

Die Düngung von Sumpfreis

Erfahrungen aus Süd- und Ostasien

The manuring of paddy-rice — Experiences from South and East Asia

Von Georg Kemmler^{o)}

1. Einleitung

Die Bedeutung von Reis als Grundnahrungsmittel für den größeren Teil der Erdbevölkerung ist bekannt. Es ist weiter bekannt, daß sich die Haupt-Anbauggebiete und -Verbrauchszentren in den dicht besiedelten Regionen Süd- und Ostasiens befinden, in Gebieten mit vorwiegend ungenügender Ernährung und starkem Bevölkerungswachstum. Wie die FAO-Statistiken und andere Untersuchungen ausweisen, liegen die Reiserträge in den meisten tropischen Anbaugebieten bei weitem niedriger als etwa in den Ländern des Mittelmeer-Raumes, in Japan, Australien oder den USA.

Niedrige Reiserträge in den Tropen sind keine Notwendigkeit. Nach unseren heutigen Kenntnissen, die wir zum Teil den Forschungsergebnissen aus dem International Rice Research Institute (IRRI) in Los Baños / Philippinen verdanken, können auch die armen Reisbauern Südostasiens ihre Ernten mit wirtschaftlichem Nutzen steigern, wenn sie die Möglichkeit erhalten (und ausnutzen), besseres Saatgut von düngewürdigen Sorten zu verwenden, Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel einzusetzen sowie ihre Anbaumethoden zu verbessern, wozu auch die Kontrolle des Bewässerungswassers gehört und damit die Möglichkeit, den Zeitpunkt des Auspflanzens in die Hand zu bekommen. Dann können sie ggf. statt *einer* Ernte im Jahr auch zwei oder drei erzielen.

2. Düngewürdige Sorten

Düngeranwendung allein ist keine Garantie für bessere Erträge. Es gibt im Gegenteil viele Beispiele dafür, daß durch eine Düngung lediglich das vegetative Wachstum gesteigert wird, wobei es durch gegenseitige Beschattung zu einer Verminderung der Assimilationsleistung je Einheit Blattfläche kommen kann und infolge der Verlängerung der Internodien zu Lagerfrucht und Ertragsminderung.

^{o)} Dr. Georg Kemmler, Dipl.-Ldw., Leiter der Arbeitsgruppe für tropische und subtropische Landwirtschaft der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Büntehof, Hannover (Direktor: Prof. Dr. Konrad Mengel).

Anschrift: 3 Hannover-Kirchrode, Bünteweg.

Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgsversprechende Einführung der Mineraldüngung im tropischen Reisbau war die Züchtung frühreifer, kurzstrohiger Indica-Sorten mit aufrecht stehenden Blättern, die auf Düngereinsatz mit einer erheblichen Ertragssteigerung reagieren. Sowohl in Los Baños als auch in den nationalen Forschungs-Instituten südostasiatischer Länder sind solche Sorten entwickelt worden (Taichung Native 1, IR-8, IR-5, ADT 27 und andere). Sie befinden sich in vielen Ländern der Region in der Prüfung und z. T. schon im großflächigen Anbau.

Tabelle 1: Wirkung der N-Düngung auf den Ertrag von zwei Indica-Sorten. Chandler, 1966.

N-Gabe kg/ha	Ertrag in t/ha	
	Taichung Native 1	Intan (philipp. Sorte)
0	5.34	2.53
30	6.06	1.69
60	6.95	1.62
90	6.88	1.41
105	7.15	1.38

3. Bodendynamische Vorgänge nach Überfluten des Reisfeldes

In den meisten Anbaugeländen wird der Reis ausgepflanzt, nachdem das Feld bearbeitet und bewässert worden ist. Kenntnis der Vorgänge, die sich nach Überfluten des Bodens abspielen, ist wichtig für den richtigen Einsatz der Düngung.

Nur das auf dem Feld stehende Wasser selbst und die obersten 1 bis 10 mm der Bodenoberfläche werden vom Luftsauerstoff beeinflusst. Darunter befindet sich der Boden in mehr oder weniger reduziertem Zustand. Die Bodenluft ist durch das Bewässerungswasser verdrängt. Hohe Temperaturen (oft 30° und mehr) fördern die mikrobielle Aktivität. Nach dem Verbrauch des ursprünglich vorhandenen Bodensauerstoffs spielen sich anaerobe Prozesse ab, wobei die Mikroorganismen ihre Energie durch Reduktion von Fe^{III} zu Fe^{II}, Mn^{IV} zu Mn^{II}, SO₄⁻⁻ zu S⁻⁻ usw. gewinnen sowie durch anaerobe Gärung unter Produktion von niedermolekularen Fettsäuren (Essigsäure, Buttersäure), Methan und Ammoniak.

3.1. Stickstoffumsatz

3.1.1. Mögliche N-Verluste

Dieses Ammoniak aus der Mineralisation der organischen Substanz wie auch dasjenige aus Ammonium- oder Harnstoffdüngung kann in der obersten oxydierten Bodenschicht durch Nitrifikation in Salpeterstickstoff überführt werden. Das Nitrat wird bekanntlich vom Boden nicht sorbiert, sondern wandert durch Diffusion und Perkolation nach unten. In der Reduktionszone erfolgt Denitrifikation, so daß der Stickstoff schließlich

als N_2 oder in Gestalt gasförmiger Zwischenprodukte entweicht. Die Verluste durch Denitrifikation sind anscheinend größer als die durch Auswaschung.

3.1.2. Folgerungen für die Düngung

Die Erkenntnisse über den N-Umsatz werden in der praktischen Düngung beachtet. Es werden keine Salpeterdünger angewandt. Die Grunddüngung erfolgt erst kurz vor dem Überfluten, damit NH_4^+ nicht zwischenzeitlich in NO_3^- umgewandelt wird. Die Dünger werden in die ganze Pflugfurche eingearbeitet, um nicht nur die oberste (später in oxydiertem Zustand verbleibende) Schicht anzureichern. Je tiefer die Pflugfurche ist, um so kleiner ist der relative Anteil der obersten, oxydierten Bodenschicht. Es sind überdies Versuche gemacht worden, mit Hilfe besonderer Geräte auch die Kopfdüngung tiefer einzubringen. In der Reduktionszone, wo die NH_4^- -Ionen der Nitrifikation nicht ausgesetzt sind, werden sie von den Oberflächen der Bodenkolloide sorbiert. Sie sind dadurch weitgehend vor Auswaschung geschützt und bleiben pflanzenverfügbar.

3.2. Kali und Phosphat

In der reduzierenden Schicht des überfluteten Reisbodens sind Kalium und Phosphorsäure leichter verfügbar als im unbewässerten Ackerboden. Das bedeutet für die praktische Düngung, daß Phosphate nicht so schnell festgelegt werden, während die Beweglichkeit des Kalis zunimmt, worauf besonders in leichten Böden zu achten ist.

3.3. Die Reiswurzel im reduzierenden Bodenmedium

Wie kommen die Reiswurzeln mit den reduzierenden Verhältnissen im Boden zurecht? Im Gegensatz zu normalen Landpflanzen haben Reispflanzen die Fähigkeit, Sauerstoff aus den oberirdischen Teilen in die Wurzeln zu transportieren, damit diese atmen können. Darüber hinaus sind Reiswurzeln in der Lage, die Rhizosphäre aus dem reduzierten in den oxydierten Zustand zu überführen. Man erkennt dies an dem braunen Mantel, mit dem sich die Reiswurzeln umgeben, indem sie die Fe^{++} -Ionen des Bodens zu einem Fe^{+++} -Oxydhydrat-Niederschlag oxydieren.

3.3.1. Physiologische Erkrankungen

Es kann aber auch der Fall eintreten, daß die Oxydationskraft der Reiswurzeln gegen die reduzierende Wirkung des überfluteten Bodens nicht mehr ankommt, besonders auf degradierten Reisböden oder solchen mit zu hohem Humusgehalt. Da die Wurzeln nicht mehr in der Lage sind, das zweiwertige Eisen zu oxydieren, kommt es zu vermehrter Fe-Aufnahme und zum Auftreten einer Reihe von physiologischen Erkrankungen. Die Wurzeln sind dem Einfluß von H_2S und anderen Stoffwechselprodukten der anaeroben Gärung ausgesetzt. Diese Substanzen hemmen die Wurzelatmung und behindern damit die Nährstoffaufnahme. Typisch ist in solchen Fällen z. B. die Beobachtung von Nährstoffmangelsymptomen (u. a.

Kalimangel) oft verbunden mit Eisentoxizität. Sie werden in Japan als „akagare“ bezeichnet, in Ceylon als „bronzing“, andere Erscheinungen in Japan als „akiochi“, in Taiwan als „suffocation disease“. Sekundär erfolgt Befall mit pilzlichen Schädlingen wie Helminthosporium.

Wichtig zur Verhütung oder Bekämpfung solcher physiologischen Erkrankungen sind neben verstärkter Düngung mit dem betreffenden Nährstoff alle Maßnahmen, durch die Luft in den Boden gelangt wie Untergrunddrainage oder vorübergehendes Aussetzen der Bewässerung. Erst wenn die normale Atmung wieder gewährleistet ist, können die Reiszurzel von dem Angebot an verfügbaren Nährstoffen im Boden Gebrauch machen.

4. Nährstoffentzug

Infolge der Mannigfaltigkeit von Sorten, Anbauverhältnissen und Erträgen schwanken die Zahlen über die Aufnahme von Nährstoffen durch die Reispflanze außerordentlich. Folgende Angaben wurden der neueren Literatur entnommen:

Tabelle 2: Nährstoffentzug bei mittleren und hohen Erträgen

Land	Ertrag (t/ha)		Nährstoffentzug (kg/ha \approx lbs/acre)			
	Körner	Stroh	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Quellen
Japan (1)	4.28	6.06	91	46	142	Yamasaki 1963
„ (2)	5.0		93	58	149	Yamagata 1965
„ (3)	7.0		114	62	182	Nagano 1965
„ (4)	10.24		195	100	333	Yamasaki 1963
Taiwan/China	4.5	4.3	84	41	101	Chiu 1963
„ (2. Ernte)	3.32	4.25	81	32	90	Chiu 1963
Indien	2.5	5.0	73	21	110	FAI 1966/67

Bei Höchsterträgen werden neben hohen Mengen an NPK auch erhebliche Mengen an weiteren Nährstoffen entzogen, wie ein Vergleich der Beispiele Japan (1) und Japan (4) zeigt.

Tabelle 3: Nährstoffentzug in kg je ha und je t Braunreis

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	MnO	SiO ₂	Ertrag t/ha
<i>Entzug/ha</i>								
(1)	91	46	142	32	20	4	855	4.28
(4)	195	100	333	64	—	10	2 048	10.24
<i>Entzug/t</i>								
(1)	21	11	33	7	5	0.9	200	4.28
(4)	19	10	33	6	—	1.0	200	10.24

Dem muß durch verstärkte Nährstoffzufuhr, sei es über Stallmist oder Kompost, sei es über die Mineraldüngung, Rechnung getragen werden. Besonders auffällig ist in diesem Zusammenhang der hohe Entzug von Silikat, der die japanischen Forscher veranlaßt hat, die Anwendung von Silikatschlacke oder anderem Si-haltigen Material zu empfehlen. Interessant an Tab. 3 ist ferner, daß sich das Verhältnis der aufgenommenen Nährstoffe auch bei einer Verdoppelung des Ertrages praktisch nicht ändert.

Die Höhe des Nährstoffentzuges gibt zwar einen guten Hinweis auf den Bedarf der Pflanze und auf die notwendige Zufuhr an Düngernährstoffen, die Entzugszahlen können aber nicht den erforderlichen Düngermengen gleichgesetzt werden, da die Düngernährstoffe infolge Auswaschung oder Festlegung im Boden nicht vollständig von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden. Wie wir oben sahen, kann auch die Assimilationsfähigkeit der Reiwurzeln gehemmt sein. Andererseits ist das Nachlieferungsvermögen des Bodens sowie die eventuelle Zufuhr von Nährstoffen durch das Bewässerungswasser zu berücksichtigen.

5. Nährstoffnachlieferung über den Boden und das Bewässerungswasser

5.1. Stickstoff

Die Freisetzung von Ammonium-Stickstoff durch die Mineralisation organischer Substanz wurde schon erwähnt. Hinzu kommt die Bindung von Luftstickstoff durch N-autotrophe Mikroorganismen wie blaugrüne Algen. Die Menge an mikrobiell gebundenem Stickstoff wird mit 15 bis 50 kg N/ha angegeben (Takahashi, 1964). Weiter ist bekannt, daß durch atmosphärische Entladungen elementarer Stickstoff in Nitrat umgewandelt wird. Die Angaben über den Anfall von gebundenem Luftstickstoff in den Niederschlägen schwanken zwischen 1 und 50 kg/ha N. Sicherlich wird die Reispflanze von diesen N-Quellen profitieren, zumindest solange kein Stickstoff aus der Düngung zur Verfügung steht. Aber schon zur Erzielung mittlerer Erträge reichen diese Mengen nicht mehr aus. Stickstoffdüngung ist daher ein unbedingtes Erfordernis im Reisbau, zumal die neuen ertragreichen Sorten darauf gezüchtet sind, hohe N-Gaben zu vertragen und in hohe Erträge umzusetzen. Das Bewässerungswasser kommt als N-Lieferant praktisch nicht in Frage.

5.2. Phosphat und Kali

Das Nachlieferungsvermögen für Phosphorsäure und Kali ist sehr unterschiedlich. Es gibt Standorte, auf denen in Versuchen auch nach jahrelanger Unterlassung der P- oder K-Düngung kein Minderertrag gegenüber NPK beobachtet wurde. Andererseits haben IRRI-Wissenschaftler bei Erhebungen über das Auftreten physiologischer Erkrankungen im südostasiatischen Raum wiederholt P- und K-Mangelsymptome festgestellt (IRRI 1966). Überhaupt mehren sich die Fälle, in denen die N-Düngung nicht voll zur Wirkung gelangt, wenn sie nicht durch ausreichende Gaben von

P und K ergänzt wird (IPSA 1967/68, Jakate 1966, Mukerjee 1964, Weerawickrema & Constable 1967). Das gilt besonders beim Anbau von ertragreichen, auf Düngung ansprechenden Sorten.

Das Bewässerungswasser enthält nur Spuren von P, während es für die K-Versorgung eine gewisse Bedeutung besitzt.

Tabelle 4: Mittlerer Gehalt an einigen Mineralstoffen im Flußwasser (in ppm). Kobayashi 1958, 1960.

Land	Ca	Mg	Na	K	Fe
Japan	8.8	1.9	6.7	1.2	0.24
Thailand	19.8	3.7	10.7	2.5	0.04
	Cl	SiO ₂	PO ₄	NO ₃ —N	NH ₄ —N
Japan	5.8	19.0	0.02	0.26	0.05
Thailand	12.7	16.0	0.01	0.08	0.06

Für eine Reis-Wachstumsperiode werden etwa 10.—18.000 m³/ha Bewässerungswasser verbraucht. In Südost-Asien stammt ein großer Teil davon aus dem Regen. Wenn man der Einfachheit halber annimmt, daß dadurch z. B. in Thailand das Bewässerungswasser auf die Hälfte des in der Tabelle angegebenen K-Gehaltes verdünnt wird, kann man die für Japan angegebene Zahl von 1.2 ppm zugrunde legen und kommt auf eine Zufuhr von 12—22 kg/ha K = 14—26 kg/ha K₂O. Sicherlich kann diese Kalimenge die Kalidüngung nicht ersetzen, aber sie wirkt Kali-sparend, da sie die unvermeidlichen Verluste im Sickerwasser oder im oberflächlich abfließenden Bewässerungswasser kompensieren hilft.

6. Düngungsversuche

Auch bei Kenntnis des Nährstoffentzuges und beim Vorliegen von Bodenuntersuchungsergebnissen und chemischen Analysen des Bewässerungswassers wird es immer zweckmäßig sein, die Höhe der erforderlichen NPK-Gaben über Düngungsversuche zu ermitteln. Dieser Weg wird in vielen Entwicklungsländern konsequent beschritten, teilweise mit Unterstützung der FAO über Bodenfruchtbarkeits-Projekte des United Nations Development Program oder über das Freedom From Hunger Campaign Fertilizer Program. Dabei werden simple Demonstrationsversuche (Schema: O, N, NP, NPK oder O, NPK, N₂P₂K₂) in großer Zahl angelegt, um eine möglichst ausgedehnte Fläche des jeweiligen Anbaugbietes zu erfassen. Hinzu kommen Exaktversuche, in denen die Wirkung der einzelnen Nährstoffe geprüft wird. Fundierte Aussagen über die optimale Anwendungshöhe von N, P und K lassen sich erst machen, wenn die Prüfung mehrere Düngungsstufen der Nährstoffe umfaßt.

Tabelle 5: Ergebnisse von Reisdüngungsversuchen in Ghana. FAO Fertilizer Program.

Düngung	Ertrag t/ha	Mehrertrag %	Wert des Mehrertrages minus Kosten d. Düngung US\$	durch Kosten d. Düngung
O	1.38	—	—	—
N	1.70	23	22	3.3
P	1.84	33	34	4.3
NP	2.06	50	46	3.4
K	1.67	21	24	7.6
NK	1.92	39	39	4.0
PK	2.16	57	61	5.4
NPK	2.67	93	100	5.3
2 NPK	3.09	124	118	3.5

Durchschnitt von 92 Versuchen in der Savanne, 1961—64, Düngergabe je 22.4 kg/ha N, P₂O₅, K₂O.

Als Beispiel für einfache Exaktversuche sind in Tab. 5 Ergebnisse aus dem FAO Fertilizer Program in Ghana angeführt (einheimische Sorten, niedrige Düngergaben, mäßige Erträge, aber profitable Ertragssteigerung durch Düngung).

Versuchsergebnisse, die eine Aussage über die empfehlungswerte Höhe der N-, P- und K-Gaben erlauben, liegen vom Ceylon Fertilizer Project vor, das seit 1964 läuft. Hier betragen die Nährstoffgaben 50, 100 und 150 kg/ha. Geprüft wurde der jeweilige Nährstoff in Gegenwart einmal von 100 und einmal von 150 kg/ha der beiden anderen Nährstoffe bei Verwendung von H—4 oder ähnlichen in Ceylon gezüchteten ertragreichen Sorten.

Die Art der Versuchsanstellung erlaubte es, durch mathematische Auswertung über Ertrags- und Profitgleichungen den erzielbaren Höchstertag und die optimalen Düngergaben zu bestimmen. Danach ließen sich in Gegenwart einer gemittelten Gabe von 125 kg/ha der anderen Nährstoffe erzielen

durch 146 kg/ha N	ein Mehrertrag von 1 750 kg Paddy
„ 166 „ P ₂ O ₅	„ „ „ 1 650 „ „
„ 160 „ K ₂ O	„ „ „ 1 850 „ „

Die optimalen Düngergaben, bei denen mit dem jeweiligen Nährstoff der höchste Profit je ha erzielt wird, lagen bei

120 kg/ha N, 128 kg/ha P₂O₅ und 146 kg/ha K₂O.

Ergebnisse von vielen Tausend Versuchen liegen aus weiteren Ländern — besonders aus Indien — vor. Sie wurden aber zumeist mit den ortsüblichen Sorten und entsprechend niedrigen Düngergaben durchgeführt.

Tabelle 6: Ergebnisse von Reisdüngungsversuchen in Ceylon. Weerawickrema und Constable, 1967.

Düngung kg/ha			Ertrag t/ha	Mehr- ertrag t/ha	Düngung kg/ha			Ertrag t/ha	Mehr- ertrag t/ha
N	P ₂ O ₅	K ₂ O			N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Stickstoff-Reihe									
0	0	0	2.55		0	0	0	2.33	
50	100	100	3.44	0.89	50	150	150	3.64	1.31
100	100	100	4.00	1.46	100	150	150	4.03	1.70
150	100	100	4.10	1.55	150	150	150	4.13	1.80
Phosphat-Reihe									
0	0	0	2.43		0	0	0	2.23	
100	50	100	3.45	1.02	150	50	150	3.74	1.51
100	100	100	3.80	1.37	150	100	150	3.97	1.74
100	150	100	3.98	1.55	150	150	150	4.02	1.79
Kali-Reihe									
0	0	0	2.70		0	0	0	2.50	
100	100	50	3.88	1.18	150	150	50	4.03	1.53
100	100	100	4.38	1.68	150	150	100	4.28	1.78
100	100	150	4.44	1.74	150	150	150	4.49	1.99

Durchschnitt von je 2 Wiederholungen in 10 Distrikten, Yala-Season 1967, ursprüngliche Angaben in bushels/acre.

Tabelle 7: Reis- und Düngemittelpreise in einigen Ländern Süd- und Ostasiens 1967 (in U. S. cents/kg). v. Uexküll 1968, IPSA 1968.

Land	Reis	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	kg Reis		
					benötigt 1 kg N	z. Bezahlung 1 kg P ₂ O ₅	von 1 kg K ₂ O
Japan	28.6	26.5	22.8	9.5	0.9	0.8	0.3
Philippinen	9.2	31.0	25.7	10.2	3.4	2.8	1.1
Malaysia	8.8	32.5	25.0	10.3	3.7	2.8	1.2
Thailand	6.5	27.9	28.1	12.3	4.3	4.3	1.9
Indien	6.0	32.4	29.3	10.3	5.4	4.9	1.7

(N im Ammonsulfat, P₂O₅ im Superphosphat, K₂O im Chlorkalium 60 % K₂O, Indien z. T. Mischdünger)

Wichtig für die Schlußfolgerungen aus Düngungsversuchen ist, daß sie sich auf eine große Anzahl von Ergebnissen stützen, die über mehrere

Jahre gewonnen wurden, möglichst von den gleichen Versuchsflächen. Ferner ist (wie in den oben zitierten Beispielen) eine ökonomische Auswertung unerlässlich. Die schönsten Ertragssteigerungen helfen nichts, wenn der dafür aufgewendete Dünger teurer ist als der Verkaufserlös des Mehrertrages.

7. Rentabilität der Düngung

Es ist bekannt, daß in Entwicklungsländern im allgemeinen die Preise für Agrarprodukte niedriger, die Düngemittelpreise dagegen höher sind als in den Industrieländern. Diese ungünstigere Preisrelation schließt die Anwendung von Mineraldüngern nicht aus, solange sie noch einen profitablen Mehrertrag erbringt.

Wie Tab. 7 zeigt, müssen z. B. in Indien durch 1 kg N mindestens 5—6 kg Reis mehr erzeugt werden oder durch 1 kg K_2O etwa 2 kg Reis, damit die Düngung sich bezahlt macht. Tatsächlich wird der Erzeugungswert von 1 kg Mineraldüngerstickstoff in Indien mit etwa 10 kg Reis angegeben (FAO 1966). Im Mittel von 2 833 indischen Reisdüngungsversuchen, bei denen 22.4 kg/ha K_2O in Gegenwart von je 22.4 kg/ha N und P_2O_5 geprüft wurden, lag der Erzeugungswert von 1 kg K_2O bei 7.6 kg Reis (Panse und Khanna, 1964).

Eine zusammenfassende Auswertung zahlreicher Düngungsversuche durch die FAO ergab folgendes Resultat für die Rentabilität der Reisdüngung in verschiedenen Ländern Südostasiens:

Tabelle 8: Wirkung der Mineraldüngung zu Reis (Landesdurchschnitte). FAO, 1966.

Land	Ertrag ungedüngt kg/ha	Mehrertrag durch 30 kg/ha Reinnährstoff			Wert des Mehrertrages minus Kosten der Düngung		
		N	P_2O_5 kg/ha	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
					US\$/ha		
Burma	1 432	142	79	29	-0.4	-4.4	-1.3
Ceylon	1 476	156	168	30	18.5	23.6	1.7
Ost-Pakistan	991	315	214	99	47.4	31.4	14.4
Indien	1 230	297	194	*)	30.5	16.4	*)
Thailand	1 172	269	265	96	7.9	7.3	1.3
Süd-Vietnam	1 271	162	147	21	4.6	5.1	-2.7
Süd-Korea **)	2 350	480	28	69	100.9	-4.5	10.9

*) nicht geprüft

**) je 60 kg/ha Reinnährstoff

Diese Werte wurden mit den herkömmlichen Sorten erzielt. Bei Einsatz der ertragreichen Neuzüchtungen sind günstigere Ergebnisse zu erwarten (vgl. Tab. 6). Immerhin zeigen die Zahlen der Tab. 8, daß die Anwendung der Mineraldüngung zu Reis selbst bei den ungünstigen Preisrelationen zwischen Agrarprodukten und Düngemitteln bis auf wenige Ausnahmen auch unter den bisherigen Bedingungen rentabel ist.

8. Düngungsempfehlungen

Aufgrund der Ergebnisse von Düngungsversuchen sind in den verschiedenen Reis-anbauenden Ländern offizielle Düngungsempfehlungen entwickelt worden, die sich zumeist auf Gebiete mit definierten Klima-, Boden- und Anbaubedingungen beziehen. Aus der Vielzahl der Möglichkeiten sollen nur zwei Länder als Beispiele herangezogen werden, China (Taiwan) und Indien.

8.1. Taiwan

In Taiwan liegen die Empfehlungen zwischen

60	und	120	kg/ha	N
30	„	80	„	P ₂ O ₅
40	„	90	„	K ₂ O

(Provincial Department of Agriculture & Forestry, Dec. 1965)

Im allgemeinen werden die höheren N-Gaben auf Böden und zu Sorten empfohlen, die besser auf Stickstoffdüngung ansprechen. Stärkere Kali- und Phosphatdüngung wird besonders bei lateritischen Böden betont. Auch auf leichten Sandböden und schlecht gedränten Reisfeldern sind höhere Kaligaben angebracht. Für die erste Reisernte wird gewöhnlich mehr Stickstoff empfohlen als für die zweite. Im Falle von P und K sind die Empfehlungen gleich hoch für die erste und die zweite Reiskultur im Jahr.

Die mit diesen Düngermengen erzielbaren Erträge liegen bei 5 t/ha und darüber, während der Durchschnittsertrag in den Jahren 1964—66 3 t/ha betrug (erste Ernte etwas darüber, zweite etwas darunter). Aus offiziellen Angaben über die Düngeranwendung zu Reis errechnen sich für den gleichen Zeitabschnitt mittlere Düngergaben je Reisernte von 137 kg/ha N, 39 kg/ha P₂O₅ und 35 kg/ha K₂O. In der Praxis lagen also die N-Mengen über und die K-Mengen unter den offiziellen Empfehlungen.

8.2. Indien

In Indien ist zu unterscheiden zwischen den (sehr detailliert ausgearbeiteten) Empfehlungen für herkömmliche Sorten und denjenigen für die neuen ertragreichen Reissorten, die teils in den indischen Forschungs-Instituten entwickelt, teils aus Taiwan oder vom IRRI übernommen wurden. Naturgemäß liegen die empfohlenen Gaben für die traditionellen Reissorten niedrig. Als Optimalgaben für N und P wurden aus Tausenden von Feldversuchen für die großen Regionen folgende Mengen errechnet:

Tabelle 9: Optimale N- und P-Gaben zu Reis in Indien (lbs/acre \cong kg/ha). Abraham 1965.

Zone	N	P ₂ O ₅
Nordost	30	40
Nord	50	35
Zentrum	40	35
Süd	50	25

Im einzelnen schwanken die Empfehlungen zwischen

17 und 67 kg/ha N
 11 und 50 „ P₂O₅
 0 und 50 „ K₂O (FAI 1966/67).

Die empfohlenen Nährstoffgaben für die neuen Hohertrags-Sorten liegen beträchtlich höher:

67—135 kg/ha N, 34—74 kg/ha P₂O₅, 25—67 kg/ha K₂O (FAI 1966/67).

Sie entsprechen beim Stickstoff den Empfehlungen in Taiwan. Es ist anzunehmen, daß auch die P- und K-Gaben in Zukunft stärker angehoben werden.

Wie wir in Tab. 3 sahen, ändert sich das Verhältnis der durch die Reispflanzen entzogenen Nährstoffe beim Anstieg der Erträge kaum. Wenn bei niedrigem Ertragsniveau im Vertrauen auf die K-Nachlieferung aus dem Boden hauptsächlich mit Stickstoff gedüngt wurde, muß bei erhöhter Düngung und zunehmenden Erträgen die Zufuhr von K stärker gesteigert werden, da bei der Intensivierung des Anbaus die Bedeutung des Bodens als Nährstofflieferant abnimmt.

9. Zeitpunkt der Düngung

9.1. Grunddüngung

Stallmist, Kompost oder Gründüngungspflanzen werden möglichst schon beim Pflügen des Reisfeldes in den Boden eingearbeitet, spätestens dann, wenn nach dem Überfluten das Feld durch Schlepper, Wasserbüffel oder mit Handarbeitsgeräten durchgewühlt und für das Verpflanzen vorbereitet wird.

Bei der Anwendung der Mineraldünger unterscheidet man zwischen Grunddüngung und Kopfdüngung. Es ist zweckmäßig, die Grunddüngung vor dem Verpflanzen durchzuführen, damit die Düngernährstoffe beim Vorbereiten des Feldes (puddling) in die gesamte bearbeitbare Schicht eingebracht und gleichmäßig im Boden verteilt werden (vgl. 3.1.2.).

Nach der herkömmlichen Methode wurden bis zu $\frac{2}{3}$ der vorgesehenen Stickstoffmenge und die gesamte Phosphat- und Kaligabe vor dem Verpflanzen ausgestreut.

* Tabelle 10: Empfohlene Düngungszeitpunkte zu Reis, Taiwan. Taiwan Potash Research Foundation, 1968.

Zeit der Düngung	Anteil an der Gesamt- Gabe (%)			Bemerkungen	Zweck der Düngung
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
Grunddüngung vor dem Verpflanzen	20— 40	50— 100	0— 20	geringere Gabe bei Sandböden, höhere auf schweren Böden und bei Sorten mit schwacher Bestockung	Verringerung des Schocks durch das Verpflanzen, Förde- rung der Bestockung
Kopfdüngung	15—	0—		geringere N-Gabe dort, wo Gründüngung angewandt wurde	Förderung der Bestockung
1) 2—3 Wochen nach dem Verpflanzen °)	25	50	40		
2) 3—4 Wochen nach dem Verpflanzen °°)	20— 30	—	40— 60	Stickstoffgabe nach dem Wachstumszustand	Förderung einer hohen Zahl von Rispen und Blütenanlagen, Sicherung ausreichender Er- nährung bis zur Ährenbildung
3) Ausbildung der Rispenanlage (panicle primordial formation stage)	20— 25	—	0— 20	Stickstoffgabe nach dem Wachstumszustand	Sicherung einer hohen Zahl voll ausgebildeter Körner
4) Rispen schieben (full heading stage)	zusätz- lich 10 kg/ha N	—	—	nur bei günstigen Wetter- bedingungen	Erhöhung des 1000-Korn- Gewichts

°) erste Reiskultur 15—20 Tage, zweite Reiskultur 10—14 Tage nach dem Verpflanzen

61 °°) erste Reiskultur 25—30 Tage, zweite Reiskultur 17—22 Tage nach dem Verpflanzen

Selbstverständlich erhalten auch die Saatbeete eine ausreichende NPK-Düngung, damit kräftige junge Reispflanzen angezogen werden, die den Schock des Verpflanzens besser überstehen können.

9.2. Kopfdüngung

Die Wissenschaftler an den Forschungsinstituten haben durch Versuche sehr genau die Wachstumsstadien ermittelt, in denen eine zusätzliche Nährstoffgabe zu einer Ertragssteigerung führt. Früher galten diese Untersuchungen im wesentlichen dem Stickstoff. Seit höhere Erträge erzielt werden, sind die Ansprüche an die Phosphat- und Kalinachlieferung gestiegen, so daß auch diesen Nährstoffen stärkere Beachtung geschenkt wird. Tab. 10 faßt die Ergebnisse zahlreicher Feldversuche in Taiwan zusammen.

Höhe und Zeitpunkt der Kopfdüngung sind auch sortenbedingt. Bei Sorten, die zu schwacher Bestockung neigen, wird man durch höhere Grunddüngung und frühe N-Kopfdüngung die Bestockung anregen. Umgekehrt wird man bei Sorten mit starker Bestockung und bei einem Klima, das eine längere Bestockungsperiode fördert, durch Entwässerung und Kali-Kopfdüngung das Stickstoffangebot vorübergehend drosseln, um die Ausbildung von zu vielen, nicht mehr zur Rispenbildung gelangenden Stocktrieben zu vermeiden. Eine spätere N-Kopfdüngung zur Förderung der Rispen- und Körnerausbildung ist in jedem Falle anzuraten.

In Indien lauten die Empfehlungen für die einzelnen Staaten und deren Anbau-Regionen unterschiedlich. Bei der Düngung der neuen, ertragreichen Reissorten wird fast ausnahmslos empfohlen, $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$ des Stickstoffs und die gesamte P- und K-Menge vor dem Auspflanzen anzuwenden, den Rest des Stickstoffs entweder in einer Gabe 3—4 Wochen nach dem Verpflanzen oder in zwei Gaben 3 Wochen und 6 Wochen nach dem Auspflanzen (FAI 1966/67). Daß auch in Indien eine zusätzliche Kalidüngung zusammen mit der N-Kopfdüngung Mehrerträge bei Hochleistungssorten verspricht, beweisen Ergebnisse von Demonstrationsversuchen, die 1966/67 und 1967/68 in den Staaten Madras und Andhra Pradesh durchgeführt wurden. Aus der Gesamtzahl von 128 Versuchen sei das Durchschnittsergebnis der 64 Versuche von 1967/68 aus dem Staate Madras wiedergegeben, in denen einheitlich die Sorte ADT 27 geprüft wurde.

10. Düngerformen

Als Einzeldünger wird Stickstoff gewöhnlich in Form von Ammoniumsulfat oder Harnstoff angewandt, gelegentlich auch als Ammoniumchlorid oder Kalkstickstoff. Kalkstickstoff eignet sich nur als Grunddünger und muß 1—2 Wochen vor dem Verpflanzen gestreut werden, damit das Cyanamid in Ammonium umgesetzt ist, bevor der Düngerstickstoff mit den Pflanzenwurzeln in Berührung kommt. Im Falle von degradierten oder humusreichen Böden mit der Gefahr von Wurzelvergiftung durch H_2S wird die Anwendung von Ammoniumsulfat nicht empfohlen (vgl.

3.3.1.). Nitrate eignen sich nicht zur Grunddüngung (vgl. 3.1.1.—2.), allenfalls zur Kopfdüngung, wenn im fortgeschrittenen Wachstumsstadium die Reispflanzen oberflächlich ein Netz von aktiven Wurzeln ausgebildet haben, die in der Lage sind, den Nitratstickstoff aufzunehmen, noch ehe er in die reduzierende Bodenschicht gelangt und durch Denitrifikation verloren gehen kann.

Tabelle 11: Zusätzliche Kalidüngung zu Reis, IPSA 1967/68.

Sorte ADT 27	Standard-Empfehlung			Doppelte Kaligabe		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Grunddüngung kg/ha	34	50	34	34	50	34
Kopfdüngung kg/ha	34	—	—	34	—	34
Gesamt-Düngergabe kg/ha	68	50	34	68	50	68
Durchschn.-Ertrag	4.63 t/ha			5.16 t/ha		
Mehrertrag durch doppelte K-Gabe	—			531 kg/ha		
Geldrohertrag minus Düngerkosten	1 924 Rs/ha			2 153 Rs/ha		
Reingewinn durch doppelte Kaligabe	—			229 Rs/ha		

Falls der Stickstoff in der Form von Mehrnährstoffdüngern angewandt wird, ist auf die obigen Zusammenhänge ebenfalls Rücksicht zu nehmen.

Als Phosphatdüngemittel für den Reisanbau kommen sowohl Superphosphat oder Doppel- bzw. Triple-Super in Frage als auch Thomasphosphat oder Glüh- und Sinterphosphate wie Rhekaphos oder das japanische „Fused Magnesium Phosphate“. In tropischen Anbaugebieten schneiden häufig auch feingemahlene Rohphosphate als P-Dünger relativ günstig ab. Dort, wo mit Schäden durch H₂S zu rechnen ist, wird man mit der Anwendung von einfachem Superphosphat (single super) vorsichtig sein. Kali wird gewöhnlich in Form des billigeren Kaliumchlorid angewendet.

Zur Grunddüngung werden in vielen Fällen fertige NPK-Mischungen empfohlen. Das gilt besonders für Entwicklungsländer, wo die landwirtschaftlichen Betriebe klein sind und man bei den Bauern keine größeren Kenntnisse über die Anwendung von Einzeldüngern voraussetzen kann.

Außer der Düngung mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali ist auf sauren Böden auch eine Kalkung angebracht, vor allem dort, wo der pH-Wert auf 5.5 oder darunter abgesunken ist.

Bei sehr hohen Erträgen oder beim Vorliegen extremer Bodenverhältnisse können weitere Düngungsmaßnahmen erforderlich sein, wie z. B. die Anwendung von Silikat-haltigem Material in Japan (vgl. 4.).

11. Schlußbetrachtung: Düngung und Ertragsniveau

Die Mineraldüngung ist zwar nur einer der wichtigen ertragssteigernden Faktoren, aber bei richtiger Handhabung ein sehr wirkungsvoller. Welche Zusammenhänge zwischen Düngungsintensität und durchschnitt-

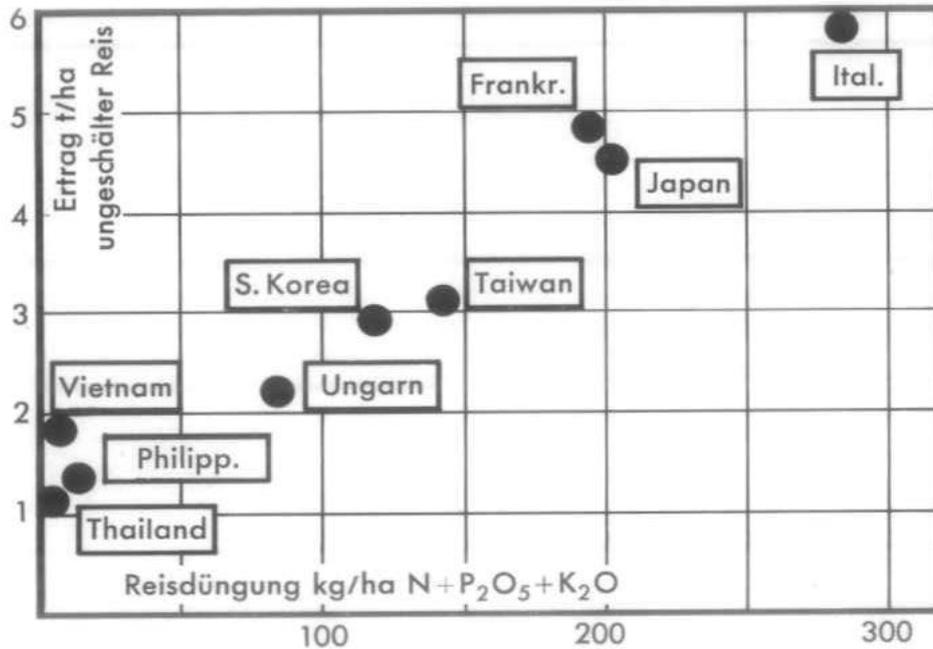


Abb. 1. Reiserträge und durchschnittliche Düngieranwendung zu Reis 1958/59 in einigen Ländern Ostasiens und Europas.

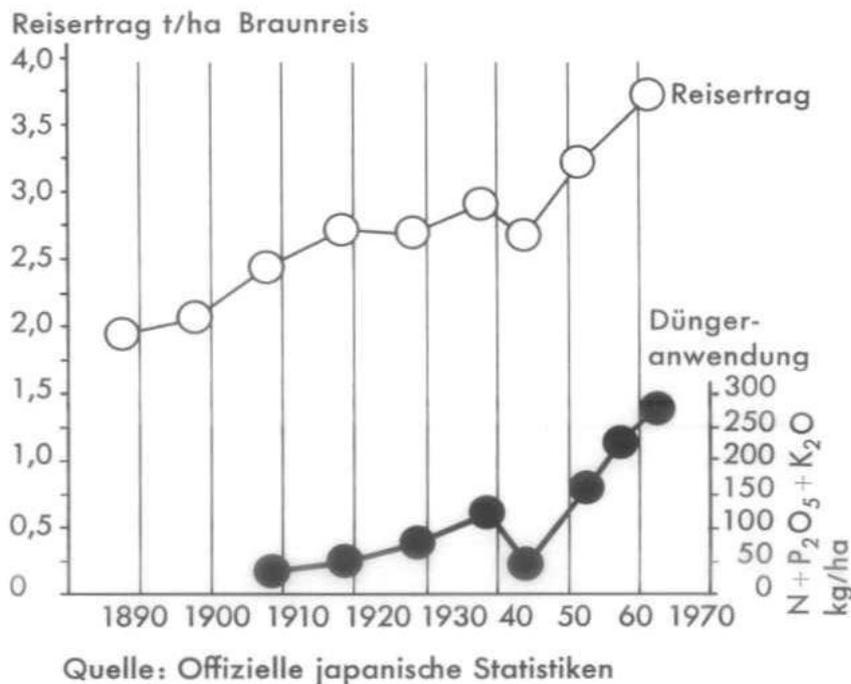
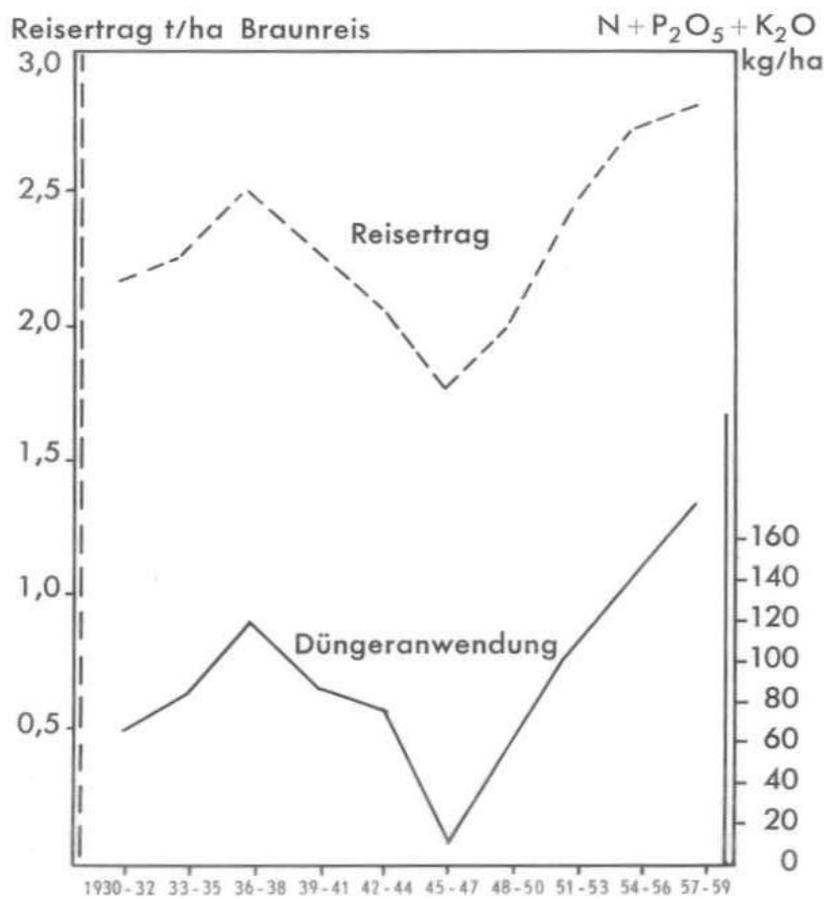


Abb. 2. Langjährige Entwicklung von Reiserträgen und Düngieranwendung in der japanischen Landwirtschaft (10- bzw. 5-Jahresdurchschnitte).

lichen Erträgen in einer Reihe von Reis anbauenden Ländern bestehen, zeigt Abbildung 1.

In Thailand, Vietnam oder den Philippinen lassen sich die Erträge durch höhere Mineraldüngung allein naturgemäß nicht auf das Ertragsniveau Koreas, Formosas oder Japans anheben. Jedoch macht auch in diesen Ländern die Einführung neuer, ertragreicher Sorten gleichzeitig die Verbesserung der Anbaumethoden, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und eine Steigerung der Düngieranwendung erforderlich.

Den langjährigen Trend der durchschnittlichen Reiserträge und der mittleren Mineraldüngergaben in der Landwirtschaft von Taiwan (China) und von Japan zeigen die Abbildungen 2 und 3.



Quelle: Taiwan Provincial Food Bureau

Abb. 3. Zusammenhang zwischen Reiserträgen und Düngungs-Intensität in der Landwirtschaft Taiwans 1930—59 (3-Jahresdurchschnitte).

12. Zusammenfassung

Reis, das Grundnahrungsmittel für den größeren Teil der Erdbevölkerung, wird vorwiegend in Gebieten mit ungenügender Nahrungsmittel-

versorgung angebaut. Steigerung der Erträge ist eine Notwendigkeit. Sie ist möglich durch Einführung ertragreicher Sorten, Kontrolle der Bewässerung, Verbesserung der Anbaumethoden, einschließlich Schädlingsbekämpfung und Düngung.

Im überfluteten Reisboden laufen andere Vorgänge ab als im nicht überfluteten Ackerboden. Diesen Verhältnissen ist bei der Düngung Rechnung zu tragen. Dem Nährstoffentzug, der bei Erträgen um 4 t/ha etwa 90 kg/ha N, 35 kg/ha P_2O_5 und 110 kg/ha K_2O beträgt, steht nur eine begrenzte Nachlieferung von Nährstoffen über den Boden und das Bewässerungswasser gegenüber.

Neben der Bodenuntersuchung ist der Düngungsversuch zur Bestimmung des Düngebedürfnisses bedeutungsvoll. Die Ergebnisse von vielen Tausend Düngungsversuchen in den wichtigsten Anbaugebieten geben Aufschluß über die Höhe der erforderlichen Düngergaben und beweisen zugleich, daß Mineraldüngung im Reisanbau rentabel ist.

Durch Auswertung von Versuchsergebnissen und praktischen Erfahrungen ergeben sich Düngungsempfehlungen für die verschiedenen Anbaugebiete der einzelnen Länder. In Taiwan (China) liegen die Empfehlungen zwischen

60 und 120 kg/ha N, 30 und 80 kg/ha P_2O_5 , 40 und 90 kg/ha K_2O .

In Indien werden für herkömmliche Sorten

17—67 kg/ha N, 11—50 kg/ha P_2O_5 und 0—50 kg/ha K_2O empfohlen, für Höchstertrags-Sorten

67—135 kg/ha N, 34—74 kg/ha P_2O_5 und 25—67 kg/ha K_2O .

Ein Teil des Stickstoffs, die gesamte Phosphatgabe und ein mehr oder weniger großer Teil des Kalis werden als Grunddüngung vor dem Verpflanzen in die Ackerkrume eingearbeitet. Die spätere Kopfdüngung mit N, z. T. auch mit K, erfolgt hauptsächlich zur Zeit der Bestockung und der Ausbildung der Rispenanlage.

Die gebräuchlichen Düngerformen sind auch im Reisbau anwendbar, mit Ausnahme von Nitrat wegen der Gefahr von N-Verlusten durch Denitrifikation im überfluteten Boden.

Die Mineraldüngung ist zwar nur einer der wichtigen ertragssteigernden Faktoren, bei richtiger Handhabung aber sehr wirkungsvoll. Analysen der langjährigen Entwicklung zeigen den engen Zusammenhang zwischen Düngungsintensität und Ertragsniveau.

Summary

Rice, the staple food for the greater part of the world population, is cultivated mostly in regions with insufficient food supply. The necessary yield increase in order to produce more food, is possible through intro-

duction of high-yielding varieties, irrigation management, improvement of cultivation methods, including pest control and fertilizer use.

Dynamic processes in submerged paddy soils are different from those in soils of ordinary arable land. Fertilizer practices have to be adjusted to these conditions. The natural supply via the soil or the irrigation water can restore only part of the plant nutrients removed by the rice plants, which amount to about 90 kg/ha N, 35 kg/ha P_2O_5 and 110 kg/ha K_2O at a yield level of 4 t/ha.

Besides removal figures and soil analyses, the fertilizer experiment is a useful tool for the determination of the fertilizer requirement. Results of thousands of fertilizer trials carried out on cultivators' fields in the most important rice growing regions provide information about the necessary fertilizer rates. At the same time, they prove that fertilizer application to paddy rice is profitable.

Through evaluation of experiments and practical experience recommendations have been established for various rice growing districts in individual countries.

In Taiwan (China) recommendable rates vary from

60 to 120 kg/ha N, 30 to 80 kg/ha P_2O_5 , 40 to 90 kg/ha K_2O .

In India the following rates are recommended for traditional varieties:

17—67 kg/ha N, 11—50 kg/ha P_2O_5 , 0—50 kg/ha K_2O .

Recommendations under the High Yielding Varieties Programme in India are as follows:

67—135 kg/ha N, 34—74 kg/ha P_2O_5 , 25—67 kg/ha K_2O .

Part of the nitrogen, the full rate of phosphorus and part or the whole amount of the potash dose are applied before transplanting and mixed into the soil with the puddling operation. Top dressing with N and partly with K is done at the stage of tillering and/or panicle initiation.

Most of the usual fertilizers can be used for paddy rice. An exception is the nitrate because of the danger of N-losses due to denitrification in submerged soils.

Mineral fertilizer is only one of the important yield increasing factors but a very effective one if applied properly. Analyses of longterm trends show the close connection between fertilizer intensity and yield level.

Literaturverzeichnis

- Chandler, R. F., 1966: Factors limiting crop production: Rice. *Span* 9, 3, 165—168.
- Chiu, T. F. et al., 1963: Studies on nutrient absorption of rice plants in Taiwan (4). *Agricultural Research (Taiwan)* 12, 4, Dec. 1963.
- FAI — Fertilizer Association of India, 1967: Fertilizer Statistics 1966/67.
- FAO, 1966: Statistics of crop responses to fertilizers.
- IRRI, 1966: The International Rice Research Institute, Annual Report 1965, Los Baños, Philippinen.

- IPSA: Indian Potash Supply Agency, Madras: Results of fertilizer demonstrations conducted on cultivators' fields during 1966/67 and 1967/68.
- Jakate, P. N., 1966: Role of potash in India's agricultural economy. Fertilizer News 11, 12—16, Hrsg. The Fertilizer Association of India, New Delhi, Indien.
- Kobayashi, J., 1958: Chemical composition of river waters in S.E. Asian countries. On the quality of river waters in Thailand (japanisch). Nogaku Kenkyu, Okayama, Japan, 46, 63—112.
- Kobayashi, J., 1960: Average chemical composition of river waters in Japan (japanisch). Nogaku Kenkyu, Okayama, Japan, 48, 63—106.
- Mukerjee, H. N., 1964: Fertilizer tests in cultivators' fields, in "The mineral nutrition of the rice plant", International Rice Research Institute, Los Baños, Philippinen.
- Nagano Pref. Agr. Exp. Stat., zitiert in Potash Pocket Book 1965, Kali Kenkyu Kai, Tokyo.
- Panse, V. G. & Khanna, R. C., 1964: Response of some important Indian crops to fertilizers and factors influencing this response. Indian Journ. of Agric. Science, 34 (3), 172—202.
- Takahashi, J., 1964: Natural supply of nutrients and plant requirements, in "The mineral nutrition of the rice plant", International Rice Research Institute, Los Baños, Philippinen.
- Weerawickrema, S. K. A. & Constable, D. H., 1967: Ceylon Fertilizer Project, 6th Field Report to the Government of Ceylon, FAO, Rom.
- Yamagata Pref. Agr. Exp. Stat., zitiert in Potash Pocket Book 1965, Kali Kenkyu Kai, Tokyo.
- Yamasaki, T., 1963: Analysis of rice growing techniques of high yield contest winners, with three noteworthy problems involved, Japanese Potassium Symposium, Nagoya, 1963.
- v. Uexküll, H. R., 1968: Vortrag anlässlich der Annual Convention of the National Plant Food Institute, USA.

Weitere empfehlungswerte Publikationen über Reis-Düngung

- Comhaire, M., 1965: "Rice Manuring", Centre International d'Information et de Documentation des Producteurs de Phosphate Thomas, Brüssel (108 Seiten).
- FAO, 1966: "The response of rice to fertilizer", Rom.
- de Geus, J. G., 1967: "Fertilizer Guide for Tropical and Subtropical Farming", Centre d'Etude de l'Azote, Zürich (39 Seiten über Reisdüngung).
- Internationales Kali-Institut, Bern, Schweiz: "Japanese Potassium Symposium 1961" (25 Seiten "Changes in the scientific standard rates of application of fertilizers to paddy rice in Japan"),
 "Japanese Potassium Symposium 1963" (mit Beiträgen über theoretische Grundlagen und praktische Erfahrungen bei der Düngung zur Erzielung von Höchsterträgen im Reisbau).
- International Rice Research Institute, Manila, 1964: "The mineral nutrition of the rice plant", John Hopkins Press, Baltimore/Maryland, USA.
- Jacob, A. & v. Uexküll, H. R., 1963: "Fertilizer Use — Nutrition and Manuring of Tropical Crops", Verlagsgesellschaft für Ackerbau, Hannover (22 Seiten über Reisdüngung).
- Ministry of Agriculture and Forestry, Tokyo, Japan, 1963: "Theory and Practice of Growing Rice", Fuji Publishing Co. Ltd., Nishigahara, Kita-ku, Tokyo.
 (22 Seiten "Inorganic Nutrition")
 (45 Seiten "Theory and Practice in Fertilizer Application")
 (16 Seiten "High Yielding Cultural Techniques")