



Stickstoffentzug und N-Ausnutzung einiger Kulturen

Ulrich WALTHER, Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich

Die Wirkung der N-Düngung kann auf verschiedene Arten beurteilt werden. Ertragsbezogene Verfahren sind in der Regel wirtschaftlich ausgerichtet. Ein Vergleich der gedüngten mit den durch die Pflanzen entzogenen Stickstoffmengen erlaubt auch eine grobe ökologische Beurteilung der Düngung. Dabei bestehen wesentliche Unterschiede zwischen verschiedenen Kulturen und Düngerformen. Durch eine zeitlich und mengenmässig verbesserte Anpassung der N-Düngung an den N-Bedarf der Pflanzen wird die N-Ausnutzung verbessert, und N-Verluste werden vermindert.

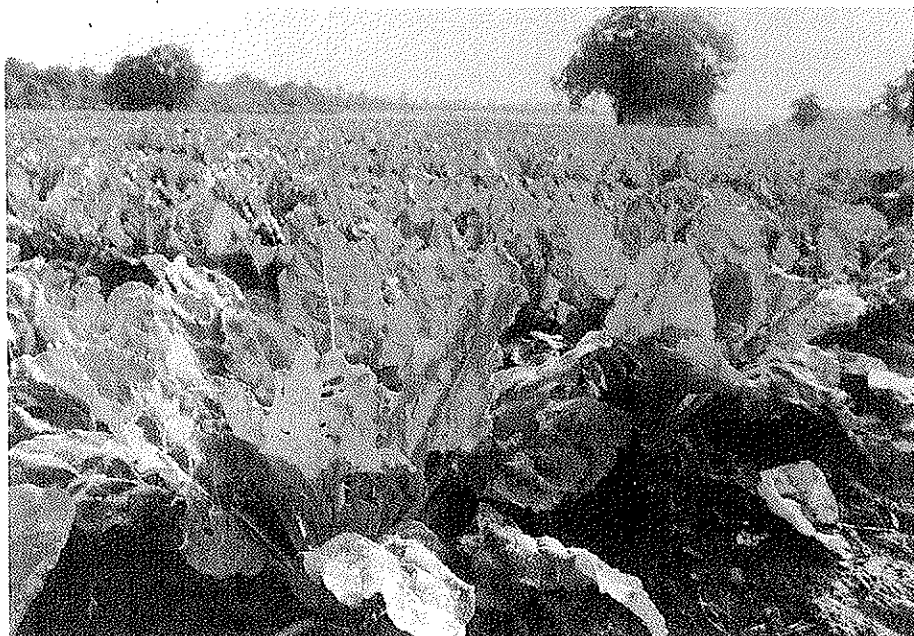


Abb. 1. Zuckerrüben vermögen dank ihrer starken Durchwurzelung des Bodens und der langen Vegetationszeit sowohl bodenbürtigen als auch zeitgerecht und in angepasster Menge verabreichten Düngerstickstoff gut auszunutzen.

Das wohl älteste und einfachste Vorgehen zur Beurteilung der Düngung ist der Vergleich der Erträge gedüngter und ungedüngter Flächen. Mit Angaben über Erträge, Preise für Dünger und geerntete Produkte sowie Kosten für die Beschaffung, Lagerung und Ausbringung der Dünger lässt sich der wirtschaftliche Erfolg der Düngung leicht berechnen. Ökologisch kann die Düngung mit dieser Methode kaum beurteilt werden. Für eine vergleichende Beurteilung der Wirkung verschiedener Düngemittel ist meistens die Ertragsleistung eines bestimmten Nährstoffs ein geeignetes Kriterium. Dabei wird bei identischen Nährstoffgaben in verschiedenen Formen der Mehrertrag pro

Kilogramm Nährstoff berechnet. Aber auch diese Grösse ist in erster Linie ökonomisch orientiert.

Für eine ökologische Beurteilung der Wirkung eines Düngers beziehungsweise eines Nährstoffs oder einer Nährstoffform sind, nebst ökologisch orientierten Berechnungen für Herstellung, Transport und Lagerung, vor allem die Kriterien «Verhalten auf und im Boden» sowie «Ausnutzung durch die Pflanzen» geeignet. Die Ausnutzung wird dabei als Verhältnis zwischen Nährstoff-Mehrentzug durch die Düngung und gedüngte Nährstoffmenge ausgedrückt. In mehreren Versuchsserien mit verschiedenen Kulturen und Düngern wurde der N-Entzug

ohne und mit N-Düngung bestimmt und daraus die N-Ausnutzung berechnet.

Kulturabhängige Aufnahme von bodenbürtigem N

Der N-Entzug ohne N-Düngung ist vom zeitlichen Verlauf des Stickstoffbedarfs und vom Stickstoffaneignungsvermögen (Ausbildung des Wurzelwerkes) der verschiedenen Kulturen sowie vom Verlauf und der Intensität der mikrobiellen Stickstoffmineralisierung des Bodens abhängig (Abb. 2). Während bei Getreide und Kartoffeln der Verlauf der N-Aufnahme schlecht mit dem Verlauf der mikrobiellen Nitratbildung im Boden übereinstimmt, ist dies bei Rüben deutlich besser. Mais nimmt eine Zwischenstellung ein. Durchschnittliche Stickstoffentzüge ohne N-Düngung verschiedener Kulturen sind in Tabelle 1 enthalten. Winterweizen hat im Vergleich zu Wintergerste, wahrscheinlich als Folge der etwas längeren Vegetationszeit, einen um 17 kg N/ha höheren N-Entzug. Die Kartoffeln haben zwar eine kürzere N-Aufnahmekurve als Winterweizen, durch die höhere N-Mineralisierung in der späteren Hauptwachstumszeit ist der N-Entzug etwa 20 kg N/ha höher. Die sehr hohe N-Aufnahme der Zuckerrüben ist auf die lange Vegetationsperiode ohne generati-

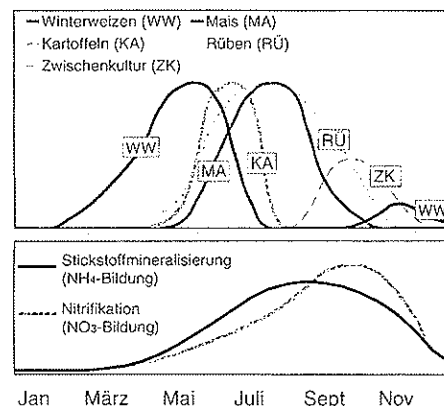


Abb. 2. Verlauf der mikrobiellen Stickstoffmineralisierung im Boden und der Stickstoffaufnahme einiger Kulturen.

ve Phase zurückzuführen, welche der Rube erlaubt, auch das im Herbst im Boden gebildete Nitrat noch aufzunehmen. Reine Grasbestände haben ohne Stickstoffdüngung, trotz ganzjähriger Wachstumszeit, nur einen geringen N-Entzug. Dieser Befund steht in engem Zusammenhang mit der reduzierten mikrobiellen Nitratbildung in unbearbeiteten Böden mit dauernd geringen N_{min} -Gehalten sowie dem, im Verhältnis zur N-Düngung, zu häufigen Schnitt (5 Schnitte pro Jahr).

Getreide: abhängig von Höhe der einzelnen Gabe

Bei Winterweizen und Wintergerste ist die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs abhängig von der Sorte, vom Zeitpunkt und der Höhe der N-Gabe und beträgt etwa 50 bis 75 % (Tab. 2). Höhere N-Gaben werden, unabhängig vom Zeitpunkt der Ausbringung, schlechter ausgenutzt als kleinere Gaben. Die einzelnen N-Gaben im Getreidebau sind daher auf höchstens 60 kg N/ha zu beschränken. Die maximal erreichbare N-Ausnutzung liegt zurzeit etwa im Bereich von 65 bis 75 %. Der nicht ausgenutzte Stickstoff (25 bis 35 %) dürfte zu einem kleineren Teil in den Stoppeln und Wurzeln vorübergehend immobilisiert und zu einem grösseren Teil durch Denitrifikation in die Atmosphäre entweichen sein, da unter wachsendem Getreide kaum Nitrat ausgewaschen wird.

Tab. 1. Stickstoffentzug verschiedener Kulturen ohne N-Düngung. Durchschnitte aus mehrjährigen Versuchsserien.

Winterweizen: 36 Versuche (3 Jahre, 2 Standorte, 6 Sorten). Zuckerrüben: 6 Versuche (3 Jahre, 2 Standorte). Kartoffeln: 13 Versuche (4 Jahre, 3 Standorte, 2 Sorten). Mais: 34 Versuche (5 Jahre, 8 Standorte). Gräser: 1 Versuch (3 Jahre, 1 Standort)

Kultur	N_{min} -Gehalt des Bodens (0-100 cm)		Ernteprodukt		Ertrag dt/ha	N-Entzug (kg N/ha)	
	Zeitpunkt	kg N/ha	Produkt	Wassergehalt (%)		Total	
Wintergerste	Vegetationsbeginn	26	Körner	15	52	66	83
		82	Stroh	0	46	17	
Winterweizen	Vegetationsbeginn	38	Körner	15	51	84	100
		82	Stroh	0	53	16	
Kartoffeln	Pflanzung Stauden 10-15 cm	47	Knollen	22,2	381	98	122
		82	Kraut	13,1	161	24	
Körnermais	Saat 6-Blatt-Stadium	51	Körner	34,2	88	82	113
		90	Stengel	73,7	154	26	
		90	Spindel	58,4	32	5	
Zuckerrüben	Saat 6-Blatt-Stadium	56	Rüben	23,5	691	96	194
		81	Kraut	15,1	365	98	
Knaulgras			Gras	0	34		68
Engl. Raigras			Gras	0	38		64

Hackfrüchte: Düngezeitpunkt ist entscheidend

Die Ausnutzung später N-Gaben (6- bis 8-Blatt-Stadium von Rüben und Mais, Staudenhöhe 15 cm bei Kartoffeln) ist generell deutlich höher als diejenige früher N-Gaben zur Saat oder zur Pflanzung (Tab. 3). Der Hauptgrund dieser Feststellung dürfte

eine teilweise Auswaschung des (zu) früh gedüngten Stickstoffs im Zeitraum von der Saat bis zum Beginn eines höheren N-Bedarfs der Pflanzen sein. Der in Lehrbüchern oft erwähnte negative Zusammenhang zwischen späten N-Gaben und der Qualität der Ernteprodukte (Koblet 1965) und daraus folgernd, die Haupt-N-Gabe zur Saat beziehungsweise zur Pflanzung

Tab. 2. N-Düngung, N-Entzug und N-Ausnutzung (N-Mehrentzug in % der gedüngten N-Menge) bei verschiedenen Sorten von Winterweizen (WW) und Wintergerste (WG)

Durchschnittlicher N_{min} -Gehalt (0-100 cm) unter WW: 39 kg N/ha, unter WG: 26 kg N/ha. Durchschnitte von je 6 Versuchen (3 Jahre, 2 Standorte)

Art Sorte	N-Düngung (kg N/ha)			N-Entzug (Körner + Stroh) (kg N/ha)			N-Ausnutzung (%)					
	1. N-Gabe ¹	2. N-Gabe ²	3. N-Gabe ³	Ohne N-Düngung	1. N-Gabe ¹	2. N-Gabe ²	3. N-Gabe ³	Körner + Stroh			Körner	
								1. N-Gabe ¹	2. N-Gabe ²	3. N-Gabe ³	Gesamte N-Düngung	Gesamte N-Düngung
WW Bernina	81	30	50	91	139	161	193	59	73	64	63	50
	41	70	50	91	-	-	193	-	-	-	63	52
WW Arina	81	30	50	98	144	168	199	56	78	63	62	51
	41	70	50	98	-	-	195	-	-	-	60	51
WW Eiger	81	30	50	106	145	164	193	48	65	59	54	43
	41	70	50	106	-	-	197	-	-	-	56	45
WG ³ Gerbel ⁴	74	30	50	84	121	137	166	50	53	58	53	39
	54	30	50	84	-	-	154	-	-	-	52	40
WG Hasso ⁴	74	30	50	74	118	140	153	59	73	26	51	41
	54	30	50	74	-	-	150	-	-	-	57	46

¹Bei Vegetationsbeginn

²Im 1-Knoten-Stadium, zusätzlich zu 1. N-Gabe

³Bei Beginn Ährenschieben, zusätzlich zu 1. und 2. N-Gabe

⁴Teilweise stärkere Lagerung

Tab. 3. N_{min}-Gehalt des Bodens (0-100 cm), N-Düngung, N-Entzug und N-Ausnutzung (N-Mehrentzug in % der gedüngten N-Menge) durch Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais

Kultur (Anzahl Versuche, Versuchsjahre) N _{min} bei der Saat oder Pflanzung/ N-Entzug ohne N-Düngung	N _{min} -Gehalt des Bodens (kg N pro ha) im 6- Blatt-Stadium oder bei Stau- denhöhe 10-15 cm	N-Düngung (kg N/ha)		N-Entzug (kg N/ha)		N-Ausnutzung (%)				
		Früh ¹	Spät ²	Mit N-Düngung		Haupt- und Nebenprodukt		Hauptprodukt		
				Haupt- produkt	Neben- produkt	Einzelne Verfahren	Durch- schnitt	Einzelne Verfahren	Durch- schnitt	
Zuckerrüben (6, 1982-84) 56 / 194	129	44	0	109	110	57		30		
	170	84	0	121	130	68	61	30	29	
	199	124	0	133	135	60		30		
	237	164	0	140	155	61		27		
	116	30	44	121	124	69		34		
	116	30	84	129	136	62	68	29	30	
	116	30	124	136	161	67		26		
	116	0	157	145	162	72		31		
	Zuckerrüben (3, 1986) 45 / 173	118	80	0	103	108	48		21	
		-	120	0	119	128	61	53	27	24
198		160	0	124	129	50		24		
85		40	40	104	109	51		23		
85		40	80	117	122	55	56	26	24	
85		40	120	124	148	62		24		
Zuckerrüben (4, 1987) 94 / 196	371	80	0	114	128	57		20		
	-	120	0	121	120	37	45	19	19	
	401	160	0	126	136	41		17		
	211	40	40	114	116	42		20		
	211	40	80	121	129	45	44	19	19	
	211	40	120	128	139	44		19		
Zuckerrüben (4, 1988) 65 / 218	200	80	0	124	101	9		11		
	-	120	0	133	124	33	27	15	16	
	331	160	0	148	130	38		21		
	169	40	40	130	108	25		19		
	169	40	80	134	113	24	27	16	18	
	169	40	120	140	129	32		16		
Kartoffeln (13, 1982-85) 47 / 122	130	66	0	122	30	45	-	36	-	
	208	106	0	134	34	43		34		
	249	146	0	145	37	41	42	32	33	
	117	30	65	140	35	56		44		
	117	30	105	148	37	47	51	37	40	
	117	30	145	155	38	40	-	32	-	
Mais (34, 1985-89) 51 / 113	142	49	0	100	36	42	-	37	-	
	174	88	0	110	40	40		32		
	219	128	0	119	44	38	39	29	31	
	121	30	45	113	39	50		41		
	121	30	80	124	44	52	51	38	40	
	121	30	119	129	49	44	-	31	-	
Optimal früh ³	203	109	0	117	43		44		32	
Optimal spät ⁴	121	30	73	124	44		57		41	

¹Gesamte N-Gabe zur Saat oder Pflanzung

²30 kg N/ha zur Saat oder Pflanzung, Rest im 6- bis 8-Blatt-Stadium oder bei einer Staudenhöhe von etwa 15 cm

³Durchschnittliche optimale N-Düngung mit gesamter N-Gabe zur Saat

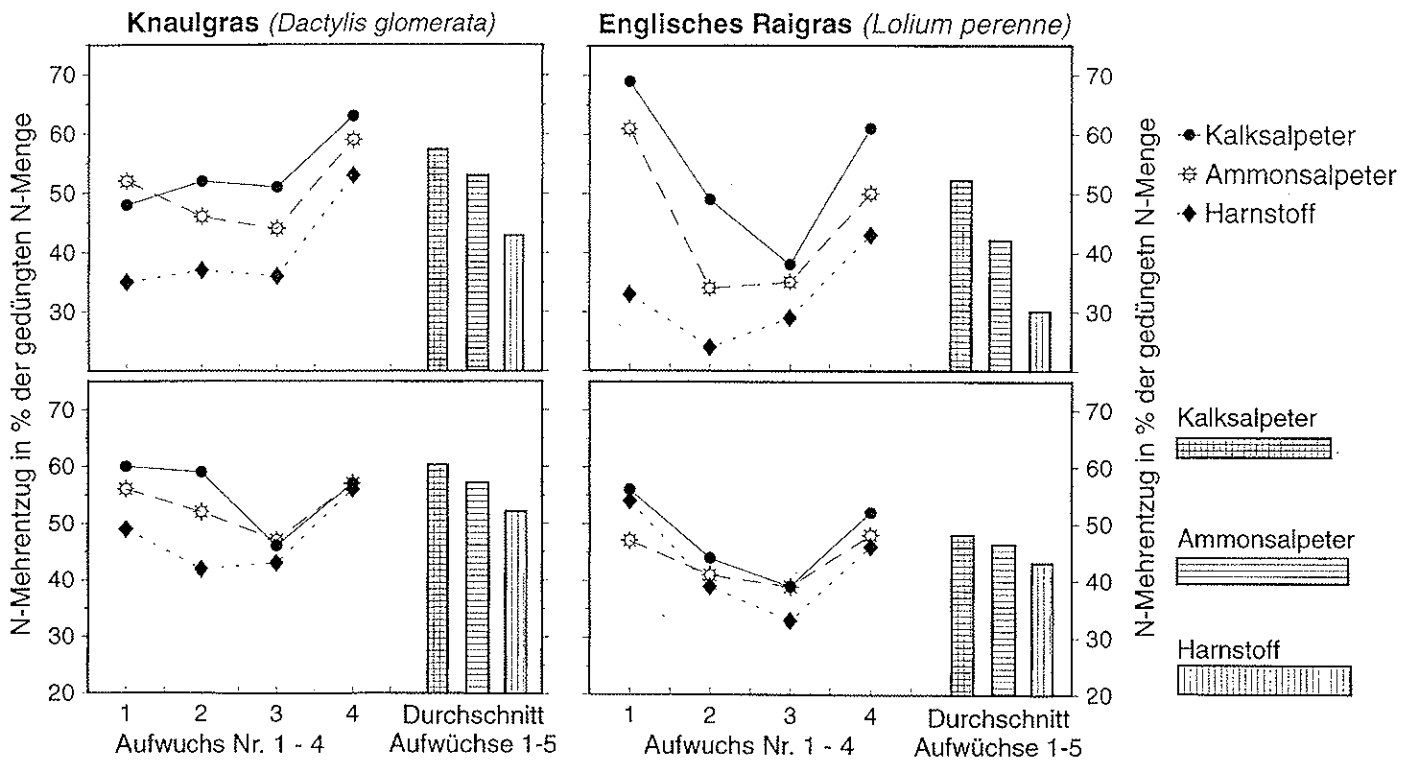
⁴Durchschnittliche optimale N-Düngung mit Haupt-N-Gabe im 6- bis 8-Blatt-Stadium

zu verabreichen (Finck 1991), basiert zum grössten Teil auf einer Fehlinterpretation von Versuchsergebnissen und ist dringend zu revidieren. In Versuchen mit steigenden N-Gaben wurden späte N-Gaben stets zusätzlich zu recht hohen Gaben zur Saat oder zur Pflanzung verabreicht. Im Sinne der biologischen Gesetzmässigkeit, dass bei steigendem N-Angebot zuerst der Ertrag und dann die Qualität beeinflusst wird, hatten die späten N-Gaben nach hohen frühen N-Gaben demnach in erster Linie einen Einfluss auf die Qualität der Ernteprodukte. Da späte N-Gaben infolge geringerem Auswaschungsrisiko eine höhere biologische Wirkung haben als frühe, wurde der Einfluss auf die Qualität noch verstärkt. Die Fehlinterpretation bestand darin, dass die Wirkung der späten N-Düngung ausschliesslich mit dem Zeitpunkt der Düngung in Verbindung gebracht und die Wirkung der bereits früher verabreichten N-Mengen meistens vernachlässigt wurde. Für das Wachstum der Pflanzen ist jedoch nur entscheidend, dass der Stickstoff zum Zeitpunkt des Bedarfs zur Verfügung steht. Die biologische Wirkung des zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Stickstoffs ist unabhängig vom Zeitpunkt seiner Ausbringung. Zur Minimierung der Verluste im Zeitraum von der Ausbringung bis zum Bedarf der Pflanzen, beziehungsweise zur Maximierung der pflanzenbaulichen Wirkung der N-Düngung, sind die mineralischen Dünger – dazu gehören auch die Gülle und der Klärschlamm – möglichst kurz vor einem grösseren Bedarf der Pflanzen unter Berücksichtigung des Bodenvorrates auszubringen.

Die Ausnutzung später N-Gaben durch die Hackfrüchte beträgt 50 bis 70 %. Dabei haben Zuckerrüben ein besseres N-Ausnutzungsvermögen als Mais und Kartoffeln (Tab. 3). Bei höherem bodenbürtigem N-Angebot (Versuchsjahre 1987 und 1988) sinkt jedoch auch bei den Rüben die Ausnutzung teilweise deutlich unter 50 %.

N-Ausnutzung Gräser

Im Frühling und Herbst (1. und 4. Aufwuchs) ist die N-Ausnutzung mit 50 bis 60 % deutlich höher als im Sommer (2. und vor allem 3. Aufwuchs) mit sehr bescheidenen 35 bis 45 % (Abb. 3). Dies ist bei englischem Raigras ausgeprägter als bei Knautgras. N-Gaben von 50 kg N/ha und Schnitt werden ähnlich ausgenutzt wie solche von 25 kg N/ha und



Die Aufwüchse eins bis vier erhielten je 25 (oberer Teil der Abbildung) beziehungsweise 50 (unterer Teil der Abbildung) kg N/ha. Zum 5. Aufwuchs wurde keine N-Düngung verabreicht. Durchschnitt von drei Versuchsjahren an einem Standort.

Abb. 3. Ausnutzung von Kalksalpeter-, Ammonsalpeter- und Harnstoff-N durch Knautgras und Englishes Raigras.

Schnitt. Mit steigenden Ammonium- oder Harnstoffgehalten des Düngers sinkt die N-Ausnutzung infolge von Verlusten durch NH_3 -Verflüchtigung teilweise drastisch. Beachtet man diese Ergebnisse, so stellt sich die Frage, ob das heutige starre Stickstoffdüngungssystem im Futterbau mit konstanten N-Gaben zu jedem Aufwuchs etwas flexibler zu gestalten wäre, um eine bessere N-Ausnutzung beziehungsweise geringere N-Verluste anzustreben.

Die N-Ausnutzung kann verbessert werden

Durch folgende Massnahmen können bei mineralischer N-Düngung die N-Ausnutzung erhöht beziehungsweise die N-Verluste reduziert werden:

- ☒ Die Höhe der N-Gaben ist dem Vegetationsrhythmus der Pflanzenart anzupassen.
- ☒ Die N-Düngung ist auf mehrere Teilgaben aufzuteilen. Die einzelnen N-Gaben sind auf 30 bis 60 kg N/ha zu limitieren.
- ☒ Die N-Düngung ist insbesondere im Hackfruchtbau frühestens zehn Tage vor

einem ausgewiesenen, grösseren Bedarf der Pflanzen zu verabreichen. Auf stark verlustgefährdete N-Gaben zur Saat oder Pflanzung ist grundsätzlich zu verzichten. ☒ Bei ammonium- und harnstoffhaltigen Düngern ist dafür zu sorgen, dass sie nicht auf der Bodenoberfläche liegen bleiben (Einarbeitung, kurz vor Regen streuen). Ansonsten sind nitrathaltige Dünger zu bevorzugen.

LITERATUR

Koblet R., 1965. Der landwirtschaftliche Pflanzenbau. Birkhäuser Verlag Basel. 829 S.

Finck A., 1991. Düngung - ertragssteigernd, qualitätsverbessernd, umweltgerecht. Eugen Ulmer GmbH & Co. 174 S.

RÉSUMÉ

Prélèvement et valorisation de l'azote par différentes cultures

L'efficacité de la fumure azotée peut être appréciée de différentes manières. Les procédés qui sont basés sur le rendement répondent généralement à des préoccupations économiques. Une comparaison de la quantité d'azote apportée par l'engrais avec celle prélevée par

la plante permet aussi une appréciation écologique grossière. Dans ce cas il existe des différences importantes selon les cultures et les engrais.

Par l'adaptation de la fumure azotée au besoin en azote de la plante, en ajustant au mieux la dose et l'époque de l'application, la valorisation peut être améliorée et les pertes seront réduites.

SUMMARY

Nitrogen uptake and nitrogen harvest index by different crops

The efficiency of nitrogen (N) fertilisation can be assessed with different methods. Yield is mostly determined for an economic evaluation. Comparing applied N an N-uptake of the plant allows a rough ecological evaluation of the fertilisation. Significant differences exist among crops and fertilizers. Adjusting time and amount of N-applications to the N-requirements of the plants can improve N-utilisation and reduce N-losses.

KEY WORDS: nitrogen, fertilisation, date, efficiency, nitrogen harvest index, calcium nitrate, ammonium nitrate, urea, wheat, barley, corn, potatoes, sugar beets, grass