

Nutriëntenbenutting en -verlies bij akkerbouwgewassen: een theoretische verkenning

Deelstudie voor het project
'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw'

J.J. Schröder, P. van Asperen, G.J.M. van Dongen (PAGV)
en F.G. Wijnands (PAGV)

cabo-dlo

272554

Het DLO-Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de uitvoering van de landbouwpolitiek van de Nederlandse regering, het versterken van de agrarische industrie, het plannen en beheren van het landelijk gebied en het beschermen van het milieu. CABO-DLO heeft tot taak het verrichten van fundamenteel-strategisch, zowel experimenteel als modelmatig, onderzoek aan planten. De resultaten hiervan dragen bij aan de realisatie van:

- optimale en duurzame plantaardige produktiesystemen;
- produktvernieuwing en produktkwaliteit;
- natuurwaarden en milieukwaliteit in het landelijk gebied.

Adres:

CABO-DLO

Postbus 14

6700 AA Wageningen

tel. 08370-75700

fax. 08370-23110

e-mail postkamer@cabo.agro.nl

PAGV

Postbus 430

8200 AK Lelystad

tel. 03200-91111

fax. 03200-30479

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
Summary	3
1. Inleiding	5
1.1 Introductie Geïntegreerde Akkerbouw	5
1.2 Nutriëntenstromen en -beheer	5
1.3 Minerale bodemstikstof na de oogst	7
2. Werkwijze	8
2.1 Wiskundige achtergrond van de relaties	8
2.2 Relaties op gewasniveau	9
2.3 Mineralenoverschot, -benutting en reststikstof op bedrijfsniveau	11
3. Resultaten	13
3.1 Relaties op gewasniveau	13
3.2 Mineralenoverschot, -benutting en reststikstof	23
4. Discussie	27
Literatuur	30
Bijlage	4 pp.
Basisgegevens van consumptieaardappel, korrelmaïs, wintertarwe en suikerbiet	

Samenvatting

In het kader van het project 'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw' dienen onder meer bedrijfsopzetten te worden ontworpen waarin efficiënt met nutriënten wordt omgegaan. Met dat oog-merk is de respons van aardappel, wintertarwe, korrelmaïs, suikerbiet en vlinderbloemigen op stikstof (N) beschreven op basis van proefveldgegevens, en is voorts nagegaan in hoeverre bemesting leidt tot ophoping van minerale bodem-N na de oogst ('rest-N'). Vervolgens is verkend welk mineralenoverschot en welke mineralenbenutting op gewas- en bedrijfsniveau optreden. Bij de gekozen uitgangspunten en een op gewasniveau economisch optimale N-bemesting, kan het N-overschot op bedrijfsniveau, afhankelijk van het bouwplan en het gebruik van organische mest, variëren van 75 tot 231 kg/ha. De N-benutting varieert in dat geval van 40 tot 70 %. Het grootste N-overschot wordt berekend voor een bouwplan met een hoog aandeel aardappel en een hoge mate van vervanging van kunstmest-N door organische mest. Bij de verkende 12 scenario's met betrekking tot bouwplan en organische bemesting is de hoeveelheid rest-N in geen van de gevallen hoger dan 75 kg/ha.

De hoogte van de N-gift heeft een groter effect op het N-overschot en de hoeveelheid minerale bodem-N in de herfst dan het bouwplan, zowel per eenheid oppervlakte als per eenheid produkt. Verlaging van de N-gift met 40 kg kunstmest-N/ha doet het N-overschot op bedrijfsniveau met circa 30 kg/ha en de hoeveelheid rest-N met 6 kg/ha dalen.

De fosfaat- en kalibenutting hangen met name af van de gekozen uitgangspunten ten aanzien van onvermijdelijk geachte verliezen; bij verliezen van 5 en 25 kg/ha bedraagt de benutting van fosfaat, respectievelijk 91 en 67 % en die van kali, respectievelijk 96 en 83 %.

Summary

In order to improve the understanding of nutrient fluxes of integrated arable farms, the response of crop yields and residual soil mineral nitrogen (N) on N fertilizer inputs have been described for potatoe, winter wheat, grain maize, sugar beet and legumes. Accordingly, we explored to what extent nutrient inputs should exceed outputs if the economic profit of each individual crop is to be maximized. Under this condition surplus N should amount to 75 to 231 kg/ha, depending on the crop rotation and the substitution of mineral fertilizer by organic fertilizer, and N utilization on a farm level will vary from 40 to 70 %. The highest N surplus is calculated for rotations dominated by potatoe and a high substitution of mineral fertilizer by organic fertilizer. In any of the 12 explored scenarios with respect to rotations and organic fertilizer use, the amount of residual soil mineral N did not exceed 75 kg/ha. N surpluses and the amount of residual soil mineral N are more affected by N rates than by the intensity of the rotation both on a unit area and a unit product basis. Reducing N rates with 40 kg/ha lowers the N surplus with circa 30 kg/ha and the amount of residual soil N with 6 kg/ha, on a whole-farm scale.

The utilization of phosphate and potash is mainly determined by the estimated inevitable losses. If annual phosphate and potash loss amounts to 25 kg/ha, phosphate and potash utilization is 67 and 83 %, respectively. With an estimated loss of 5 kg/ha, utilization rises to 91 % for phosphate and 96 % for potash.

1. Inleiding

1.1 Introductie Geïntegreerde Akkerbouw

Geïntegreerde akkerbouw beoogt economische en milieukundige doelstellingen te combineren. Met deze vorm van akkerbouw bestaat op proefbedrijven al veel experimentele ervaring (Vereijken & Wijnands, 1990; Anonymus, 1992). Om te toetsen in welke mate de verbrede doelstellingen ook onder praktijkomstandigheden gerealiseerd kunnen worden, voeren PAGV, IKC-AGV, DLV, CABO-DLO en LEI-DLO een project uit dat de introductie van geïntegreerde akkerbouw in de praktijk wil bevorderen. Hiertoe worden sinds 1990 38 praktijkbedrijven intensief door de Voorlichting begeleid en met onderzoek ondersteund. Dit onderzoek richt zich onder meer op het ontwerpen van bedrijfssystemen waarin efficiënt met nutriënten wordt omgegaan.

De efficiëntie van het nutriëntengebruik wordt afgemeten aan het verschil tussen de aanvoer en de afvoer van nutriënten, aan de verhouding tussen aanvoer en afvoer en, in het geval van stikstof (N), aan de hoeveelheid minerale bodem-N die na de oogst van gewassen achterblijft. Bedrijfssystemen kunnen worden ontworpen op basis van experimenteel deelonderzoek. Daartoe wordt in dit verslag de respons van aardappel, wintertarwe, korrelmaïs, suikerbiet en vlinderbloemigen op N beschreven, en wordt voorts nagegaan in hoeverre bemesting leidt tot ophoping van minerale bodem-N na de oogst en tot wijziging van de omvang van het N-verlies per eenheid produkt. Vervolgens wordt verkend welk mineralen-overschot en welke mineralenbenutting op gewas- en bedrijfsniveau optreden voor bedrijfs-systemen die verschillen in intensiteit, N-gift en de mate waarin kunstmest-N door organische mest vervangen wordt. In Schröder et al. (1993) worden de in dit verslag berekende waarden geconfronteerd met praktijkcijfers zoals die verzameld zijn op de bovenvermelde 38 praktijkbedrijven.

1.2 Nutriëntenstromen en -beheer

Bij een optimale bodemvruchtbaarheid dienen nutriënten die op een perceel worden aanvoerd, zoveel mogelijk door gewassen te worden opgenomen ten behoeve van plantaardige productie. Dit gebeurt niet volledig, omdat het gebruik van nutriënten met verliezen gepaard gaat. Deze nutriëntenverliezen treden op tijdens de toediening of zijn een gevolg van het feit dat nutriënten niet volledig beschikbaar komen op een, vanuit het gewas gezien, optimale tijd en plaats. Verliezen zijn voor een deel onvermijdelijk, voor een ander deel echter sterk bepaald door het beheer van de nutriënten. Hierbij kan gedacht worden aan de optimalisering van de hoeveelheid en aard van de meststoffenkeuze, aan het moment en de methode van toediening of aan het nemen van maatregelen die uitspoeling van bodemreserves kunnen beperken (groenbemesters, nitrificatieremmers).

Als nutriënten door het gewas zijn opgenomen, kunnen hieruit alsnog verliezen optreden omdat steeds een deel in de vorm van gewasresten op het veld achterblijft. Daarvan kan een deel weer ten goede komen aan volggewassen. De achtereenvolgende stappen worden weergegeven in Fig. 1.

proces	stap	factor
	AANGEVOERDE NUTRIËNTEN + BIJDRAGE UIT VOORVRUCHT(EN)	
vervluchtiging; uitspoeling; vastlegging; mineralisatie; beworteling	I	bodem & weer; meststoffenkeuze; moment, plaats en wijze van toediening, groenbemester, gewasrestbehandeling
	I	
	I	
	V	
	BESCHIKBARE NUTRIËNTEN	
gewasvraag; beworteling	I	bodem & weer; gewassenkeuze
	I	
	V	
	OPGENOMEN NUTRIËNTEN + REST-N	
nutriëntenverdeling binnen plant	I	gewassenkeuze
	I	
	V	
	AFGEVOERDE NUTRIËNTEN	

Figuur 1. Eenvoudig stroomschema voor nutriënten binnen het akkerbouwbedrijven, processen bij de benutting en factoren daarop van invloed

Mineralenbalansen geven een overzicht van alle aanvoer- en afvoerposten van nutriënten en bieden aangrijpingspunten voor verbetering van de benutting. Als aanvoerposten gelden de nutriënten die het bedrijf of perceel binnenkomen in de vorm van meststoffen (op basis van totaalgehalten), depositie, zaaizaad, pootgoed en door vlinderbloemigen gebonden N, als afvoerpost de nutriënten die het perceel of bedrijf verlaten in de vorm van producten (gewassen, mest, vlees, melk). De mineralenbenutting wordt gedefinieerd als de afvoer uitgedrukt als percentage van de aanvoer, het mineralenoverschot als het verschil tussen aanvoer en afvoer (Stouthart & Leferink, 1992).

1.3 Minerale bodemstikstof na de oogst

Nutriëntenverliezen zijn ongewenst vanuit zowel economisch als milieukundig oogpunt. De residuaire hoeveelheid minerale N die na de oogst in de bodem aanwezig is ('rest-N'), kan als een indicator voor verliezen in de daarop volgende winter worden beschouwd. Gewassen nemen gedurende het winterhalfjaar namelijk niet of nauwelijks N op waardoor de rest-N, afhankelijk van de grondsoort en het neerslagoverschot, voor een deel zal uit- en afspoelen. Uitspoeling is ongewenst omdat het grondwater daarmee minder geschikt wordt voor de winning van drinkwater; uit- en afspoeling zijn ook ongewenst in verband met de eutrofiëring van het oppervlaktewater. De Commissie Stikstof concludeerde dat in eerste instantie naar een hoeveelheid rest-N van maximaal 70 kg/ha gestreefd zou moeten worden om grondwater op regionale schaal aan de EG-richtlijn voor drinkwater-kwaliteit te laten voldoen. De samenhang met de kwaliteit van het oppervlaktewater kon nog niet eenduidig worden vastgesteld (Goossensen & Meeuwissen, 1990).

De hoeveelheid rest-N is behalve bodem- en weersafhankelijk, ook gewasafhankelijk. Proefresultaten geven aan dat sommige gewassen bij een economisch optimale N-voorziening veel rest-N achterlaten (b.v. aardappel) en anderen (b.v. granen) weinig (o.a. Goossensen & Meeuwissen, 1990). Een suboptimale bemesting leidt bij eerstgenoemde gewassen doorgaans wel en bij laatstgenoemde gewassen nauwelijks tot verlaging van de hoeveelheid rest-N. Naast op perceels- en gewasniveau te nemen maatregelen als reductie van de gift en de optimalisering van het tijdstip en de plaats van mesttoediening, bestaat op bedrijfsniveau de mogelijkheid aan emissienormen te voldoen door een bouwplan samen te stellen dat uit het oogpunt van N-verliezen naast risico-volle ook risico-arme teelten bevat. Het staat daarbij niet bij voorbaat vast of het economisch en milieukundig te verkiezen is om een bouwplan met optimaal bemeste, hoogsalderende maar risico-volle aardappel te compenseren met risico-arme, laagsalderende granen of de aardappel liever sub-optimaal te bemesten. Met optimaliseringstechnieken (Schans, 1991), kan worden nagegaan met welk van beide strategieën, economische en milieukundige doelen zoveel mogelijk gelijktijdig kunnen worden verwezenlijkt.

2. Werkwijze

2.1 Wiskundige achtergrond van de relaties

Voor het ontwerpen van duurzame productiesystemen dienen input/output-relaties gekwantificeerd en geformaliseerd te worden. Bij input kan gedacht worden aan arbeid, meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen e.d., bij output aan bijvoorbeeld opbrengst (financieel, drogestof, marktbaar product, vers, mineralen), emissies, accumulaties, natuurwaarden, werkgelegenheid. De formalisering dient bij voorkeur zodanig te gebeuren dat de beschreven relatie op eenvoudige wijze kan worden aangepast voor verschillende productieomstandigheden. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de opbrengstreactie van een gewas op N bij een overmatige, een voldoende of een beperkte vochtvoorziening. De maximaal haalbare output en/of de efficiëntie waarmee N in opbrengst wordt omgezet dienen in dat geval gewijzigd te kunnen worden.

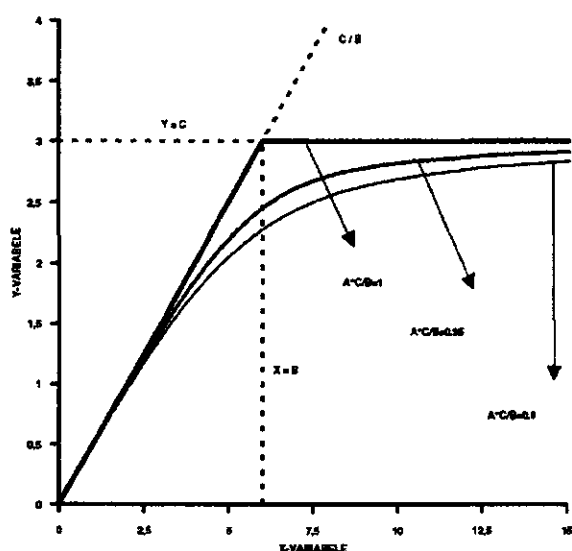
Relaties waarbij een output vanaf een bepaalde wijze niet langer of in steeds geringere mate op een verdere verhoging van een input reageert, kunnen op een algemene wijze worden beschreven door een niet-orthogonale hyperbool (Goudriaan, 1979). De algemene vorm van deze functie is:

$$x = (ay^2 - by)/(y - c) \leftrightarrow$$

$$0 = -ay^2 + by + xy - cx \leftrightarrow$$

$$y = \frac{-(b+cx) + ((b+cx)^2 - 4acx)^{0.5}}{-2a}$$

waarin y de output, x de input en a , b en c parameters zijn. Parameter c geeft de maximumwaarde van de output. De initiële efficiency tussen input en output wordt gedefinieerd als c/b en de waarde van ac/b bepaalt of de output de maximumwaarde geleidelijk ($0 < ac/b < 1$, curve met een afnemende meeropbrengst) of abrupt ($ac/b = 1$, Blackman-curve) bereikt (Fig. 2).



Figuur 2. Relatie tussen input en output als beschreven door een niet-orthogonale hyperbool

2.2 Relaties op gewasniveau

In dit verslag is de reactie van vijf gewassen (aardappel, korrelmaïs, wintertarwe en suikerbiet, vlinderbloemigen) op N nagegaan. Met uitzondering van vlinderbloemigen is de respons beschreven met een niet-orthogonale hyperbool (zie Par. 2.1). Met dat doel zijn waarden voor de parameters a , b en c geschat. Aardappel staat model voor een gewas dat een relatief geringe fractie van de aangeboden N opneemt maar de opgenomen N wel voor een groot deel in de te oogsten organen investeert (lage N-recovery, hoge N-harvest-index), korrelmaïs voor een gewas dat een relatief geringe fractie van de aangeboden N opneemt en de opgenomen N bovendien voor een groot deel in de niet-te-oogsten organen investeert (lage N-recovery, lage N-harvest-index), wintertarwe voor een gewas dat een relatief grote fractie van de aangeboden N opneemt en de opgenomen N bovendien voor een groot deel in de te oogsten organen investeert (hoge N-recovery, hoge N-harvest-index) en suikerbiet voor een gewas dat een relatief grote fractie van de aangeboden N opneemt maar de opgenomen N wel voor een groot deel in de niet-te-oogsten organen investeert (hoge N-recovery, lage N-harvest-index).

De parameterwaarden zijn geschat voor de relaties tussen de volgende inputs en outputs:

- beschikbare minerale bodem-N (inclusief de N die gedurende het groeiseizoen mineraliseert) en de totale N-opname in de bovengrondse delen (hoofd- en bijproduct tezamen);
- beschikbare minerale bodem-N (i.e. inclusief de N die gedurende het groeiseizoen mineraliseert) en de N-opname in het bijproduct;
- de totale N-opname in bovengrondse delen en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct;
- de totale N-opname in bovengrondse delen en de drogestofopbrengst van het bijproduct.

In Bijlage 1 tot en met 4 worden de basisgegevens vermeld op grond waarvan de parameterschatting plaatsvond. Deze gegevens zijn ontleend aan Janssens et al. (1984), Prins et al. (1988), Goossens & Meeuwissen (1990), persoonlijke mededelingen van Haverkort, Stol en Van de Ven en aan ongepubliceerde gegevens van Schröder (CABO-DLO, 1992)).

De parameterwaarde c (maximumwaarde van de output) is arbitrair gekozen waarna de parameters a en b met behulp van regressieanalyse worden geschat.

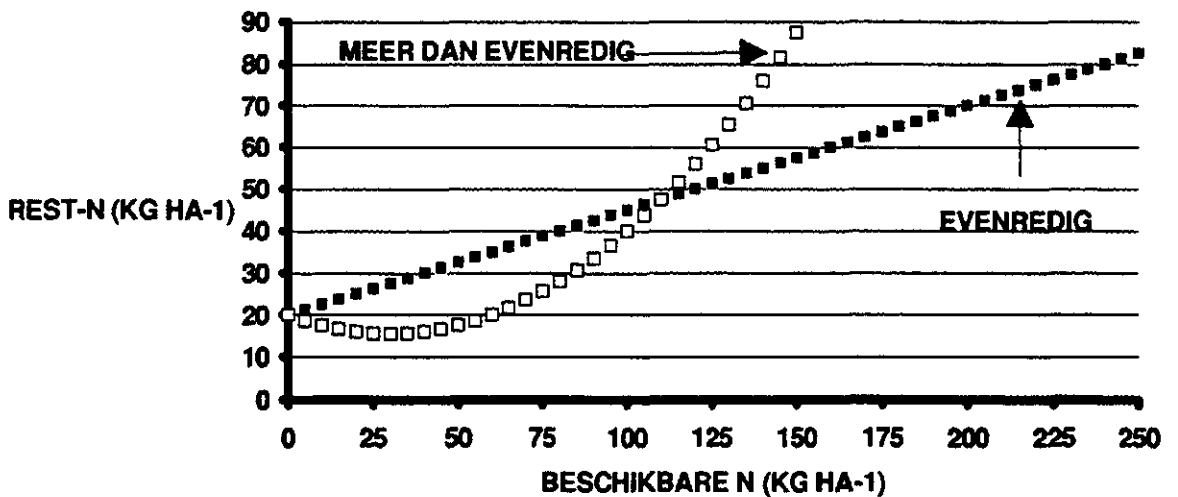
In Bijlage 1 tot en met 4 worden ook schattingen gegeven van de hoeveelheid minerale bodem-N die na de oogst van gewassen achterblijft. Deze zogenaamde rest-N neemt evenredig of meer dan evenredig toe met een verdere verhoging van de beschikbare bodem-N (Fig. 3). De respons kan beschreven worden met de volgende vergelijkingen:

$$y = dx + e \quad (\text{evenredige respons}) \text{ of}$$

$$y = fx^2 + gx + h \quad (\text{meer dan evenredige respons})$$

met y = rest-N en x = beschikbare minerale bodem-N.

Voor aardappel, korrelmaïs, wintertarwe en suikerbiet zijn de parameterwaarden d en e dan wel f , g en h geschat.



Figuur 3. Relatie tussen beschikbare minerale bodem-N en residuaire minerale bodem-N na de oogst bij een evenredige en meer dan evenredige respons

Voor vlinderbloemigen, die door bacteriële binding zelf in de benodigde N voorzien, is aangenomen dat de N-opname en daarmee de opbrengst, onafhankelijk is van de beschikbare minerale bodem-N (Sibma et al., 1989). Voor de drogestof- en N-opbrengst van hoofd- en bijproduct zijn waarden aangenomen zoals vermeld door Grashoff et al. (1987) voor veldbonen. Voorts is verondersteld (Grashoff, persoonlijke mededeling (CABO-DLO)) dat vlinderbloemigen na de oogst 75 kg N/ha in de bodem (0-100 cm) achterlaten.

2.3 Mineralenoverschot, -benutting en reststikstof op bedrijfsniveau

Met gegevens van afzonderlijke gewassen kan een bedrijfsgemiddelde voor de nutriënten-aanvoer en -afvoer berekend worden voor verschillende bouwplannen. Bij aardappel en suikerbiet zijn naast een met kunstmest bemeste variant, ook teeltwijzen beschreven waarbij de N-bemesting deels aan organische mest ontleend wordt. In dat geval is uitgegaan van een herfsttoediening waarbij 66 of 33 % van de bemesting (op basis van N-totaal) uit organische mest bestaat of een voorjaarstoediening waarbij 66 % van de bemesting uit organische mest bestaat. Voor herfst- en voorjaarstoediening van organische mest zijn werkingscoëfficiënten van 30 en 60 % verondersteld. Aangenomen is verder dat de hoeveelheid rest-N bij gebruik van organische mest verhoogd wordt met een hoeveelheid ter grootte van 5 % van de toegediende hoeveelheid N-totaal, als gevolg van mineralisatie buiten het groeiseizoen (Lammers, 1983; Wadman & Ehlert, 1989). Vervolgens zijn de effecten van de bouwplannen, de meststoffenkeuze en het bemestingsniveau op het mineralenoverschot (per ha en per eenheid produkt), de mineralenbenutting en de gemiddelde hoeveelheid rest-N, doorgerekend.

3. Resultaten

3.1 Relaties op gewasniveau

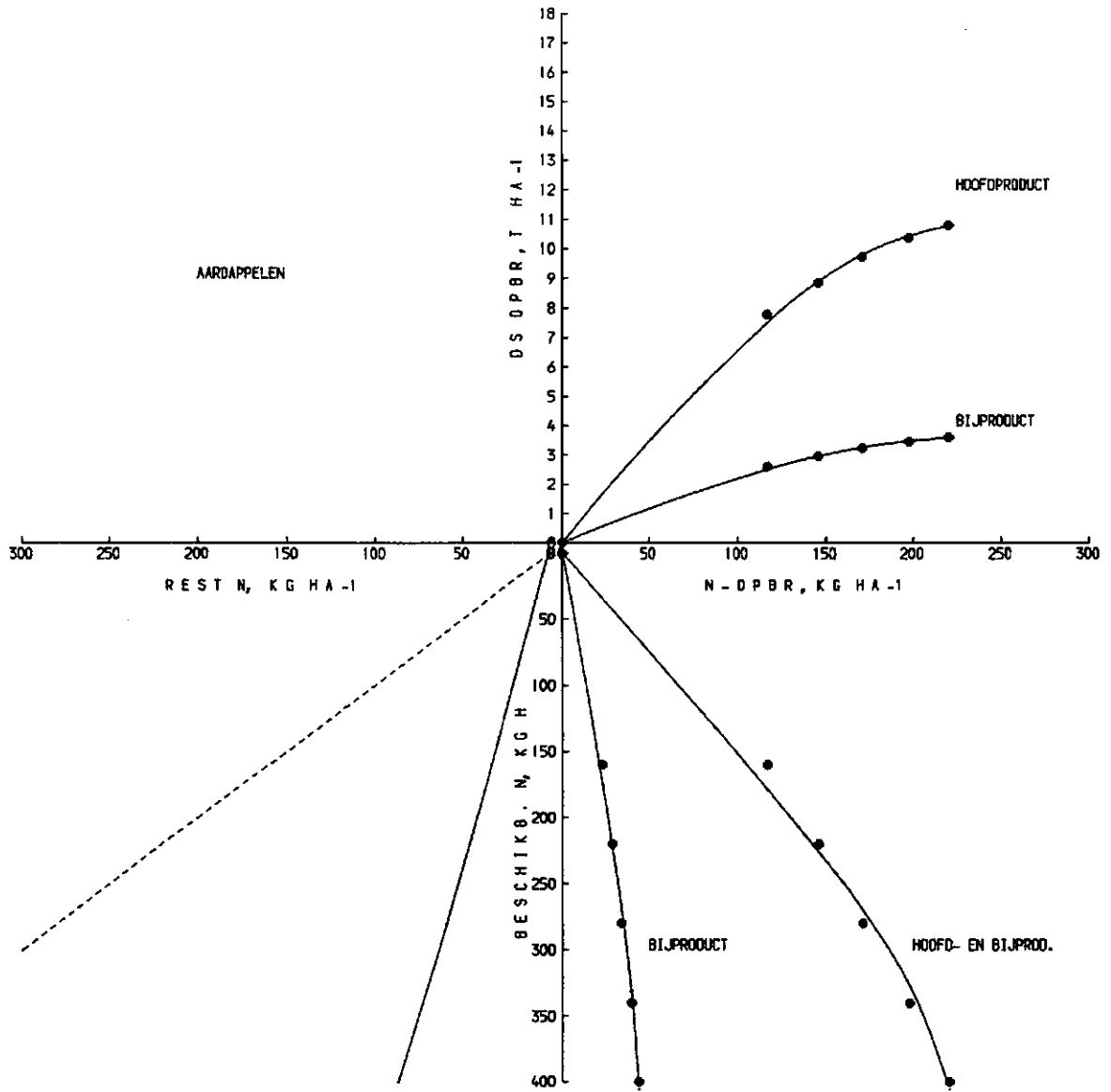
Op basis van Bijlage 1 tot en met 4 zijn parameterschattingen gemaakt voor input/output-relaties van aardappel, korrelmaïs, wintertarwe en suikerbiet (Tabel 1-2, Fig. 4a-4d). Als bij wintertarwe (evenals bij de andere gewassen) een netto-mineralisatie van 100 kg N/ha verondersteld werd, werd een ongewoon hoge totale N-behoefte berekend en een lage opname-efficiency. Ter correctie is een netto-mineralisatie van 60 kg N/ha aangenomen.

Tabel 1. Geschatte parameters voor input/output-relatie volgens een niet-orthogonale functie (zie tekst voor betekenis). ds-opbr. = drogestofopbrengst

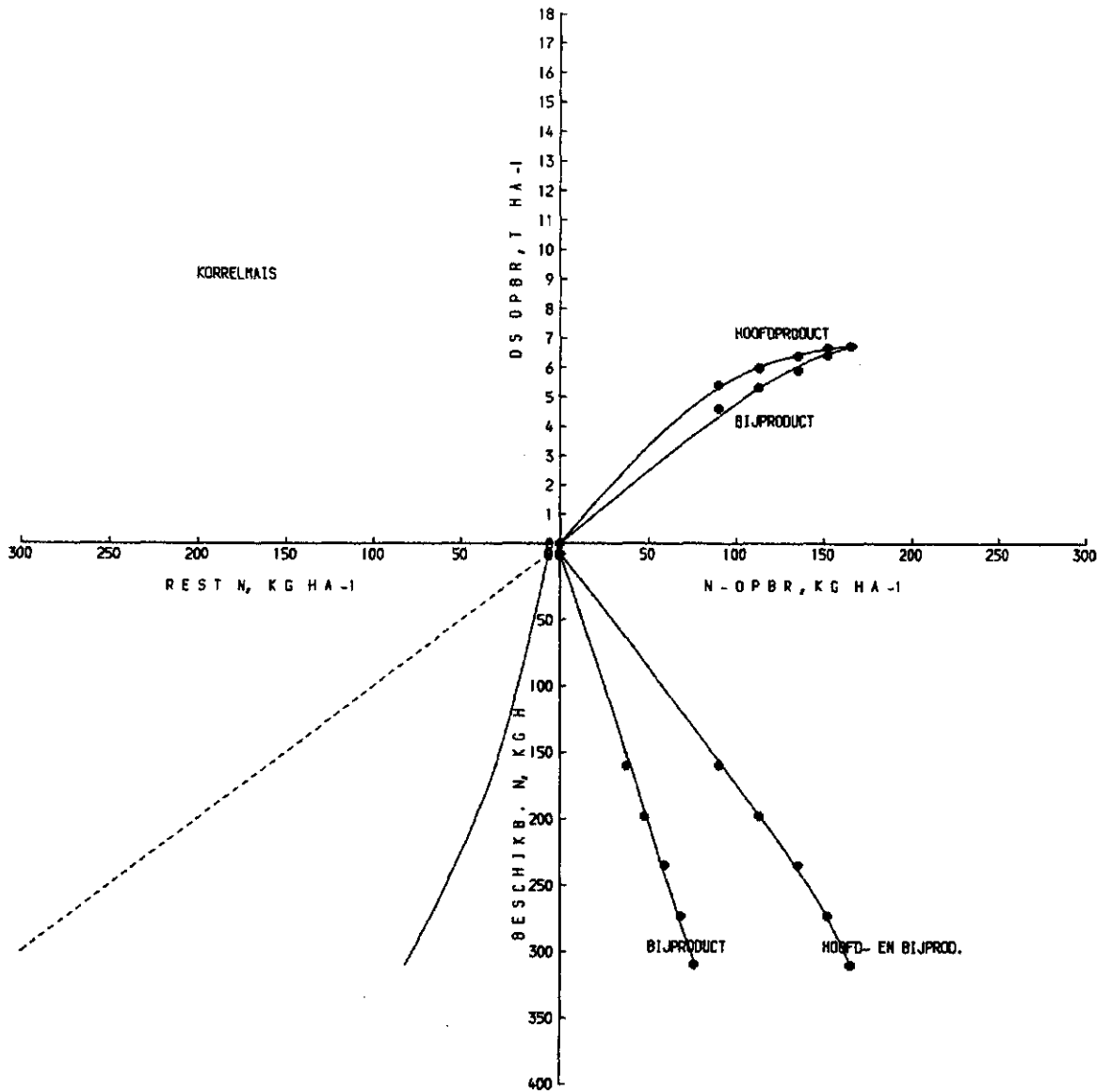
Gewas	Relatie		Parameter				
	input	output	a	b	c	c/b	ac/b
aardappel	beschikbare N	totale N-opname	1,46	362	242	0,67	0,98
	beschikbare N	N-opname bijproduct	6,80	373	52	0,14	0,95
	totale N-opname	ds-opbr. hoofdprodukt	13,93	173	11,9	0,07	0,96
	totale N-opname	ds-opbr. bijproduct	41,09	173	4,0	0,02	0,95
korrelmaïs	beschikbare N	totale N-opname	1,70	313	182	0,58	0,99
	beschikbare N	N-opname bijproduct	4,09	343	84	0,24	1,00
	totale N-opname	ds-opbr. hoofdprodukt	13,13	107	7,5	0,07	0,92
	totale N-opname	ds-opbr. bijproduct	19,48	150	7,5	0,05	0,97
wintertarwe	beschikbare N	totale N-opname	1,44	318	221	0,70	1,00
	beschikbare N	N-opname bijproduct	4,99	237	45	0,19	0,95
	totale N-opname	ds-opbr. hoofdprodukt	21,67	186	8,4	0,05	0,98
	totale N-opname	ds-opbr. bijproduct	12,90	126	9	0,07	0,92
suikerbiet	beschikbare N	totale N-opname	1,36	346	256	0,74	1,00
	beschikbare N	N-opname bijproduct	2,37	342	144	0,42	1,00
	totale N-opname	ds-opbr. hoofdprodukt	8,34	150	16,7	0,11	0,93
	totale N-opname	ds-opbr. bijproduct	33,37	216	6,3	0,03	0,97

Tabel 2. Geschatte parameters voor de relatie tussen de totale hoeveelheid N die beschikbaar is of komt gedurende het groeiseizoen en de hoeveelheid rest-N na de oogst (zie tekst voor betekenis)

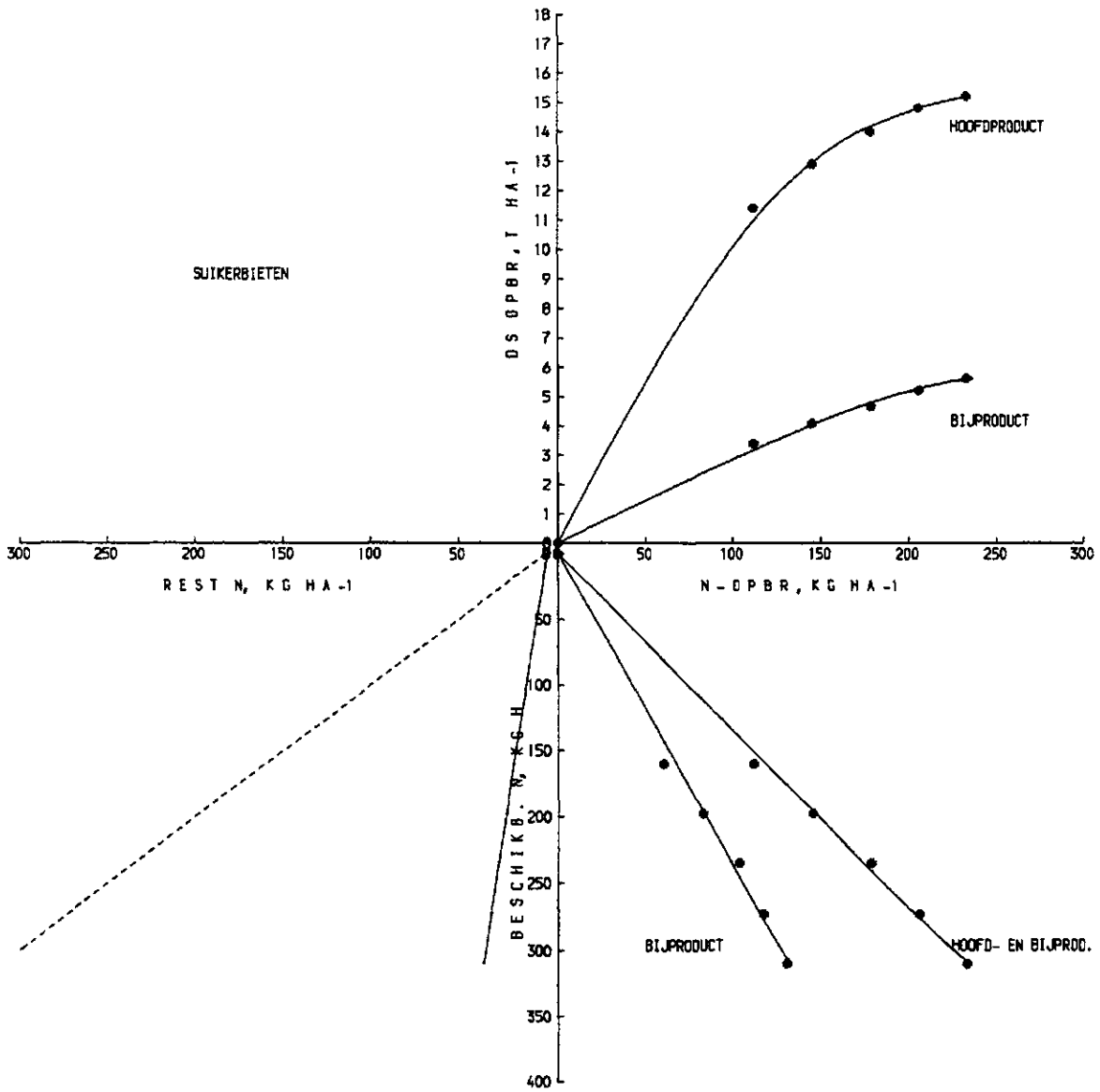
Gewas	Parameter:				
	d	e	f	g	h
aardappel	0,21	0,49	-	-	-
korrelmaïs	-	-	0,000499	0,11	0,26
wintertarwe	0,13	5,59	-	-	-
suikerbiet	0,12	-0,24	-	-	-



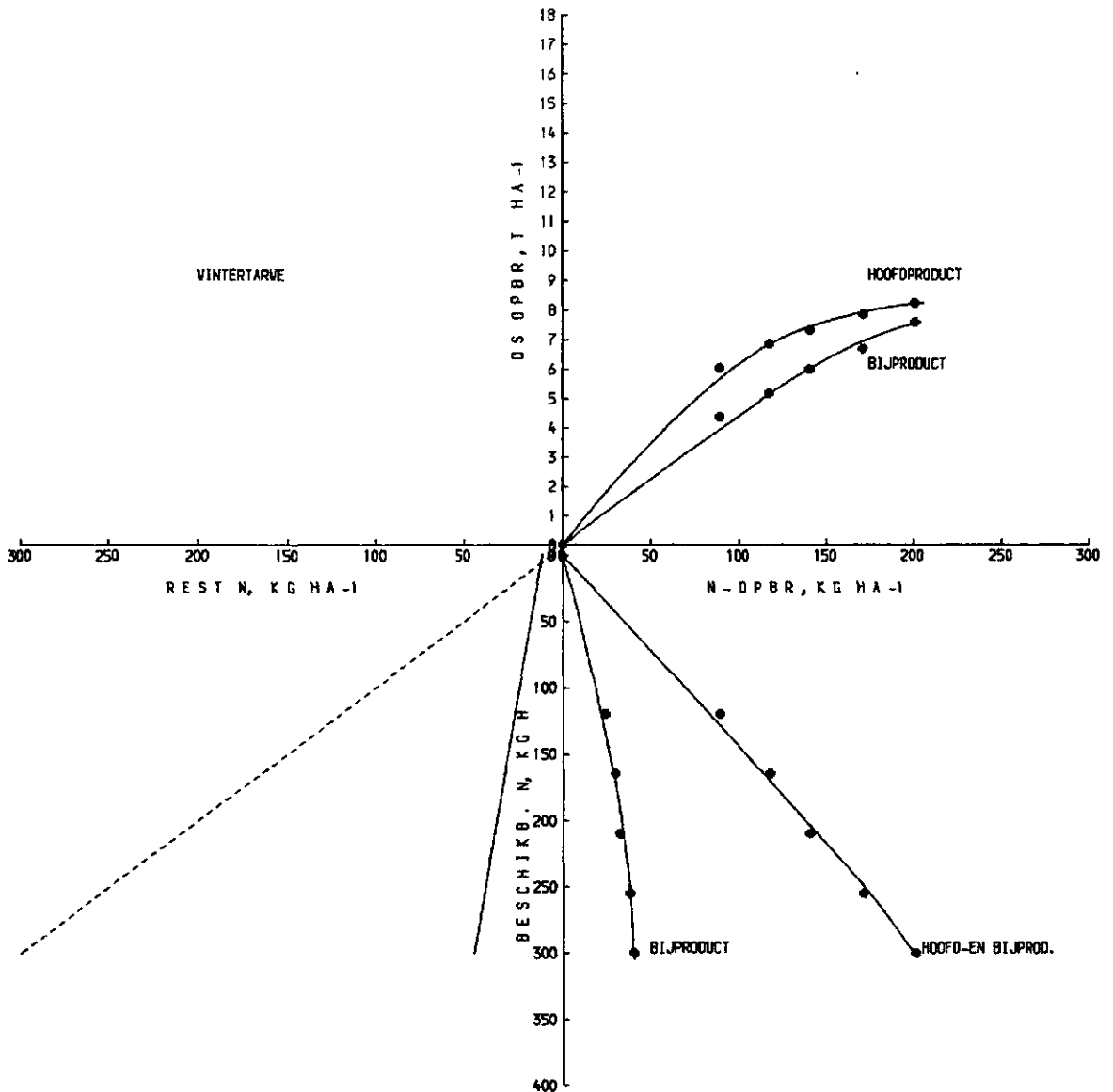
Figuur 4a. Relaties tussen beschikbare minerale bodem-N (inclusief bodem-N die mineraliseert) en de totale N-opname en de N-opname in het bijproduct (kwadrant rechtsonder), de relatie tussen de totale N-opname en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct en het bijproduct (kwadrant rechtsboven), de relatie tussen de beschikbare minerale bodem-N en de rest-N na de oogst (linksonder) en de relatie tussen de rest-N en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct voor aardappel



Figuur 4b. Relaties tussen beschikbare minerale bodem-N (inclusief bodem-N die mineraliseert) en de totale N-opname en de N-opname in het bijproduct (kwadrant rechtsonder), de relatie tussen de totale N-opname en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct en het bijproduct (kwadrant rechtsboven), de relatie tussen de beschikbare minerale bodem-N en de rest-N na de oogst (linksonder) en de relatie tussen de rest-N en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct voor korrelmaïs



Figuur 4c. Relaties tussen beschikbare minerale bodem-N (inclusief bodem-N die mineraliseert) en de totale N-opname en. de N-opname in het bijproduct (kwadrant rechtsonder), de relatie tussen de totale N-opname en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct en het bijproduct (kwadrant rechtsboven), de relatie tussen de beschikbare minerale bodem-N en de rest-N na de oogst (linksonder) en de relatie tussen de rest-N en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct voor suikerbiet



Figuur 4d. Relaties tussen beschikbare minerale bodem-N (inclusief bodem-N die mineraliseert) en de totale N-opname en de N-opname in het bijproduct (kwadrant rechtsonder), de relatie tussen de totale N-opname en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct en het bijproduct (kwadrant rechtsboven), de relatie tussen de beschikbare minerale bodem-N en de rest-N na de oogst (linksonder) en de relatie tussen de rest-N en de drogestofopbrengst van het hoofdproduct voor wintertarwe

De Tabellen 3 t/m 7 geven de outputwaardes van de verschillende relaties voor een toenemende hoeveelheid beschikbare N met een stapgrootte van 40 kg N/ha. De kosten van de laatste 40 kg minerale mest-N werden bij aardappel, wintertarwe en suikerbiet ruimschoots en bij korrelmaïs bijna door een meeropbrengst van het hoofdprodukt gecompenseerd.

Tabel 3. N-opname in bovengrondse delen (NOT, kg/ha), N-opname in bijprodukt (NOB, kg/ha), drogestofproductie van bijprodukt (DPB, t/ha), C-N-quotiënt van bijprodukt (C/N, kg/kg), drogestofproductie van hoofdprodukt (DPH, t/ha), de relatieve drogestofproductie (RPH, %) van hoofdprodukt en de residuaire minerale bodem-N (RESTN, kg/ha) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid N (NBES, kg/ha) bij aardappel

NBES	NOT	NOB	DPB	C/N	DPH	RPH	RESTN
0	0		0,0	-	0,0	0	0
40	27	6	0,6	45	1,8	17	9
80	53	11	1,2	49	3,6	33	17
120	79	16	1,8	51	5,3	49	26
160	105	22	2,3	47	6,8	63	34
200	130	26	2,7	47	8,2	76	43
240	154	31	3,1	45	9,2	86	51
280	176	35	3,3	42	10,0	93	60
320	195	39	3,5	40	10,4	97	68
360	209	42	3,5	38	10,6	99	77
400	219	44	3,6	37	10,8	100	85

Tabel 4. Biologische N-fixatie (NFIK, kg/ha), N-opname in bovengrondse delen (NOT, kg/ha), N-opname in bijprodukt (NOB, kg/ha), drogestofproductie van bijprodukt (DPB, t/ha), C-N-quotiënt van bijprodukt (C/N, kg/kg), drogestofproductie van hoofdprodukt (DPH, t/ha), de relatieve drogestofproductie (RPH, %) van hoofdprodukt en de residuaire minerale bodem-N (RESTN, kg/ha) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid N (NBES, kg/ha) bij vlinderbloemigen

NBES	NFIK	NOT	NOB	DPB	C/N	DPH	RPH	RESTN
0	385	310	40	3,5	39	0,0	100	75
40	359	310	40	3,5	39	0,0	100	75
80	333	310	40	3,5	39	0,0	100	75
120	307	310	40	3,5	39	0,0	100	75
160	281	310	40	3,5	39	0,0	100	75
200	255	310	40	3,5	39	0,0	100	75

Tabel 5. N-opname in bovengrondse delen (NOT, kg/ha), N-opname in bijproduct (NOB, kg/ha), drogestofproductie van bijproduct (DPB, t/ha), C-N-quotiënt van bijproduct (C/N, kg/kg), drogestofproductie van hoofdproduct (DPH, t/ha) de relatieve drogestofproductie van hoofdproduct (RPH, %) en de residuaire minerale bodem-N (RESTN, kg/ha) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid N (NBES, kg/ha) bij korrelmaïs

NBES	NOT	NOB	DPB	C/N	DPH	RPH	RESTN
0	0	0	0,0	-	0,0	0	0
40	23	10	1,2	54	1,6	24	5
80	46	20	2,3	53	3,1	46	12
120	69	29	3,4	53	4,4	65	20
160	92	39	4,4	51	5,4	80	30
200	115	49	5,4	50	6,1	90	42
240	136	59	6,1	47	6,5	96	55
280	155	69	6,5	42	6,7	99	70
320	168	80	6,7	38	6,8	100	86

Tabel 6. N-opname in bovengrondse delen (NOT, kg/ha), N-opname in bijproduct (NOB, kg/ha), drogestofproductie van bijproduct (DPB, t/ha), C-N-quotiënt van bijproduct (C/N, kg/kg), drogestofproductie van hoofdproduct (DPH, t/ha) de relatieve drogestofproductie van hoofdproduct (RPH, %) en de residuaire minerale bodem-N (RESTN, kg/ha) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid N (NBES, kg/ha) bij wintertarwe

NBES	NOT	NOB	DPB	C/N	DPH	RPH	RESTN
0	0	0	0,0	-	0,0	0	0
40	28	8	2,0	113	1,2	16	5
80	56	15	3,8	114	2,5	33	10
120	83	22	5,4	110	3,7	49	15
160	111	28	6,6	106	4,8	63	21
200	138	33	7,4	101	5,9	78	26
240	165	37	7,8	95	6,8	89	31
280	190	39	8,1	93	7,4	97	36
320	208	41	8,2	90	7,6	100	41

Tabel 7. N-opname in bovengrondse delen (NOT, kg/ha), N-opname in bijproduct (NOB, kg/ha), drogestofproductie van bijproduct (DPB, t/ha), C-N-quotiënt van bijproduct (C/N, kg/kg), drogestofproductie van hoofdproduct (DPH, t/ha) de relatieve drogestofproductie van hoofdproduct (RPH, %) en de residuaire minerale bodem-N (RESTN, kg/ha) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid N (NBES, kg/ha) bij suikerbiet

NBES	NOT	NOB	DPB	C/N	DPH	RPH	RESTN
0	0	0	0,0	-	0,0	0	0
40	30	17	0,9	24	3,2	21	4
80	59	34	1,7	23	6,3	42	9
120	88	51	2,5	23	9,1	60	14
160	119	67	3,4	23	11,4	75	18
200	148	84	4,1	22	13,1	86	23
240	178	101	4,8	21	14,2	94	28
280	209	118	5,3	20	14,8	98	32
320	235	137	5,7	19	15,2	100	37

In Tabel 8 wordt per gewas samengevat tot welke uitgangspunten dit leidt met betrekking tot de optimale N-gift, de hoeveelheid minerale bodem-N (inclusief de niet-mest-N die tijdens het groeiseizoen mineraliseert) die beschikbaar is, de hoeveelheid rest-N, de fractie van de bodem-N die door het gewas wordt opgenomen (N-recovery), de fractie van de opgenomen N die in het hoofdproduct terecht komt (N-harvest index) en de koolstof/stikstof-verhouding (C-N-quotiënt) van het bijproduct (hier de gewasrest). Bij de gegevensverzameling waarop de parameterschatting voor wintertarwe gebaseerd is, bedraagt de optimale N-gift bij een initiële N-voorraad van 60 kg N/ha en een netto-mineralisatie van 60 kg N/ha, 180 kg minerale N/ha, omwille van de vergelijkbaarheid met de andere gewassen en omdat er geen redenen zijn om aan te nemen dat de netto-mineralisatie onder wintertarwe verschilt van aardappel, suikerbiet of korrelmaïs, is de mineralisatie ook bij wintertarwe op 100 kg N/ha gesteld en de N-gift navenant verlaagd. Vervolgens is omwille van de vergelijkbaarheid voor wintertarwe, korrelmaïs en suikerbiet in alle gevallen een optimale N-gift van 160 kg minerale N/ha aangehouden.

Slechts een deel van de gift wordt teruggevonden in hetzij hoofd- en bijproduct, hetzij als rest-N. Dat betekent dat ook tijdens het groeiseizoen N zoek raakt; voor aardappel, korrelmaïs, wintertarwe en suikerbiet bedragen deze berekende 'verliezen' respectievelijk 31, 18, 27 en 16 % van de economisch optimale N-gift. Een deel van dit 'verlies' houdt verband met tijdelijke vastlegging in wortels en stoppels.

Tabel 8. N_{min} voorjaar, te mineraliseren bodem-N, optimale N-gift, totaal beschikbare bodem-N en de rest-N (0-100 cm, kg/ha) en N-recovery en N-harvest index (%) bij de optimale N-gift

Gewas	N _{min} voorjaar	Te mineraliseren N	Optimale N-gift	Beschikbare N	Rest-N	N-recovery	N-harvest-index	C/N
aardappel	60	100	240	400	85	48	80	37
korrelmaïs	60	100	160	320	86	48	52	38
wintertarwe	60	100	160	320	41	63	80	90
suikerbiet	60	100	160	320	37	73	42	19
vlinderbloemigen	60	100	0	160	75	n.v.t.	86	39

Tabel 9. Uitgangspunten ten aanzien van N-aanvoer- en -afvoerposten (kg/ha) voor de berekening van het realiseerbare N-overschot (kg/ha), de N-benutting (%) en de rest-N (kg/ha) bij aardappel, vlinderbloemigen, wintertarwe en suikerbiet in relatie tot de gebruikte mestsoort en het toedieningstijdstip van organische mest bij een economisch optimale bemesting

Gewas	Wintertarwe	Vlinderbl.*	Aardappel				Suikerbiet			
			G	V66	H66	H33	G	V66	H66	H33
mestscenario**	G	G	G	V66	H66	H33	G	V66	H66	H33
kunstmest	160	0	240	108	149	208	160	72	99	139
organische mest	0	0	0	220	303	107	0	147	203	70
depositie	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
zaaizaad/pootgoed	4	5	7	7	7	7		0	0	0
biologische binding	0	281	0	0	0	0	0	0	0	0
N-aanvoer	203	325	286	374	498	361	199	258	341	248
N-afvoer	167	270	175	175	175	175	98	98	98	98
N-overschot	36	55	111	199	323	186	101	160	243	150
N-benutting	82	83	61	47	35	48	49	38	29	40
rest-N	41	75	85	96	100	90	37	44	47	41

* bij vlinderbloemigen zijn de posten 'aannames' en 'niet berekend' als beschreven in subhoofdstuk 2.1

** G: geen organische mest; V66: 66% van de N-gift aan hakvruchten ontleend aan organische mest (op basis van N-totaal) en verstrekt in het voorjaar met een werkingscoëfficiënt van 60%; H66 en H33: 66% respectievelijk 33% van N-gift aan hakvruchten ontleend aan organische mest (op basis van N-totaal) en verstrekt in de herfst met een werkingscoëfficiënt van 30%.

Tabel 10 Gerealiseerd aandeel van organische mest-N in de totale N-bemesting (%), N-aanvoer, N-afvoer, het N-overschot (kg/ha), de N-benutting (%) en rest-N (0-100 cm, kg/ha) op bedrijfsniveau bij een bouwplan dat naast 25% wintertarwe, 25% aardappel en 25% suikerbiet als complement (à 25%) hetzij vlinderbloemigen, hetzij wintertarwe, hetzij aardappel bevat mede in relatie tot het gebruikte mestscenario voor aardappel en suikerbiet (zie Tabel 9 voor uitgangspunten)

Comple- ment	Mest- scenario	Aandeel organische mest	N- aanvoer	N- afvoer	N- overschot	N- benutting	Rest-N
vlinder- bloem	G*	0	253	178	75	70	60
	V66	52	290	178	112	61	64
	H66	55	342	178	164	52	66
	H33	26	284	178	106	63	62
winter- tarwe	G	0	233	152	81	65	51
	V66	42	260	152	108	58	56
	H66	47	311	152	159	49	57
	H33	21	264	152	112	58	53
aard- appel	G	0	244	154	90	63	62
	V66	57	302	154	148	51	69
	H66	59	385	154	231	40	72
	H33	28	293	154	139	53	66

* G: geen organische mest; V66: 66% van de N-gift aan hakvruchten ontleend aan organische mest (op basis van N-totaal) en verstrekt in het voorjaar met een werkingscoëfficiënt van 60%; H66 en H33: 66% respectievelijk 33% van N-gift aan hakvruchten ontleend aan organische mest (op basis van N-totaal) en verstrekt in de herfst met een werkingscoëfficiënt van 30%.

3.2 Mineralenoverschot, -benutting en reststikstof

Tabel 9 vermeldt de gehanteerde uitgangspunten (ontleend aan Par. 3.1) per afzonderlijk gewas voor situaties waarbij optimaal met N bemest wordt. Met deze gegevens zijn de gevolgen verkend voor een bouwplan dat voor 25 % uit wintertarwe, 25 % uit aardappel, 25 % uit suikerbiet en voor de overige 25 % uit hetzij vlinderbloemigen, hetzij wintertarwe, hetzij aardappel bestaat (Tabel 10). Vervanging van wintertarwe door vlinderbloemigen of aardappel heeft een toename van de hoeveelheid rest-N op bedrijfsniveau tot gevolg, tenzij in dat geval alleen van kunstmest-N gebruik gemaakt wordt. In alle gevallen, echter, blijft de hoeveelheid rest-N, gemiddeld over het bedrijf, beneden de 75 kg N/ha. Gedeeltelijke vervanging van kunstmest door organische mest verhoogt het N-overschot. Het overschot stijgt van circa 80 kg N/ha als alleen kunstmest-N gebruikt wordt naar 110 bij gedeeltelijke vervanging door in het voorjaar toegediende organische mest, en 230 kg N/ha bij gedeeltelijke vervanging door in het najaar toegediende organische mest. In verband daarmee daalt de N-benutting op bedrijfsniveau van 63-70 % bij bemesting met alleen kunstmest naar 51-61 % en 40-52 % als kunstmest-N gedeeltelijk wordt vervangen door respectievelijk in het voorjaar en in het najaar toegediende organische mest.

Bij verlaging van de N-gift daalt bij alle gewassen, behalve vlinderbloemigen, de N-afvoer (Tabellen 3 tot en met 7). De gevolgen van een verlaagde N-gift voor het N-overschot en de

hoeveelheid rest-N zijn doorgerekend voor aardappel, suikerbiet en wintertarwe (Tabel 11). Verlaging van de N-gift leidt bij de gekozen uitgangspunten tot een daling van het N-overschot en de hoeveelheid rest-N, zowel per eenheid oppervlakte als per eenheid produkt (Tabel 12). Met deze gegevens zijn de gevolgen van een verlaagde N-gift op bedrijfsniveau verkend voor bouwplannen met een afnemende intensiteit (Tabel 13). Verlaging van de N-gift heeft een sterkere daling van het N-overschot en de hoeveelheid rest-N op bedrijfsniveau tot gevolg dan een geringe extensivering van het bouwplan. Pas bij een sterke extensivering (66 % granen) leidt een optimale N-bemesting van de gewassen tot een N-overschot en een hoeveelheid rest-N die vergelijkbaar zijn met suboptimaal (-40 kg N/ha) bemeste intensieve bouwplannen. De berekende opbrengstderiving blijft bij deze suboptimale N-gift beperkt tot enkele procenten.

De bemesting die nodig is om een gewenste bodemvruchtbaarheidstoestand te handhaven en waardoor de realiseerbare fosfaat- en kalibenutting bepaald worden, hangt af van de omvang van de onvermijdbaar geachte verliezen. Op bedrijfsniveau zijn bij een onvermijdbaar verlies van 5 kg/ha een fosfaat- en kalibemesting van respectievelijk 52 kg P₂O₅ en 127 kg K₂O/ha noodzakelijk. De realiseerbare benutting bedraagt dan 91 respectievelijk 96 %. Bij een verlies van 25 kg/ha is voor het handhaven van de bodemvruchtbaarheid, respectievelijk 75 kg P₂O₅ en 147 kg K₂O/ha nodig. In dat geval daalt de realiseerbare benutting tot 67 % voor fosfaat en 83 % voor kalium (Tabel 14). Omdat met wintertarwe, vlinderbloemigen en aardappel vergelijkbare hoeveelheden fosfaat worden afgevoerd (Stouthart & Leferink, 1992), heeft de vervanging van vlinderbloemigen door wintertarwe of aardappel nauwelijks invloed op de fosfaat- en kalibenutting.

Tabel 11. Uitgangspunten ten aanzien van N-aanvoer- en -afvoerposten (kg/ha) voor de berekening van het realiseerbare N-overschot (kg/ha), de N-benutting (%) en de rest-N (kg/ha) bij aardappel, wintertarwe en suikerbiet bij optimale en suboptimale bemesting

Gewas	Aardappel			Wintertarwe			Suikerbiet		
	opt	-40	-80	opt	-40	-80	opt	-40	-80
opbrengst (t vers/ha)	45,0	44,1	43,3	9,0**	8,7**	8,0**	50,0	48,7	46,7
relatieve opbrengst	100	99	97	100	97	89	100	98	94
N-overschot (kg/ha)	111	79	50	36	12	-5	101	68	42
N-overschot (kg per ton vers produkt)	2,5	1,8	1,2	4,0	1,4	-0,6	2,0	1,4	0,9
rest-N (kg/ha)	85	77	68	41	36	31	37	32	28
rest-N (kg per ton vers produkt)	1,9	1,7	1,6	4,6	4,1	3,9	0,7	0,7	0,6

* opt, -40, -80: optimaal, optimaal minus 40 kg N/ha, optimaal minus 80 kg N/ha

** 16 % vocht

Tabel 12. Gerealiseerde N-aanvoer, N-afvoer, N-overschot (kg/ha), N-benutting (%) en rest-N (0-100 cm, kg/ha) op bedrijfsniveau bij diverse intensiteiten van het bouwplan in relatie tot de N-gift (zie Tabel 11 voor uitgangspunten)

Bouwplansamenstelling (%)			N-bemes- ting *	N-aan- voer	N- afvoer	N- over- schot	N- benut- ting	Rest-N
winter tarwe	suiker- biet	aard- appel						
25	25	50	opt	244	154	90	63	62
			-40	204	144	60	71	56
			-80	164	129	35	79	49
33	33	33	opt	229	147	82	64	54
			-40	189	136	53	72	48
			-80	149	120	29	81	42
50	25	25	opt	233	152	81	65	51
			-40	193	140	53	73	45
			-80	153	122	31	80	40
66	17	17	opt	216	157	59	73	48
			-40	176	144	33	82	42
			-80	136	124	12	91	37

* opt, -40, -80: optimaal, optimaal minus 40 kg N/ha, optimaal minus 80 kg N/ha

Tabel 13. Gewenste fosfaat- en kalibemesting (kg P₂O₅ respectievelijk K₂O/ha) voor het handhaven van een gegeven bodemvruchtbaarheidstoestand en de realiseerbare fosfaat- en kalibenutting (%) bij twee uitgangspunten ten aanzien van het onvermijdbare verlies in een bouwplan met 25% granen, 25% aardappel, 25% suikerbiet en 25% vlinderbloemigen

		P ₂ O ₅ (kg/ha)		K ₂ O (kg/ha)	
afvoer	verlies	5	25	5	25
	gewas	50	50	130	130
	totaal	55	75	135	155
aanvoer	depositie	2	2	5	5
	zaaizaad/pootgoed	1	1	3	3
	mest	52	75	127	147
	totaal	55	75	135	155
benutting %		91	67	96	83

4. Discussie

De efficiëntie waarmee nutriënten in de akkerbouw gebruikt worden hangt samen met de opzet van het bedrijf. Omdat de efficiëntie per gewas verschilt, speelt de bouwplansamenstelling een rol bij de verliezen die op bedrijfsniveau optreden. Daarnaast is ook de keuze van meststoffen van invloed. Van de nutriënten in organische mest komt een deel namelijk vrij buiten de periode waarin van gewasopname sprake is of pas op langere termijn. Bovendien wordt organische mest om structuurschade te vermijden vaak al in de herfst en winter uitgereden. Als gevolg van beide aspecten is de benutting van dierlijke mest principieel geringer dan van minerale kunstmest en wordt de efficiëntie mede door de meststoffenkeuze bepaald. Voorts is ook de hoogte van de mestgift bepalend voor de efficiëntie van het nutriëntengebruik.

In dit verslag wordt beschreven hoe elk van de genoemde factoren (bouwplan, meststoffenkeuze, mestgift) invloed uitoefent op de benutting en het verlies op bedrijfsniveau. De aandacht van deze studie richt zich grotendeels op N. Daartoe is allereerst op gewasniveau beschreven hoe de opbrengst van aardappel, suikerbiet, korrelmaïs, wintertarwe en vlinderbloemigen op stijgende N-giften reageert, en hoezeer het N-overschot en de hoeveelheid rest-N hierdoor worden beïnvloed.

Met uitzondering van wintertarwe kunnen experimentele gegevens met betrekking tot de gewasreactie op N goed beschreven worden met niet-orthogonale hyperbolen. Bij wintertarwe is dit alleen het geval als een mineralisatie wordt aangenomen die 40 kg N/ha lager is dan bij de andere gewassen. Na deze correctie laten de gegevens zich ook bij wintertarwe door een niet-orthogonale hyperbool beschrijven. Omwille van de vergelijkbaarheid is de geformaliseerde relatie (namelijk volgens een niet-orthogonale hyperbool) in een later stadium opnieuw geconverteerd naar een situatie waarin de mineralisatie voor alle gewassen identiek is en is de N-gift navenant verlaagd (Tabel 3 tot en met 7).

De experimentele gegevens zijn ook gebruikt om na te gaan welke invloed de N-gift heeft op de hoeveelheid rest-N. Bij aardappel, wintertarwe en suikerbiet blijkt de toename van de hoeveelheid rest-N evenredig met de N-gift, bij korrelmaïs meer dan evenredig. Een deel van de N-gift wordt niet in de vorm van gewas-N of rest-N teruggevonden. Bij een economische N-gift bedroeg dit 'verlies' 16 tot 31 %. Een deel van het 'verlies' valt vermoedelijk toe te schrijven aan tijdelijke vastlegging in wortels en stoppels.

Met de gegevens op gewasniveau zijn vervolgens bedrijfssystemen gecomponeerd. Daaruit blijkt dat het N-overschot op bedrijfsniveau bij een optimale N-bemesting op basis van kunstmest-N 75, 81 en 90 kg N/ha bedraagt voor bouwplannen die naast 25 % wintertarwe, 25 % aardappel en 25 % suikerbiet, als complement, respectievelijk, of 25 % vlinderbloemigen, of 25 % wintertarwe of 25 % aardappel bevatten. Als aardappel en suikerbiet in deze bouwplannen voor tweederde deel met organische in plaats van minerale kunstmest-N bemest worden, stijgt het N-overschot tot meer dan 100 kg N/ha bij voorjaarstoediening en meer dan 150 kg N/ha bij najaarstoediening. Akkerbouwers kunnen hun nutriëntenbenutting dus verhogen door kunstmest in plaats van dierlijke mest te gebruiken.

De prijs hiervoor is echter een nog grotere inefficiëntie van het nutriëntengebruik op mestproducerende bedrijven die de afzet van mest naar de akkerbouw in dat geval zien verdwijnen.

Verlaging van de N-gift heeft een sterkere daling van het N-overschot en de hoeveelheid rest-N tot gevolg dan een geringe extensivering van het bouwplan. Pas bij een sterke extensivering (66 % granen) leidt een optimale N-bemesting van de gewassen tot een N-overschot en een hoeveelheid rest-N die vergelijkbaar zijn met suboptimaal (-40 kg N/ha) bemeste intensieve bouwplannen. De berekende opbrengstderving blijft bij deze suboptimale N-gift beperkt tot enkele procenten. Bij de genoemde verlaging is het berekende N-overschot 53 tot 60 kg N/ha en de benutting 71 tot 73 %. Het is de vraag of met een dergelijk N-overschot, de mineralisatie (inclusief niet-symbiotische N-binding en depositie) zodanig op peil blijven dat het berekende opbrengstniveau ook op langere termijn gehandhaafd kan worden. De verkenningen geven aan dat bij een optimale N-bemesting een zeer sterke verdunning van het bouwplan met granen nodig is om het N-overschot vergelijkbaar te laten zijn met dat van een intensief bouwplan met suboptimaal bemeste gewassen. Pas door andere bouwplaneffecten zoals teeltfrequentie-effecten (en de eventueel daarmee verbonden extra gewasbeschermingskosten) alsmede gewassaldi mee te wegen, kan worden nagegaan of 'verdunning met granen' een betere strategie is voor een hoge nutriëntenbenutting dan de strategie van 'suboptimaal bemesten'. Strategieën met een hoog aandeel granen hoeven niet bij voorbaat kansarm te zijn; in plaats van 'granen' in engere zin kan namelijk ook 'grasachtige voedergewassen' gelezen worden waarvoor wel voldoende afzetruimte bestaat.

Deze theoretische verkenning dient te worden getoetst aan praktijkgegevens. Een dergelijke toets zal plaatsvinden aan de hand van gegevens verzameld bij de 38 deelnemers aan het project 'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw' (Schröder et al., 1993).

Vervolgonderzoek zou zich verder moeten richten op:

- de lange-ermijneffecten van een restrictieve N-bemesting;
- het op vergelijkbare wijze beschrijven van de N-huishouding van vollegrondsgroentegewassen, graszaad, uien en (gemaaid) grasland;
- de benutbaarheid van N uit gewasresten (inclusief stoppels) en groenbemesters.

Literatuur

- Anonymus, 1992. Themadag Bedrijfssystemen voor een akkerbouw met toekomst. Thema-boekje nr. 14, PAGV-IKC-AGV, Lelystad, 216 pp.
- Goossens, F.R. & P.C. Meeuwissen (eds.), 1990. Advies van de Commissie Stikstof. Directie Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 93 pp.
- Goudriaan, J., 1979. A family of saturation type curves, especially in relation to photosynthesis. *Annals of Botany* 43, 783-785.
- Grashoff, C., J.A. Klein Hulze & H.G. Smid, 1987. Opbrengstvariabiliteit bij veldbonen en erwten, CABO-DLO-publikatie 435, 121 pp.
- Janssens, S.R.M., B.A. ten Hag & H.H.H. Titulaer, 1984. Bedrijfseconomische gevolgen van beperking van de stikstofbemesting op het akkerbouwbedrijf. PAGV-verslag 34, Lelystad, 12 pp.
- Lammers, H.W., 1983. Gevolgen van het gebruik van organische mest op bouwland. CAD Bodem-, water- en bemestingszaken, Wageningen, 83 pp.
- Prins, W.H., K. Dilz & J.J. Neeteson, 1988. Current recommendations for nitrogen fertilisation within the EEC in relation to nitrate leaching, *Proceedings* 276, Fertilizer Society of London, 27 pp.
- Schans, J., 1991. Optimal potato production systems with respect to economic and ecological goals. *Agricultural Systems* 37, 387-397.
- Schröder, J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen & F.G. Wijnands, 1993. Nutriëntenbenutting en -verlies bij akkerbouwgewassen: evaluatie van praktijkgegevens van innovatie-bedrijven in 1990 en 1991, Verslag 187, CABO-DLO, Wageningen 58 pp.
- Sibma, L., C. Grashoff & J.A. Klein Hulze, 1989. Ontwikkeling en groei van veldbonen (*Vicia faba*) onder Nederlandse omstandigheden, Pudoc Gewassenreeks 3, Wageningen, 64 pp.
- Stouthart, F. & J. Leferink, 1992. Mineralenboekhouding (incl. werkboeken voor begeleider en deelnemer), IKC, DLV, CLM, Utrecht, 20+32+57 pp.
- Vereijken, P. & F.G. Wijnands, 1990. Geïntegreerde akkerbouw naar de praktijk: strategie voor bedrijf en milieu. PAGV-publikatie 50, 86 pp.
- Wadman, W.P. & P.A.I. Ehlert, 1989. Environmental effects of organic manures in sugar beet production. IIRB *Proceedings* 1989, 52nd Winter Congress, Brussel, 93-101.

Bijlage

Tabel I-1. Basisgegevens van consumptieaardappel

	Bemestingsscenario in % van optimumgift				
	0	25	50	75	100
Nmin in voorjaar (kg/ha)	60	60	60	60	60
netto mineralisatie (kg/ha)	100	100	100	100	100
N-gift (kg/ha)	0	60	120	180	240
beschikbaar komende N (kg/ha)	160	220	280	340	400
opbrengst hoofdprodukt (t ds/ha)	7,8	8,9	9,7	10,4	10,8
opbrengst hoofdprodukt (t vers/ha)	32	37	40	43	45
relatieve opbrengst hoofdprodukt (%)	72	82	90	96	100
opbrengst bijprodukt (t ds/ha)	2,6	3,0	3,2	3,5	3,6
'harvest index'	75	75	75	75	75
N-opbrengst hoofdprodukt (kg/ha)	94	116	136	156	173
N-opbrengst bijprodukt (kg/ha)	23	30	35	42	47
totale N-opbrengst (kg/ha)	117	146	171	198	220
'N harvest index'	79	79	80	79	80
'apparent N recovery'	-	48	45	45	43
N gehalte hoofdprodukt (%)	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
N gehalte bijprodukt (%)	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
residuaire bodem-N (kg/ha, 0-100 cm)	40	45	55	70	90

Gebaseerd op gegevens van Haverkort (pers. med.), Janssens et al. (1984), Prins et al. (1988) en Goossensen & Meeuwissen (1990)

27/11/2011

0,93
0,93
0,93
0,93
0,93

Tabel I-2. Basisgegevens van korrelmaïs

	Bemestingsscenario in % van optimumgift:				
	0	25	50	75	100
N _{min} in voorjaar (kg/ha)	60	60	60	60	60
netto mineralisatie (kg/ha)	100	100	100	100	100
N-gift (kg/ha)	0	38	75	113	150
beschikbaar komende N (kg/ha)	160	198	235	273	310
opbrengst hoofdprodukt (t ds/ha)	5,4	6,0	6,4	6,7	6,8
opbrengst hoofdprodukt (t vers/ha, 16% vocht)	6,4	7,1	7,6	8,0	8,1
relatieve opbrengst hoofdprodukt (%)	79	88	94	99	100
opbrengst bijprodukt (t ds/ha)	4,6	5,3	5,9	6,4	6,8
'harvest index'	54	53	52	51	50
N-opbrengst hoofdprodukt (kg/ha)	53	65	76	84	89
N-opbrengst bijprodukt (kg/ha)	37	48	59	68	76
totale N-opbrengst (kg/ha)	90	113	135	152	165
'N harvest index'	59	58	56	55	54
'apparent N recovery'	-	61	60	55	50
N gehalte hoofdprodukt (%)	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
N gehalte bijprodukt (%)	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
residuaire bodem-N (kg/ha, 0-100 cm)	32	41	52	66	83

Gebaseerd op gegevens van Schröder (ongepubliceerd) en Goossensen & Meeuwissen (1990)

Tabel I-3. Basisgegevens van wintertarwe

	Bemestingscenario in % van optimumgift:				
	0	25	50	75	100
Nmin in voorjaar (kg/ha)	60	60	60	60	60
netto mineralisatie (kg/ha)	60	60	60	60	60
N-gift (kg/ha)	0	45	90	135	180
beschikbaar komende N (kg/ha)	120	165	210	255	300
opbrengst hoofdprodukt (t ds/ha)	4,4	5,2	6,0	6,7	7,6
opbrengst hoofdprodukt (t vers/ha, 16% vocht)	5,2	6,2	7,1	8,0	9,0
relatieve opbrengst hoofdprodukt (%)	57	69	79	88	100
opbrengst bijprodukt (t ds/ha)	6,0	6,8	7,3	7,7	8,2
'harvest index'	42	43	45	46	48
N-opbrengst hoofdprodukt (kg/ha)	65	89	108	134	160
N-opbrengst bijprodukt (kg/ha)	24	29	33	37	41
totale N-opbrengst (kg/ha)	89	118	141	171	201
'N harvest index'	73	75	77	78	80
'apparent N recovery'	-	64	58	61	62
N gehalte hoofdprodukt (%)	1,5	1,7	1,8	2	2,1
N gehalte bijprodukt (%)	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
residuaire bodem-N (kg/ha, 0-100 cm)	27	31	34	37	40

Gebaseerd op gegevens van Stol (pers. med.), Janssens et al. (1984), Prins et al. (1988) en Goossens & Meeuwissen (1990)

Tabel 1-4. Basisgegevens van suikerbiet

	Bemestingsscenario in % van optimumgift:				
	0	25	50	75	100
Nmin in voorjaar (kg/ha)	60	60	60	60	60
netto mineralisatie (kg/ha)	100	100	100	100	100
N-gift (kg/ha)	0	38	75	113	150
beschikbaar komende N (kg/ha)	160	198	235	273	310
opbrengst hoofdprodukt (t ds/ha)	11,4	12,9	14,0	14,8	15,2
opbrengst hoofdprodukt (t vers/ha)	37	42	46	49	50
relatieve opbrengst hoofdprodukt (%)	75	85	92	97	100
opbrengst bijprodukt (t ds/ha)	3,4	4,1	4,8	5,2	5,7
'harvest index'	77	76	75	74	73
N-opbrengst hoofdprodukt (kg/ha)	51	63	76	89	102
N-opbrengst bijprodukt (kg/ha)	61	82	103	117	131
totale N-opbrengst (kg/ha)	112	145	179	206	233
'N harvest index'	46	43	42	43	44
'apparent N recovery'	-	87	89	83	81
N gehalte hoofdprodukt (%)	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
N gehalte bijprodukt (%)	1,8	2,0	2,2	2,3	2,3
residuaire bodem-N (kg/ha, 0-100 cm)	15	25	30	30	35

Gebaseerd op gegevens van Van de Ven (pers. med.), Janssens et al. (1984), Prins et al. (1988) en Goossensen & Meeuwissen (1990)