraman (6) eine Einsparung von etwa 30 % der jeweiligen Menge an synthetischem Stickstoff, die durch eine besserer Verfügbarkeit des synthetischen wie des blualgengewürbigen Stickstoffs durch zusätzliche biotische Wirksubstanzen der Blualgen erklärt wird. Im Unterschied zu Azolla sind Blualgen trockenresistent und zeigen eine enorme Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Umweltbedingungen.

Zur Alleinkultur in Reisbrachzeiten ist ausschließlich Azolla zu empfehlen, bei zwei jährlichen Reiskulturen von je einhundertundzwanzig Tagen bindet sie in der restlichen Zeit etwa 218 kg N/ha, die zwei Reisernten von je etwa 6 t Rohreis ermöglichen. Bei gleichzeitiger Kultur mit Reis unter Beibehaltung herkömmlicher Reispflanzabstände ist in der überwiegenden Zahl der Fälle der Verwendung von Blualgen, die im Unterschied zu den meisten Azollaarten ein Drittel ihres gebundenen Stickstoffs schon zu Lebzeiten freisetzen, der Vorzug zu geben. Bei der außerhalb Chinas noch nicht erprobten Azollakultur unter Reis in Doppelreihen weiter, eine höhere Lichteinstrahlung ermöglichenden, Zwischenabstände ermöglicht Azolla nur durch gleichzeitige Mischkultur die Stickstoffversorgung einer Reisfrucht von etwa 4,5 t/ha Paddyreis bei einer Vegetationszeit von einhundertundzwanzig Tagen. (Es kann von einem Stickstoffentzug von 18 kg/ha und t Rohreis ausgegangen werden).

Bei ganzjähriger permanenter Azollakultur bei zwei jährlichen Reisernten von je einhundertundzwanzig Tagen im Doppelreihenverband und Azollaalleinkultur in den Brachzeiten werden schätzungsweise 380 kg N/ha und Jahr angeliefert und ermöglichen so die Stickstoffversorgung zweier Reisernten von je etwa 10 t/ha an Rohreis. Eine gemeinsame Verwendung von Azolla und Blualgen als Stickstoffquellen für Reis ist bis heute noch nicht erprobt, könnte aber bei völligem Verzicht auf Stickstoffmineraldünger eine noch höhere Stickstoffanlieferung für Reis ermöglichen. Da Azolla unter Reis normalen Pflanzenverbands einen nennenswerten Zuwachs nur in den ersten Wochen nach Beginn der Reiskultur bis zur Unterschreitung einer, eine weitere Biomassenzunahme ermöglichenden, Lichtintensität durch zunehmende Beschattung seitens des Reisbestandes aufweist, Blualgen jedoch zumindest während der Trockenzeit bzw. bei einer geringen Bewölkungsdichte erst mit ausreichender Beschattung durch den heranwachsenden Reis ein nennenswertes Wachstum zeigen, scheint eine Mischkultur von Azolla, Blualgen und Reis normaler Pflanzabstände durchaus sinnvoll zu sein. Bei gleichzeitiger Inokulation von Blualgen und Azolla überdauern die Blualgen dann die ersten Wochen bis zur Einarbeitung des dann bereits geschlossenen Azollabestands, der sich anschließend mangels Licht nicht noch einmal erholen wird und nehmen dann ihr eigentliches Wachstum auf. Unter solchen Bedingungen wären mittlere Stickstoffbindungsmengen von 30 bis 40 kg N/ha und Reisfrucht bei einem zusätzlich im Vergleich zu alleiniger Blualgenkultur unter Reis geringeren Unkrautauflkommen zu erwarten.

Eine ganzjährige Bewässerungskapazität vorausgesetzt, ist bei nur zwei jährlichen Reisernten von je 120 Tagen auch ein integriertes Anbausystem von Blualgen und/oder

Azolla unter Reis normalen Pflanzverbands und Azollaalleinkultur in den Reisbrachzeiten denkbar, wodurch jeder Reisfrucht bei alleiniger Verwendung von Blaualgen unter Reis etwa 134 kg N/ha und Reisfrucht, bei kombinierter Verwendung von Azolla und Blaualgen unter Reis etwa 150 kg N/ha und Reisfrucht zur Verfügung stehen würden. Dies entspräche zwei hohen Reisernten von entsprechend je 7,4 bzw. 8,3 t Rohreis je Hektar, einen Stickstoffentzug von 18 kg je Tonne Rohreis und Hektar voraussetzend. Bei zusätzlicher Verwendung der nach Jagannathan (2) in Indien bereits erprobten, ebenfalls aerob stickstoffbindenden Azotobacter-Bakterien, die etwa 25 kg N/ha und Reisfrucht erbringen, würden bei Blaualgen- und Azollakultur unter Reis im chinesischen Doppelreihenbau bereits drei jährliche Reisernten von je etwa 6,3 t/ha Rohreis durch die Anlieferung von etwa 114 kg N/ha und Reisfrucht ermöglicht werden. Die Aussichten, eine vollständige Deckung der Stickstoffansprüche selbst hoher, für eine intensive Reiskultur geforderter Erträge von 6 t/ha und mehr auch bei drei jährlichen Reisernten ausschließlich durch alternative, natürliche Stickstoffquellen zu erreichen, sind also durchaus vielversprechend. Die Wirtschaftlichkeit der Verwendung von Azolla und Blaualgen als Stickstoffquellen für Nareis ist vor allem von den Lohnkosten und den Stickstoffmineraldüngerpreisen vor Ort sowie den Reiserzeugerpreisen bestimmt und ist gegenwärtig nur im kaum mechanisierten Reisanbau niedrigen Lohnniveaus der sogenannten Dritten Welt gegeben, wie die zunehmende Ausbreitung der Verwendung dieser natürlichen Stickstoffquellen für Reis in Indien, China und Vietnam beweist. So ist z.B. die Azollakulturfläche Vietnams nach Dao The Tuan und Tran Quang Thuyet (1) von 40.000 ha im Jahr 1955 auf 320.000 ha im Jahre 1965 angestiegen.

#### **4. Die Glaubwürdigkeit bisheriger Ertragswerte, zukünftig Verbesserungs- und Entwicklungsmöglichkeiten**

Die Aussichten für eine weitere Steigerung und Hebung der Wirtschaftlichkeit und Effektivität dieser alternativen Stickstoffquellen für Reis berechtigen also zu großen Erwartungen. Dennoch ist eine gewisse Zurückhaltung bezüglich der Verlässlichkeit der zuvor erwähnten Stickstoffbindungs- und Ertragswerte durchaus angebracht; zum einen, da die Aussagekraft und Verlässlichkeit der verfügbaren Versuchsergebnisse durch wechselnde Umwelt- und Behandlungsfaktoren sowie unterschiedliche Azolla- und Blaualgenarten bzw. -formen und unzureichend genaue Meßmethoden der Stickstoffbindung zum Teil in Frage zu stellen ist, zum anderen, da viele sinnvolle Versuchsanordnungen und auch Versuchswiederholungen zur statistischen Absicherung bislang noch nicht durchgeführt worden sind. Die Durchführung wertvollerer, aussagekräftigerer Versuche, insbesondere zur kombinierten Verwendung von Blaualgen, Azolla und weiteren im überfluteten Reisfeld Stickstoffbindenden Organismen, vor allem unter Reis im Pflanzverband des chinesischen Reisdoppelreihensystems, sowie die züchterische Entwicklung von leistungsstärkeren, schädlings- und herbizidresistenten und weniger Phosphat benötigenden Azolla- und Blaualgenkultivaren und von schwankende Umweltbedingungen (v.a. Temperatur und Lichtintensität) tolerierenden Azollastämmen unter Ausnutzung des Genpotentials und der schon gegenwärtig vielversprechenden Möglichkeiten der genetischen Manipulation ist daher von großem Interesse. Die zuvor erwähnten Maßnahmen, wie auch die Entwicklung von die natürliche Stickstoffbindung nicht hemmenden Stickstoffdüngemitteln, werden in Verbindung mit dem Aufbau einer wirkungsvollen Organisation zur Verbesserung und Verbreitung der Nutzung solcher alternativer Stickstoffquellen in geeigneten Reisanbaugebieten der sogenannten Dritten Welt mit ihrem großen Arbeitskräftepotential eine erfolgreiche und lohnende Einsparung von Mineralstickstoffdünger mit sich bringen.

Mit der Erforschung und Erprobung weiterer stickstoffbindender Organismen, wie vor allem der als aerobisch stickstoffbindend bekannten Bakterien, wie *Beijerinckia* und *Azotobacter* und deren zusätzlichen Verwendung als Stickstoffquelle für Reis wird man dem Ziel einer völligen Unabhängigkeit von synthetischen Stickstoffquellen auch bei dreimal jährlich geforderten Reisernten von je 6 bis 10 t/ha bereits näher kommen.

## 5. Zusammenfassung

Sowohl Blaualgen als auch die *Azolla*-*Anabaena*-Symbiose stellen durch ihre Fähigkeit zur Luftstickstoffbindung unter aeroben Bedingungen unter Ausnutzung der Sonnenenergie und ihre im überfluteten Reisfeld erfüllten Umweltansprüche als natürliche Stickstoffquellen für Naßreis geeignete Organismen dar. Während sich *Azolla*-*Anabaena* (durch höhere Stickstoffbindungsraten von etwa 1,75 kg/ha u. Tag in alleiniger Kultur und von etwa 0,68 kg/ha u. Tag bei Kultur unter Reis in Doppelreihen weiten Zwischenabstands) als quantitativ bessere und andererseits in Kultur anspruchsvollere Stickstoffbinder charakterisiert, Blaualgen (in für sie allein üblicher gleichzeitiger Kultur mit Reis durch geringere Stickstoffbindungsleistungen von höchstens 0,5 kg/ha und Tag, durchschnittlich 20 – 30 kg/ha und Reisfrucht) zeichnen sich als mengenmäßig überwiegend schlechtere, aber in ihrer Kultur vergleichsweise anspruchslose Stickstoffbinder aus.

Beide Organismen benötigen für ein erfolgreiches Wachstum 15 – 20 kg  $P_2O_5$ /ha und Reisfrucht, zuweilen eine Insektizidanwendung, wogegen ein Herbizideinsatz nicht möglich ist. Bei Bewährung des ganzjährigen kombinierten Einsatzes von Blaualgen und *Azolla* sowie zusätzlicher Verwendung von *Azotobacter*-Bakterien sind bei drei jährlichen Reisernten im chinesischen Doppelreihensystem Rohreiserträge von je gut 6 t/ha zu erwarten. Schon gegenwärtig beweist die zunehmende Verwendung dieser alternativen Stickstoffquellen für Naßreis in Südasien deren Wirtschaftlichkeit.

## Summary

Blue-green algae as well as the *Azolla*-*Anabaena* symbiosis are capable of fixing elementary nitrogen aerobically by exploiting solar environmental requirements in a submerged paddy they really represent suitable nitrogen resources for lowland rice. While the *Azolla*-*Anabaena* association is characterised as the quantitatively better and on the other hand in husbandry more demanding and expensive nitrogen-fixing organism (by higher amounts of fixed nitrogen of about 1,75 kg/ha and day in sole culture, approximately 0,68 kg/ha and day in combined culture with rice in double rows of wider interspace), blue-green algae distinguish themselves as in quantity predominantly worse but in their cultivation comparatively easily satisfied nitrogen-fixing organisms (by a minor nitrogen-fixing capacity of 20 – 30 kg/ha an rice crop not exceeding 0,5 kg/ha and day in exclusively usual combined cultivation with rice). The two organisms require a phosphorous application of about 15 – 20 kg  $P_2O_5$ /ha and rice crop, sometimes an application of insecticides and prevent the use of herbicides. If proving satisfactory, the permanent combined use of blue-green algae and *azolla* as well as the additional use of *Azobacter*-bacteria combined with three annual rice crops in double rows will give rise to paddy yields of about 6 t/ha each. Already at present the increasing use of these natural nitrogen resources in South Asia is proving their profitability.

## Literatur

1. Dao, the Tuan; Tran Quang Thuyet, 1978: Use of azolla in rice production in Vietnam. – Nitrogen and rice symposium, IRRI, Los Banos
2. Jagannathan, R.; Kannanijan, S.; Palanijandi, V.G., 1978: Azobacter inoculation on rice crop. – IRRN, Vol. 3, No. 4,20
3. Liu-Chung-Chu, 1979: Studies on the cultivation of azolla in rice fields. – IRRN, Vol. 4, No. 1,20
4. Liu-Chung-Chu, 1978: The use of azolla in rice production in China. – Nitrogen and rice symposium, IRRI, Los Banos
5. Singh, P.K., 1978: Use of azolla in rice production in India. – Nitrogen and rice symposium, IRRI, Los Banos
6. Venkatataman, G.S., 1978: Algal inoculation of rice fields. – Nitrogen and rice symposium IRRI, Los Banos

Weitere Literaturangaben sind über den Verlag vom Verfasser erhältlich.