A 1287 I

juni 1981

NN31545.1287

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

DE STIKSTOFHUISHOUDING VAN BOUWLAND MET SNIJMAIS IN AFHANKELIJKHEID VAN DE KUNSTMEST- EN STALMESTDOSERING (PROEFVELD GORTEL 1971 t/m 1978)

L.A.H.M. Verheyen* en ir. J.H.A.M. Steenvoorden

*Stagiair van de LH, studierichting Milieuhygiëne

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0035 2704

16 JUL 1982

ISN 161 263 - 01

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. STIKSTOFTOEVOER DOOR DIERLIJKE MEST EN VERLIEZEN DOOR NH_3-VERVLUCHTIGING	4
2.1. Algemeen	4
2.2. De situatie voor Gortel	7
3. ADDITIONELE STIKSTOFAANVOER	11
4. OOGSTVERLIEZEN EN VASTLEGGING VAN STIKSTOF IN ONDERGRONDSE DELEN	12
5. HUMIFICATIE EN MINDERALISATIE	13
5.1. Algemene inleiding	13
5.2. De situatie voor Gortel	18
6. STIKSTOFOPNAME DOOR SNIJMAIS	31
6.1. Algemene inleiding	31
6.2. De situatie voor Gortel	34
6.3. Algemeen	45
7. UITSPOELING	48
7.1. Inleiding	48
7.2. De situatie voor Gortel	49
7.3. Uitvoering op Cranendonck	52
8. DENITRIFICATIE EN MINERALE STIKSTOFBALANS	63
8.1. Theorie	63
8.2. Situatie op Gortel	65
9. DISCUSSIE	69

	Blz.
10. SAMENVATTING	72
11. VERSLAG BESPREKING CONCEPT-NOTA	75
LITERATUUR	78
LIJST VAN SYMBOLEN	80
BIJLAGEN	

1. INLEIDING

Omvangrijke importen van krachtvoer hebben in Nederland de ontwikkeling mogelijk gemaakt van plaatselijk zeer intensieve veehouderijbedrijven. Concentraties van dergelijke bedrijven in bepaalde gebieden, met name de zandgebieden, hebben geleid tot een situatie dat het aanbod van mineralen in de geproduceerde mest beduidend groter is dan de behoefte van de gewassen. De mestbanken die vanuit de provincies Brabant en Gelderland opereren, zijn er slechts voor een beperkt deel in geslaagd de overschotten af te voeren naar gebieden met een mesttekort. De resterende overschotten worden voor een belangrijk deel gebruikt voor de bemesting van land waar snijmais wordt verbouwd. Snijmais is een goed voedergewas, dat bovendien geen schade lijkt te ondervinden van overdosering met dierlijke meststoffen. Snijmais is dan ook een vertrouwd gewas geworden in zandgebieden.

Een belangrijk element in de op intensieve veehouderijbedrijven geproduceerde drijfmest is stikstof. Aangezien de stikstofbehoefte van snijmais relatief niet groot is ontstaat reeds vrij snel een situatie dat het aanbod aan minerale stikstof gedurende het groeiseizoen groter is dan nodig is uit het oogpunt van gewasproduktie. Verontreiniging van het grondwater met nitraat vormt daarom voor zandgebieden een serieus probleem.

Op proefboerderij 'd'Olde Weije' te Gortel (Gld.) van de Stichting Landbouwkundig Bureau van de Nederlandse Meststoffenindustrie (LBNM) vindt sinds 1971 onderzoek plaats naar de invloed van de hoogte van de stalmestgift op de opbrengst en samenstelling van snijmais. Tevens vindt bijna jaarlijks onderzoek plaats bij bepaalde bemestingsobjecten naar wijzigingen in de bodemvruchtbaarheid. De stalmestgift varieerde in 1971 van 0 tot 120 $ton.ha^{-1}$ en in 1972 en later van 0

tot 200 ton.ha^{-1}. Op elk stalmestobject zijn een aantal kunstmest-stikstoftrappen aangelegd uiteenlopend van 0 tot 250 kg.ha^{-1}.jaar^{-1} N. De gegevens over deze proef zijn door Dilz ter beschikking gesteld, zodat een nadere bestudering van de gevolgen van overdosering voor bodem en gewas kan plaatsvinden. Door het ICW is in het voorjaar van 1980 een onderzoek uitgevoerd naar de nitraatuitspoeling naar het grondwater bij een aantal objecten. In deze nota wordt geprobeerd de stikstofhuishouding van snijmaisland te analyseren en wordt aandacht besteed aan de stikstof in dierlijke mest, kunstmest, mineralisatie en neerslag en de bijdrage door vervluchtiging van NH_3, gewasproduktie, humificatie, denitrificatie en uitspoeling. Getracht zal worden de samenhang tussen het niveau van de stikstofvoorziening en de bijdrage van de verschillende stikstofprocessen in zodanige mathematische relaties (modellen) vast te leggen, dat een ruimere toepassing van de gevonden resultaten mogelijk wordt.

Enkele algemene gegevens met betrekking tot gewasverzorging en bodem staan in bijlagen 1.1 en 1.2.

De opzet van de stikstof-balans

Bij de opzet van de stikstofbalans is een onderscheid gemaakt in minerale stikstof en organische stikstof. Centraal staat de minerale stikstof. In deze vorm kan stikstof meedoen aan processen als uitspoeling, denitrificatie, vervluchtiging en opname door de plant. Daarom wordt de m i n e r a l e s t i k s t o f - b a l a n s bekeken. Organische stikstof, dus stikstof die nog in organische verbindingen zit ingebouwd, kan niet meedoen aan deze processen. Pas als de organische verbindingen mineraliseren kan deze stikstof meedoen aan bovengenoemde processen.

Een bespreking van de concept-nota op 14 november 1981 met K. Dilz, L.C.N. de la Lande Cremer, G.J. Kolenbrander en W.H. Prins van het Instituur voor Bodemvruchtbaarheid, L. Sibma van het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek en P.E. Rijtema van het ICW heeft een aantal opmerkingen en suggesties opgeleverd die van nut zijn voor de verdere ontwikkeling van de kennis van de stikstofhuishouding van snijmais. Een samenvatting van de bespreking wordt gegeven in hoofdstuk 11.

Bijzondere dank wordt uitgesproken voor het ter beschikking stellen van proefveldgegevens door K. Dilz en L. Sibma.

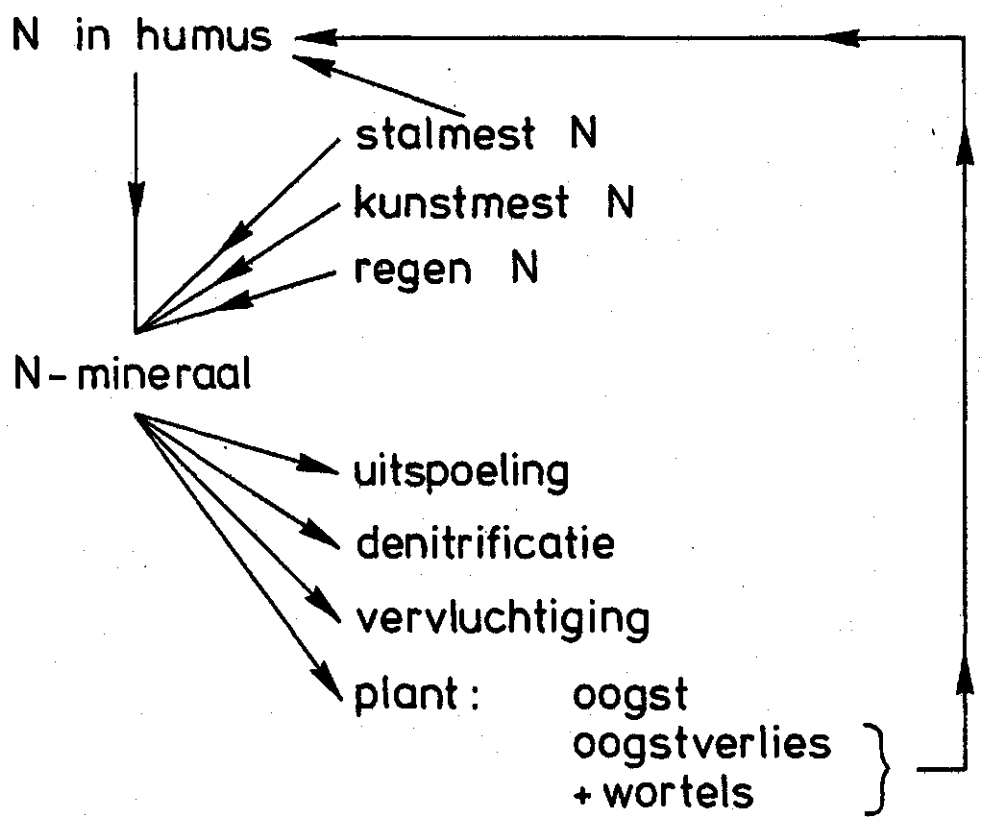


Fig. 1.1. Schematische weergave van de stikstofbalans van de bodem

2. STIKSTOFTOEVOER DOOR DIERLIJKE MEST EN VERLIEZEN DOOR NH_3-VERVLUCHTIGING

2.1. A l g e m e e n

De indeling van stikstof in stalmest

De stikstof in stalmest is gedeeltelijk in minerale vorm en gedeeltelijk in organische vorm aanwezig. De minerale fractie Nm, kan direct meedoen aan processen als opname door planten, uitspoeling, vervluchtiging en denitrificatie. De organische stikstof kan pas na mineralisatie aan deze processen meedoen. De organische stikstof die binnen 1 jaar mineraliseert noemt men Ne, de organische stikstof die in latere jaren mineraliseert noemt men Nr. De Nr kan worden beschouwd als humus-stikstof (zie hfdst. humus). In tabel 1 staat de verdeling van Nm, Ne en Nr voor verschillende soorten mest.

Tabel 2.1. Verdeling Nm, Ne en Nr voor verschillende soorten mest (in % van N-totaal) (SLUYSMANS en KOLENBRANDER, 1976; EUROPESE GEMEENSCHAP, 1978)

	Nm	Ne	Nr
rundvee grupstalmest	10	45	45
rundvee drijfmest	40	30	30
varkensdrijfmest	50	22	28
kippedrijfmest	70	20	10
kalverdrijfmest	80	9	11
varkensgier	94	3	3

Afhankelijk van het tijdstip van bemesting zal de stikstof afkomstig van bemesting aan verschillende processen meedoen. Bij voorjaarsbemesting komt Nm en een groot gedeelte van Ne direct voor het gewas beschikbaar. Een kleiner deel van Nt denitrificeert of spoelt uit. Bij najaarsbemesting zal Nm en een gedeelte van Ne meer aan uitspoeling en denitrificatie onderhevig zijn.

Vervluchtiging

Wanneer stalmest op het land ligt en nog niet is ondergeploegd vervluchtigt er ammoniak. Afhankelijk van de duur dat de mest op het land ligt en de weersomstandigheden vormt deze vervluchtiging een verwaarloosbaar deel tot een beslist niet verwaarloosbaar deel van de totaal toegevoerde stikstof.

LAUER, BOULDIN en KLAUSNER (1976) vonden dat de afname van de ammoniak-concentratie volgens een e-macht verloopt:

$$C = C_o \, e^{-kt} \qquad (2.1)$$

waarin: C = concentratie op tijdstip t (mg/l)
C_o = concentratie op tijdstip $t = o$ (mg/l)
k = konstante (dag^{-1})
t = tijd (dag)

Zij maken onderscheid in 3 fasen:

1e fase direkt in de stal
2e fase vindt gedurende eerste vijf dagen plaats
3e fase vindt na 5 dagen plaats

Voor iedere fase wordt een andere k-waarde gevonden. Met de 1e vervluchtiging hebben we hier niets te maken (gebeurt in stal). Voor de 2e vervluchtiging werden de volgende resultaten gevonden; in plaats van k-waarden wordt gewerkt met $t\frac{1}{2}$, wat de tijd is die nodig is om de concentratie 50% terug te laten lopen. $t\frac{1}{2}$ kan omgerekend worden in k, via: $\frac{1}{2} C_o = C_o \, e^{-kt\frac{1}{2}}$, dus: $k = -\ln o,5/t\frac{1}{2} = 0,693/t\frac{1}{2}$.

Tabel 2.2. Half-waarde tijd voor verse mest, gemeten bij droog weer (LAUER, BOULDIN en KLAUSNER, 1976)

Periode	Half-waarde tijd	Mestgift	D.s. gehalte
april 1973	2,86 dag	225 ton	17,1 %
augustus 1973	3,44 "	225 "	18,4 "
april 1974	3,50 "	200 "	21,4 "
april 1974	1,87 "	34 "	21,7 "
augustus 1975	2,62 "	200 "	21,2 "
augustus 1975	1,84 "	34 "	30 "

Bij regen werd direkt een vertraging in de vervluchtiging gemeten. De 3e fase van de vervluchtiging trad in als de mest 5 dagen op het land heeft gelegen. De volgende resultaten werden gemeten:

Tabel 2.3. Half-waarde tijd voor mest die langer dan 5 dagen op het land ligt (LAUER, BOULDIN en KLAUSNER, 1976)

Periode	Half-waarde tijd	Mestgift	D.s. gehalte	Neerslag
april 1973	9,9 dag	225 ton	17,1 %	0 mm
	36 "	225 "	17,1 "	2,8 "
juni 1974	7,8 "	35 "	30 "	11 "
	6,3 "	200 "	21,2 "	0 "

De half-waarde tijden zijn in het voorjaar blijkbaar bijzonder gevoelig voor neerslag. In de zomerperiode is de half-waarde tijd minder gevoelig voor neerslag. In juni 1974 valt 3 dagen na bemesting 11 mm regen, wat weinig invloed heeft op de half-waarde tijd. De verdamping kompenseert waarschijnlijk de neerslag (zie tabel 2.4):

Tabel 2.4. Weersomstandigheden te Ithaca, Cornell Univ.; maandgemiddelden

		Apr. '73	Aug. '73	Apr. '74	Juni '74
verdamping, (E_o)	(mm)	?	51,4	?	55,0
totale neerslag	(mm)	46,9	19,0	25,4	49,2
gemiddelde bodemtemp.	(^oC)	8	22	6,1	64
gemiddelde dagtemp.	(^oC)	12	27	14	23
gemiddelde nachttemp.	(^oC)	3	15	2	12

2.2. De situatie voor Gortel

Op Gortel liggen objecten die een jaarlijkse dosering krijgen van respectievelijk 0, 50, 100, 150 en 200 ton.ha^{-1} stalmest. De gemiddelde samenstelling van deze mest is 5,4^{o}/oo N. Voor elk jaar wordt met dit N-gehalte gerekend. De jaarlijkse stikstoftoevoer bedraagt dus achtereenvolgens 0, 270, 540, 810 en 1080 kg.ha^{-1}.jaar^{-1} N. Gegevens over de mestsamenstelling zijn opgenomen in bijlage 2.1.

Op Gortel wordt alleen met oude rundvee stalmest gewerkt, dus alleen de fase van de vervluchtiging is van belang. Er vindt voorjaarsbemesting plaats, met Nm, Ne en Nr respectievelijk 0,10 Nt, 0,45 Nt en 0,45 Nt. Voor voorjaarsbemesting worden op basis van voorgaande de volgende half-waarde tijden genomen:

droog weer:		$t_{\frac{1}{2}}$ = 10	dagen
nat weer	: warm	$t_{\frac{1}{2}}$ = 10	"
	middelmatig	$t_{\frac{1}{2}}$ = 18	"
	koud	$t_{\frac{1}{2}}$ = 35	"

Voor Gortel zijn de neerslag, de open waterverdamping, de ingestraalde warmte en de bodemtemperatuur op 20 cm diepte verzameld voor de perioden dat de mest op het land ligt. Op basis van deze cijfers worden de half-waarde tijden geschat, waarbij:

- het neerslagoverschot een maat is voor de inspoeling
- de ingestraalde warmte een maat is voor de mineralisatie

De mineralisatie gaat ook een rol spelen als de mest lang (meerdere weken tot enkele maanden) op het land ligt. Kolenbrander berekende het verloop van de mineralisatie in een jaar op basis van de temperatuursom. Een betere indicatie voor de mineralisatie lijkt de totale ingestraalde warmte omdat deze integraal wordt gemeten in tegenstelling tot de temperatuursom. De ingestraalde warmte bedraagt jaarlijks 352 800 J/cm^2. Als nu in een periode 5000 J/cm^2 straling gemeten wordt wil dit zeggen dat in die periode $\frac{5000}{3528}$ % van Ne mineraliseert. (Ne is de N in organische vorm van mest die binnen 1 jaar mineraliseert) (zie fig. 5.3).

In tabel 2.5 is voor ieder jaar de tijd dat de mest op het land ligt ingedeeld in perioden waarvoor verschillende half-waarde tijden

kunnen worden verwacht. Op basis van de ingestraalde warmte is voor iedere periode berekend hoeveel procent van Ne mineraliseert. In tabel 2.6 is per periode berekend hoeveel minerale stikstof aan het begin en aan het eind van de periode aanwezig is volgens $C_t = C_o\ e^{-kt}$. Het verschil wordt als vervluchtigd beschouwd. Door de berekende C_t-waarde te vermeerderen met de door mineralisatie ontstane stikstof wordt de C_o-waarde verkregen voor de volgende tijdstap.

Het blijkt dat de vervluchtiging varieert van 3% tot 11% van de toegediende stikstof (Nt), waarbij opgemerkt moet worden dat bij stalmest Nm slechts 10% van Nt bedraagt.

Bij verdere berekeningen voor 'Gortel' wordt aangenomen dat de vervluchtiging gemiddeld 5% van Nt bedraagt.

Tabel 2.5. Enkele weergegevens voor Gortel voor de periode dat de mest op het land ligt en de geschatte half-waarde tijd

Jaar	Periode	Neerslag (mm)	Open waterverdamping E_o (mm)	Ingestraalde warmte (J/cm^2)	Percentage N_e geminera-liseerd	T_{bodem} (°C)	Geschatte $t_{½}$ (dagen)
1972	25-2 t/m 3-3	0	6,5	4 400	1,25	4,5	10
	3-3 t/m 7-3	11	4,5	2 900	0,82	5,0	35
	totaal				2,07		
1973	25-1 t/m 26-1	0,4	0,1	100	0,03	4,2	10
	26-1 t/m 7-2	17,5	0,4	2 100	0,6	4,5	35
	7-2 t/m 13-2	54	3	1 700	0,5	4,5	35
	13-2 t/m 20-2	13	3,5	2 200	0,62	3,5	35
	20-2 t/m 28-2	11	5	5 100	1,45	3,2	35
	1-3 t/m 10-3	17,5	5	6 400	1,81		35
	10-3 t/m 16-3	0,4	8	5 600	1,42		35
	totaal				6,43		
1974	19-2 t/m 22-2	0,3	2	2 150	0,61	4,5	10
	22-2 t/m 28-2	6	3,5	3 250	0,92	3,0	10
	1-3 t/m 10-3	15,5	9	5 500	1,56	3,6	35
	11-3 t/m 20-3	35	12	6 380	1,81		35
	20-3 t/m 27-3	0,4	14	9 100	2,58		35
	totaal				7,48		
1975	12-3 t/m 14-3	1	3	1 200	0,34	6,7	10
	14-3 t/m 20-3	21	7	2 400	0,68	5	35
	20-3 t/m 31-3	43	17	11 050	3,13	4,9	35
	1-4 t/m 10-4	35	17	9 900	2,81		35
	totaal				6,96		
1976	18-3 t/m 24-4	0,5	10,5	6 400	1,81	3,1	18
1977	8-3 t/m 11-3	2	5	3 300	0,94	6,5	10
	11-3 t/m 14-3	7	5,5	2 400	0,68	6,5	35
	totaal				1,62		
1978	31-3 t/m 10-4	3	22	13 300	3,77	6,5	18
	11-4 t/m 20-4	18	22	14 180	4,02	8,4	18
	21-4 t/m 25-4	1,8	13,5	8 800	2,49	8,5	18
	totaal				10,28		
1979	28-3 t/m 31-3	14	8	4 000	1,13	5	18
	1-4 t/m 10-4	16	19	11 000	3,12	6	18
	11-4 t/m 20-4	8	26	12 000	3,40	10	10
	20-4 t/m 30-4	10	21	10 000	2,83	>10	18
	1-5 t/m 7-5	35	20	12 000	3,40	>10	18
	totaal				13,89		

Tabel 2.6. Berekende vervluchtiging van NH_3 uit de runder stalmest op Gortel

Jaar	Periode	Aantal dagen	$t\frac{1}{2}$	$K = \frac{-\ln 0,5}{t}$	C_o	$C_t = C_o\ e^{-kt}$	Ver-vluchtigd	In periode-geminera-liseerd
1972	25-2 t/m 3-3	8	10	0,069	0,10 Nt	0,058 Nt	0,042 Nt	0,0056 Nt
	3-3 t/m 7-3	4	35	0,020	0,064 Nt	0,059 Nt	0,005 Nt	0,0037 Nt
	totaal						0,047 Nt	
1973	25-1 t/m 26-1	1	10	0,069	0,10 Nt	0,093 Nt	0,007 Nt	-
	26-1 t/m 16-3	48	35	0,020	0,093 Nt	0,036 Nt	0,057 Nt	0,0289 Nt
	totaal						0,064 Nt	
1974	19-2 t/m 28-2	9	10	0,069	0,10 Nt	0,054 Nt	0,046 Nt	0,0027 Nt
	28-2 t/m 27-3	27	35	0,020	0,0567Nt	0,033 Nt	0,024 Nt	0,03 Nt
	totaal						0,07 Nt	
1975	12-3 t/m 14-3	3	10	0,069	0,10 Nt	0,081 Nt	0,019 Nt	0,00153Nt
	14-3 t/m 10-4	27	35	0,020	0,0825Nt	0,048 Nt	0,034 Nt	0,0298 Nt
	totaal						0,063 Nt	
1976	18-3 t/m 24-4	6	8	0,087	0,10 Nt	0,059 Nt	0,041 Nt	0,0081 Nt
1977	8-3 t/m 11-3	4	10	0,069	0,10 Nt	0,076 Nt	0,024 Nt	0,0094 Nt
	11-3 t/m 14-3	3	35	0,020	0,085 Nt	0,080 Nt	0,005 Nt	0,0068 Nt
	totaal						0,029 Nt	
1978	31-3 t/m 10-4	11	8	0,087	0,10 Nt	0,038 Nt	0,062 Nt	0,0170 Nt
	11-4 t/m 20-4	10	18	0,039	0,055 Nt	0,037 Nt	0,018 Nt	0,018 Nt
	21-4 t/m 25-4	5	8	0,087	0,055 Nt	0,036 Nt	0,019 Nt	0,011 Nt
	totaal						0,099 Nt	
1979	28-3 t/m 31-3	4	18	0,039	0,10 Nt	0,086 Nt	0,014 Nt	0,005 Nt
	1-4 t/m 10-4	10	18	0,039	0,09 Nt	0,061 Nt	0,029 Nt	0,014 Nt
	11-4 t/m 20-4	10	10	0,069	0,075 Nt	0,035 Nt	0,040 Nt	0,0153 Nt
	21-4 t/m 31-4	11	18	0,039	0,051 Nt	0,033 Nt	0,018 Nt	0,0127 Nt
	1-5 t/m 7-5	7	18	0,039	0,046 Nt	0,035 Nt	0,011 Nt	0,0153 Nt
	totaal						0,112 Nt	

3. ADDITIONELE STIKSTOFAANVOER

In de bouwvoor bestaat de aanvoer van stikstof naast stalmest uit kunstmest en stikstof in regenwater. De laatste 2 posten vormen de additionele stikstof-aanvoer. Zij worden beschouwd als minerale stikstof in de bouwvoor te komen.

De hoeveelheid kunstmest is bekend en loopt op Gortel uiteen van 0 tot 250 $kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N.

De hoeveelheid stikstof in regenwater wordt geschat op 20 $kg.j^{-1}.ha^{-1}$ (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1979).

In principe behoort ook de biologische stikstofbinding tot de additionele stikstofaanvoer. In het kader van deze studie, waarbij gewerkt wordt met snijmais en de stikstofvoorziening meestal op een hoog niveau ligt, wordt de bijdrage van dit proces verwaarloosd.

4. OOGSTVERLIEZEN EN VASTLEGGING VAN STIKSTOF IN ONDERGRONDSE DELEN

Oogstverliezen en ondergrondse delen van planten blijven na het oogsten op het veld achter. Een deel mineraliseert snel, een ander deel komt in de humus terecht. Als er geen organische mest toevoer is, vormen de oogstverliezen en ondergrondse delen van de plant de enige bron voor humusopbouw.

Er bestaan weinig goede schattingen van de hoeveelheid wortelmassa die een plant heeft en er zijn eveneens weinig gegevens voor de verhouding bovengrondse/ondergrondse delen van een plant.

- DE WIT (1978) gaat in een simulatiemodel uit van een verhouding plant: wortel = 8,3; dus ca. 11% van de totale droge stof zit in de wortels.
- DILZ en WOLDENDORP (1960) stellen vast dat de hoeveelheid stikstof in plant en wortel zich verhouden als 6:1, dus 14% van de totale stikstofhoeveelheid van een plant zit in wortels.
- BAKKER (1973) stelt dat er per ha mais 2000 kg wortels en stoppels achterblijven.

Bij de berekeningen is echter van een hoeveelheid wortels en stoppel uitgegaan, die gekoppeld is aan de grootte van de oogst. Een vaste hoeveelheid als 2000 kg geeft onjuiste benaderingen bij kleine oogsten van bijvoorbeeld 6 ton droge stof.

Gelet op bovenstaande wordt aangenomen dat de hoeveelheid wortel- en stoppelrest = $\frac{1}{6}$ x oogst bovengrondse delen.

Het N-gehalte van wortel- en stoppel bedraagt gemiddeld 1,25% van de droge stof.

Van de totale hoeveelheid wortel- en stoppelrest wordt $\frac{3}{4}$ deel als ondergronds beschouwd met een humificatiefactor van 0,30 en $\frac{1}{4}$ deel wordt als bovengronds beschouwd met een humificatiefactor van 0,35 (Humificatiefactor: zie hfdst. 5).

5. HUMIFICATIE EN MINERALISATIE

5.1. Algemene inleiding

In dit hoofdstuk wordt bekeken hoeveel minerale stikstof er per jaar in het groeiseizoen en buiten het groeiseizoen vrijkomt door mineralisatie van de humus en welke wijzigingen optreden in de humusvoorraad.

Humus wordt opgebouwd door aanvoer van organische stof, die gedeeltelijk humificeert. Humus wordt afgebroken doordat de humus mineraliseert.

Bekijken we achtereenvolgens de humificatie en de mineralisatie

Humificatie

Komt dood organisch materiaal als mest en plantenresten in de grond terecht, dan zullen er onmiddellijk processen beginnen die dit materiaal afbreken. In het begin gaat de afbraak snel. Er blijft echter steeds moeilijker afbreekbaar materiaal over. Dit moeilijk afbreekbaar materiaal gaat de humus vormen. De humificatiecoëfficiënt k1 is dat deel van het organisch materiaal dat zich na 1 jaar in de humus bevindt. Voor organische mest wordt een humificatiecoëfficiënt aangehouden van 0,35 (KOLENBRANDER, 1974). Voor bovengrondse resten van mais wordt een humificatiecoëfficiënt van 0,35 gebruikt en voor ondergrondse resten van mais een humificatiecoëfficiënt van 0,30 (BAKKER, 1973).

Mineralisatie

Per jaar mineraliseert een deel van de humus. De mineralisatiecoëfficiënt k2 is dat deel van de humus dat jaarlijks mineraliseert. KORTLEVEN (1963) gaat in zijn theorie over humusopbouw en humusafbraak ervan uit dat jaarlijks een vast percentage van de humus mineraliseert. De mineralisatiecoëfficiënt varieert volgens Kortleven van 0,015 tot 0,020. Zijn theorie slaat op oude humus.

Uitgaande van de stikstofleverantie door veengrasland komt RIJTEMA (1978) tot de konklusie dat de mineralisatiecoëfficiënt voor matig ontwaterde veengronden ongeveer 0,007 bedraagt, en voor goed

ontwaterde veengronden 0,015.

Bekijken we de humificatie en minderalisatie samen.
KORTLEVEN (1963) heeft een theorie opgezet over humus. Deze theorie heeft betrekking op oude humus. Kortleven gaat in zijn theorie over humusopbouw en humusafbraak uit van 2 stellingen:

1. van de toegevoerde organische stof humificeert een vast deel (k1),
2. van de humus wordt per jaar een vast deel afgebroken (k2).

In de evenwichtssituatie geldt: aanvoer = afvoer, dus: $k1\ x = k2\ y_{max}$

$$\text{dus } y_{max} = \frac{k1}{k2}\, x \qquad (5.1)$$

waarin: y_{max} = de hoeveelheid humus in de evenwichtssituatie (ton/ha)
k1 = humificatiecoëfficiënt
k2 = mineralisatiecoëfficiënt
x = jaarlijkse aanvoer organisch materiaal (ton/ha)

Als het humusgehalte in de beginsituatie y_o is, dan is het humusgehalte na t jaar:

$$y_t = y_{max} - (y_{max} - y_o)(1 - k2)^t \qquad (5.2)$$

waarin: y_t = humusvoorraad in jaar t (ton/ha)
y_o = humusvoorraad in beginsituatie (ton/ha)
y_{max} = humusvoorraad in evenwichtssituatie (ton/ha)
t = aantal jaren na beginsituatie (jaar)
k2 = mineralisatiecoëfficiënt

In formule (5.2) kan de term $(1 - k2)^t$ worden benaderd door de term e^{-k2t}. Samen met formule (5.1) kan het humusgehalte nu als volgt worden beschreven:

$$y_t = \frac{k1}{k2}\, x(1 - e^{-k2t}) + y_o\, e^{-k2t} \qquad (5.3)$$

In fig. 5.1 is schematisch weergegeven hoe het humusgehalte in de loop van de tijd verandert bij verhoogde organische stoftoevoer.

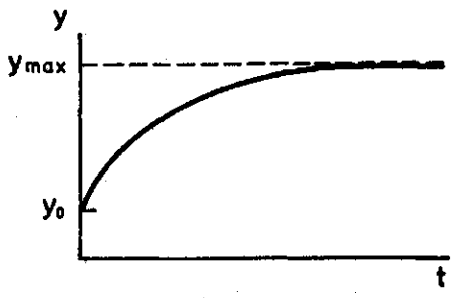


Fig. 5.1. Verandering van het humusgehalte in de tijd door verhoogde organische stoftoevoer

Kortleven stelt dat 1,5-2,0% van de humus per jaar wordt afgebroken. Dit geldt voor oude humus. Heeft men te maken met de jonge humusfractie dan is de mineralisatiecoëfficiënt groter.

Bij zware bemesting wordt de fractie jonge humus, die een deel vormt van de totale humus, groter. Omdat de jonge humusfractie verandert, terwijl deze fractie een andere mineralisatiecoëfficiënt heeft dan de oude humus, zal de mineralisatiecoëfficiënt van de totale humus veranderen. Dit is in strijd met het tweede uitgangspunt van de theorie van Kortleven, die dus niet zomaar toegepast kan worden. Om deze reden wordt onderscheid gemaakt tussen de jonge humusfractie, ontstaan na een schoksgewijze verhoging van de toevoer van organische stof, en de oude humusfractie, die alle humus omvat die aanwezig is vóór de wijziging in het bemestingsregiem.

'oude' humus is ontstaan voordat men tot zware bemesting is overgegaan. Aangenomen wordt dat de mineralisatiecoëfficiënt van de oude humus 0,02 is en dat er geen oude humus meer wordt gevormd. Met behulp van vergelijking 5.3 kan nu het verloop van de oude humus als volgt worden beschreven (x = 0 ton/ha, k2 = 0,02).

$$y_{(oud)_t} = y_{(oud)_o} \, e^{-0,02\,t} \qquad (5.4)$$

waarin: $y_{(oud)_t}$ = hoeveelheid oude humus in jaar t (ton/ha)
$y_{(oud)_o}$ = hoeveelheid oude humus in beginsituatie (ton/ha)
t = aantal jaren na beginsituatie

Stellen we dat het verloop van de N in de oude humus hetzelfde is als van de droge stof in de oude humus, dan kan het verloop van de oude humus-N als volgt worden beschreven:

$$N_{(oud)_t} = N_{(oud)_o} \, e^{-0,02\,t} \qquad (5.5)$$

waarin: $N_{(oud)_t}$ = hoeveelheid N die in jaar t in oude humus zit (ton/ha)
$N_{(oud)_o}$ = hoeveelheid N die in beginsituatie in oude humus zit (ton/ha)
t = aantal jaren na beginsituatie

In jaar t verdwijnt door mineralisatie uit de oude humus ($Min_{(oud)_t}$) het verschil tussen de N-voorraad in jaar t en (t + 1):

$$Min_{(oud)_t} = N_{(oud)_o} (e^{-0,02\,t} - e^{-0,02(t+1)}) \qquad (5.6)$$

Onder 'j o n g e' h u m u s wordt in dit rapport verstaan de humus die is ontstaan nadat men tot zware bemesting is overgegaan. Alle organische stof die na de overgang op zware bemesting wordt toegediend wordt na humificatie als jonge humus beschouwd. Nemen we aan dat de mineralisatie van stikstof en organische stof in de jonge humus met gelijke snelheid verlopen, dan kan de mineralisatie van de jonge humus-N als volgt worden beschreven (fig. 5.2 en verg. 5.7):

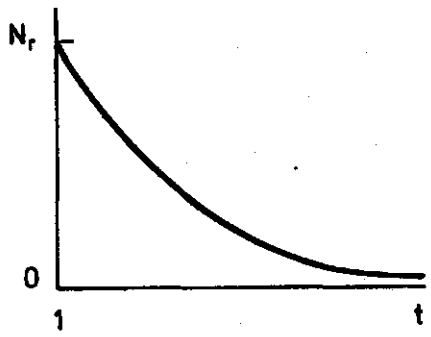


Fig. 5.2. Restant organische stikstof (Nr) van mest uit jaar 0 in de loop van de tijd

$$Nr_t = Nr \, e^{-c(t-1)} \qquad (5.7)$$

waarin: c een constante is en Nr_t het restant is in de humus van bemesting in jaar 0.

Als jaarlijks wordt bemest kan ophoping van jonge humus-N als volgt worden weergegeven (tabel 5.1).

Tabel 5.1. Schematische weergave van ophoging van humus-N door bemesting

Restant in jaar t	Restant door bemesting in: jaar 0	jaar 1	jaar 2	jaar 3	Totale restant = jonge humus-N
1	Nr				Nr
2	$Nr\ e^{-1c}$	Nr			$Nr(1+e^{-1c})$
3	$Nr\ e^{-2c}$	$Nr\ e^{-1c}$	Nr		$Nr(1+e^{-1c}+e^{-2c})$
4	$Nr\ e^{-3c}$	$Nr\ e^{-2c}$	$Nr\ e^{-1c}$	Nr	$Nr(1+e^{-1c}+e^{-2c}+e^{-3c})$
t	$Nr\ e^{-(t-1)c}$	$Nr\ e^{-(t-2)c}$	$Nr\ e^{-(t-3)c}$	$Nr\ e^{-(t-4)c}$	(zie formule 5.8)

De ophoping van jonge humus-N is in jaar t, op het moment vóór bemesten in jaar t, als volgt:

$$N_{(jong)_t} = \sum_{t=1}^{t=t} Nr_t = \sum_{t=1}^{t=t} Nr\ e^{-c(t-1)} \qquad (5.8)$$

waarin: $N_{(jong)_t}$ = hoeveelheid N in jonge humus in jaar t (ton/ha)

Nr = dat deel van de mest-N dat na 1 jaar nog in organische vorm zit (ton/ha)

t = aantal jaren dat bemest is

c = constante

De mineralisatie van jonge humus N in jaar t is:

$$N_{min(jong)_t} = N_{(jong)_t} - \{N_{(jong)_{t+1}} - Nr\} = Nr(1 - e^{-ct}) \qquad (5.9)$$

waarin: $N_{min(jong)_t}$ = hoeveelheid N die in jaar t uit jonge humus mineraliseert (ton/ha)

$N_{(jong)_t}$ = hoeveelheid N in jonge humus aanwezig in jaar t (ton/ha)

$N_{(jong)_{t+1}}$ = hoeveelheid N in jonge humus aanwezig in jaar t+1 (ton/ha)

Nr = dat deel van de mest-N dat na 1 jaar nog in organische vorm zit (ton/ha)

t = aantal jaren na aanvang bemesting

SLUYSMANS en KOLENBRANDER (1976) hebben de afbraak van stalmest bekeken. Beschouwen we de vergelijking van de door Sluysmans en Kolenbrander gevonden afbraakcurve als de afbraakcurve van Nr, dan blijkt dat een goede mathematische benadering kan worden gemaakt. De vergelijking luidt:

$$N_{(jong)_t} = 0{,}69\ Nr\ e^{-0{,}127(t-1)} \qquad (5.10)$$

waarin: $N_{(jong)_t}$ = hoeveelheid N in jonge humus in jaar t (ton/ha)
Nr = dat deel van de mest-N dat na 1 jaar nog in organische vorm zit (ton/ha)
t = aantal jaren na aanvang bemesting

In de volgende paragraaf zal voor Gortel een konkrete schatting worden gemaakt van de hoeveelheid N die in de humus zit (verg. 5.5 en 5.10) en van de hoeveelheid N die per jaar uit de humus mineraliseert (verg. 5.6 en 5.9). Eerst zullen de uitgangspunten worden getoetst aan de werkelijke situatie op een aantal proefvelden van de Gortel.

5.2. De situatie voor Gortel

Toetsing uitgangspunten humusopbouw

Doel is een konkrete benadering te maken van de hoeveelheid N die jaarlijks uit de humus mineraliseert.

Gortel is tot 1971 gewone landbouwgrond geweest. In 1971 zijn de bemestingsproeven begonnen. In 1971 werden de percelen bemest met 0-30-60-90-120 ton stalmest/ha. Deze hoeveelheden werden met ingang van 1972 verhoogd tot respectievelijk 0-50-100-150-200 ton stm/ha. Ieder stalmestobject is opgesplitst in 6 kunstmestobjecten 0-50-100--150-200-250 kg N/ha.

Gesteld wordt dat de oude humus voor 1971 is ontstaan. De jonge humus ontstaat vanaf 1971. In eerste instantie wordt nu, uitgaande van meetgegevens, berekend hoeveel humus-N er in 1971 aanwezig was. Is dit bekend dan kan het verloop van de oude humus worden bepaald. Vervolgens wordt weer op basis van meetgegevens, berekend hoeveel

humus-N er is in 1978 op de objecten 0 ton stm/ha en 200 ton stm/ha. Aan deze gegevens kan de juistheid van de uitgangspunten worden getoetst.

Komt de voor 1978 berekende hoeveelheid humus-N overeen met de gemeten hoeveelheid dan kan met formule (5.9) de mineralisatie worden bepaald.

Uitwerking gegevens

Gemeten werden de volgende volumedichtheden (tabel 5.2) en de volgende N-gehalten (tabel 5.3). De N-gehalten werden gemeten aan mengmonsters (0 ton stm + 0 N, enz. t/m 0 ton stm + 250 N resp. 200 ton stm + 0 N, enz. t/m 200 stm + 250 N). In 1978 is in het najaar gemeten.

Tabel 5.2. Gemeten volumegewichten van droge grond voor Gortel (1978) in $kg.dm^{-3}$ (0 stm + 250 N: 0 ton stalmest + 250 kg kunstmest N)

Diepte (cm)	Object			
	0 stm + 0 N	0 stm + 250 N	200 stm + 0 N	200 stm + 250 N
2- 7	1,57	1,44	1,30	1,38
12-17	1,55	1,46	1,23	0,96
22-27	1,45	1,45	1,53	1,50

Tabel 5.3. Gemeten N-gehalten in % van de droge stof in mengmonsters van Gortel voor 1971 en 1978 bij verschillende stalmest- + kunstmestcombinaties

Diepte (cm)	Object			
	0 stm, 0-50-100-150-200-250 N		200 stm 0-50-100-150-200-250 N	
	1971	1978	1971	1978
0-10	0,11	0,09	0,11	0,15
10-20	0,10	0,10	0,11	0,16
20-30	0,09	0,07	0,11	0,14

Uit deze gegevens kan worden berekend hoeveel humus-N er in de grond tot 30 cm diepte zit in 1971 en 1978. Bij deze berekening wordt voor het volumegewicht in 1971 het gemiddelde genomen van de volumedichtheden zoals ze voor de objecten en 0 stm + 0 N en 0 stm + 250 N in 1978 gemeten werden. Het organisch stofgehalte is wel wat veranderd, maar dit heeft weinig invloed op de volumedichtheid (formule van Boekel).

In tabel 5.4 is de hoeveelheid humus-N vermeld die in 1971 en 1978 aanwezig was op grond van de bemonsteringsresultaten.

Tabel 5.4. Hoeveelheid humus-N berekend op basis van meetgegevens in 1971 en 1978

Object	Laag (cm)	Dichtheid ($kg.cm^{-3}$)	N-gehalte (%)	Humus-N ($ton.ha^{-1}$)
0 stm 1971	0-10	1,50	0,11	1,65
	10-20	1,51	0,10	1,51
	20-30	1,45	0,09	1,31
totaal				4,47
0 stm 1978	0-10	1,50	0,09	1,35
	10-20	1,51	0,10	1,51
	20-30	1,45	0,07	1,02
totaal				3,88
200 stm 1971	0-10	1,50	0,11	1,65
	10-20	1,51	0,11	1,66
	20-30	1,45	0,09	1,31
totaal				4,62
200 stm 1978	0-10	1,34	0,15	2,01
	10-20	1,14	0,16	1,82
	20-30	1,52	0,14	2,13
totaal				5,96

Bekend is dus nu hoeveel humus-N aanwezig was in 1971 en 1978 voor het 0 stm en 200 stm object. Nu wordt berekend hoeveel humus-N er aanwezig is volgens de gedachte zoals die in de inleiding staat beschre-

ven. De mutaties bestaan uit:

1. afbraak oude humus
2. jonge humus gevormd uit bemesting in 1971
3. jonge humus gevormd uit bemesting in 1972 tot en met 1977
4. de humus uit wortel en stoppelresten
5. de bemesting van voorjaar 1978
6. een correctie voor de mineralisatie in 1978

Voor het 200 stm-object kan de humus-N als volgt worden berekend:

ad 1. Als gevolg van oude humus zit er in 1978 de volgende hoeveelheid N in de humus: formule 5.5.

$$t = 7 , \quad N_{(oud)_o} = 4,62 \text{ ton N/ha}$$

$$\text{dus} \quad N_{(oud)_t} = N_{(oud)_o} \; e^{-0,02\,t} \qquad (5.5)$$

$$\text{wordt } N_{(oud)_7} = 4,62 \; e^{-0,14}$$

$$= 4,016 \text{ ton N in oude humus/ha}$$

ad 2. In 1971 was de bemesting 120 ton. Als gevolg van deze bemesting zit er in 1978 nog de volgende hoeveelheid N in de humus: formule 5.10

$$t = 7 , Nr = 0,45 \; Nt \qquad Nt = 5,4 \; {}^{o}/oo$$

$$\text{dus} \quad N_{(jong)_t} = 0,69 \; . \; (Nr) \; . \; e^{-0,127(t-1)} \qquad (5.10)$$

$$\text{wordt } N_{(jong)_7} = 0,69 \; . \; (0,45 \times 0,0054 \times 120) \; . \; e^{-0,127(7-1)}$$

$$= 0,089 \text{ ton N in humus/ha}$$

Ad 3. Als gevolg van 6 jaar lang 200 ton stm/ha uitrijden zit de volgende hoeveelheid N in de humus: formule 5.8 en 5.10 leveren:

$$N_{(jong)_t} = 0,69 \sum_{t=1}^{t=t} e^{-0,127(t-1)}(Nr) \qquad (5.11)$$

met $t = 6$, $Nr = 0,45\ Nt$ $\quad Nt = 0,54\%$

wordt dit: $N_{(jong)_t} = 0,69 \sum_{t=1}^{t=6} e^{-0,127(t-1)} \cdot (0,45 \times 0,0054 \times 200)$

$= 0,69 \times 4,47 \times 0,486$

$= 1,499$ ton N

ad 4. De hoeveelheid wortel- en stoppelresten wordt geschat op 1/6 x oogst (zie hfdst. 4). Dit komt voor het 200 stm object neer op gemiddeld 2065 kg d.s. Hiervan is 3/4 deel ondergronds (kl = 0,30) en 1/4 deel bovengronds (kl = 0,35) N-gehalte: 1,25% (zie hfdst. 4).
Als gevolg van wortel- en stoppelresten is er dus na 6 jaar de volgende hoeveelheid humus-N aanwezig: formule (5.11):

$t = 6$ en $Nr = 2,065(3/4 . 0,30 + 1/4 . 0,35) \times 0,0125 = 0,0081$

dus $N_{(jong)_t} = 0,69 \sum_{t=1}^{t=6} e^{-0,127(t-1)}\ Nr$

wordt $N_{(jong)_t} = 0,69 \times 4,47 \times 0,0081$

$= 0,025$ ton N in jonge humus/ha

Totaal is er dus in het voorjaar 1978 5,64 ton N in humus/ha.
Er is in het najaar 1978 gemeten, daarom:

ad 5. komt er nog bij een fractie van de makkelijk mineraliseerbare organisch-N, aanwezig in het najaar 1978, als gevolg van bemesting in voorjaar 1978.
Van de organische N uit mest die in het 1e jaar mineraliseert (= Ne) mineraliseert er volgens Kolenbrander (zie fig. 5.3) 70% in het groeiseizoen; dus 30% van Ne blijft over. Naast deze 30% van Ne is alle Nr nog aanwezig.
Dus erbij: (Ne = Nr = 0,45 Nt , Nt = 0,54%):

$(0,45 + 0,3 \times 0,45)\ Nt =$

$(0,45 + 0,3 \times 0,45)\ 200 . 0,0054 = 0,632$ ton organische N/ha

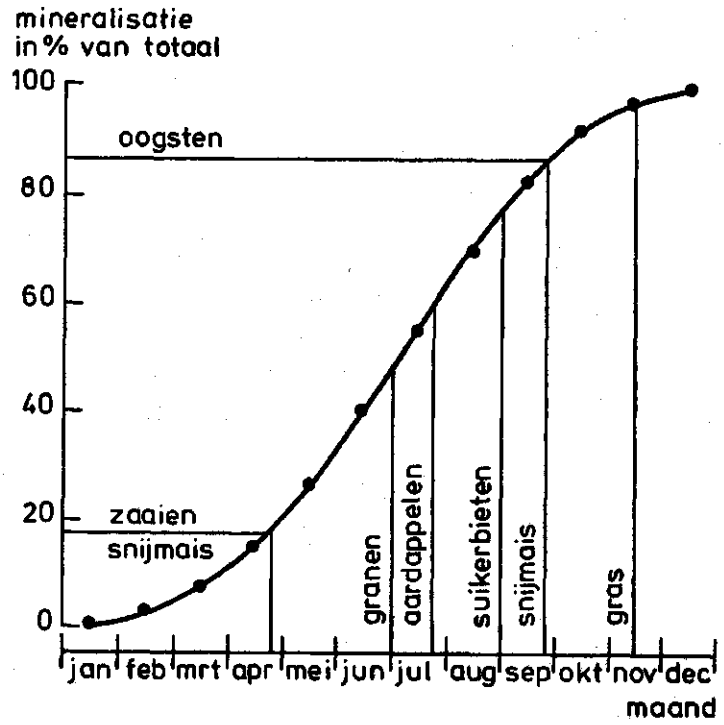


Fig. 5.3. Het verloop van de mineralisatie van organische stof als fractie van de totale mineralisatie (SLUIJSMANS en KOLENBRANDER, 1976)

ad 6. Eraf gaat nog 70% (fig. 5.3) van de hoeveelheid N die in 1978/1979 uit de humus mineraliseert. In het totale seizoen 1978/1979 mineraliseert 0,425 ton N uit de humus (zie tabel 5.7). Eraf gaat dus 0,7 x 0,425 = 0,298 ton N/ha.

Totaal is er volgens de berekening in het najaar 1978 5,97 ton N/ha in de humus. Gemeten werd 5,96 ton N/ha.

Voor het 0 stm-object kan de humus-N voor het najaar 1978 als volgt worden geschat:

ad 1. Oude humus-N: formule 5.5:

$$t = 7 \ , \ N_{(oud)_o} = 4{,}47 \text{ ton N/ha}$$

dus $$N_{(oud)_t} = N_{(oud)_o} \ e^{-0{,}02\ t}$$

wordt: $$N_{(oud)_7} = 4{,}47 \ e^{-0{,}14}$$

$$= 3{,}886 \text{ ton N in oude humus/ha}$$

ad 2. Wortel en stoppelresten (zie ook hfdst. 4)
De gemiddelde oogst bedraagt 8,340 ton. Gemiddeld 1/6 . 8,340 ton wortel- en stoppelresten. Hiervan is 3/4 deel ondergronds (kl = 0,30) en 1/4 deel bovengronds (kl = 0,35) met een N-gehalte van 1,25%. Formule (5.11):

$$t = 6 \ , \ Nr = 1{,}390(3/4 \ . \ 0{,}30 + 1/4 \ . \ 0{,}35) \ 0{,}0125 = 0{,}0054$$

dus $$N_{(jong)_t} = 0{,}69 \sum_{t=1}^{t=6} e^{-0{,}127(t-1)} \ Nr \qquad (5.11)$$

wordt: $$N_{(jong)_t} = 0{,}69 \times 4{,}47 \times 0{,}0054$$

$$= 0{,}0167 \text{ ton N in jonge humus}$$

In het voorjaar 1978 is dus 3,903 ton N in de humus aanwezig.

ad 3. Er mineraliseert in het seizoen 1978-1979 0,083 ton N/ha uit de humus (zie tabel 5.7); van deze mineralisatie vindt 70% plaats in het groeiseizoen en dus is 0,7 x 0,083 = 0,058 ton N/ha uit de humus gemineraliseerd.

In het najaar 1978 is dus 3,90 - 0,058 = 3,84 ton N/ha in de humus aanwezig volgens de berekening.

Volgens de meting is er 3,88 ton humus-N aanwezig per ha.
Op deze manier is voor een aantal jaren nagegaan hoeveel humus-N aanwezig is volgens berekening, en volgens meting (tabel 5.5).

Tabel 5.5. Berekende en gemeten hoeveelheid humus-N op Gortel voor het 200 stm-perceel (ton $N.ha^{-1}$) voor de jaren 1971-1978

	Berekend	Gemeten
1971	4,62	4,62
1972	4,64	
1973	5,12	
1975	5,65	4,88
1976	5,80	5,75
1978	5,97	5,96

Dit staat in grafiek 5.4 weergegeven.

De gemeten waarden kunnen nog wel eens variëren. Een kleine variatie in het gemeten N-percentage van de grond weegt te zwaar.

Uit deze toetsingen blijkt dat de benadering goed voldoet. Nu kan op basis van formule 5.6 en 5.9 de mineralisatie worden bepaald.

De mineralisatie op Gortel

Het is nu mogelijk om te bepalen hoeveel N er per jaar uit de humus mineraliseert. Er wordt onderscheid gemaakt in oude humus, ontstaan vóór 1971, in jonge humus, ontstaan door bemesting in 1971, en in jonge humus ontstaan door bemesting ná 1971. De bemesting van 1971 wordt apart bekeken omdat toen andere hoeveelheden stalmest zijn toegediend dan na 1971. Voor alle 3 mineralisatieprocessen wordt gewerkt met t = jaar - 1972. (Dus in 1975 is t = 3).

1. Mineralisatie oude humus:

Algemeen geldt:

$$N_{min(oud)_t} = N_{(oud)_o}(e^{-0,02\ t} - e^{-0,02(t+1)} \qquad (5.6)$$

Voor Gortel werd in 1971 een gemiddelde humus-N hoeveelheid

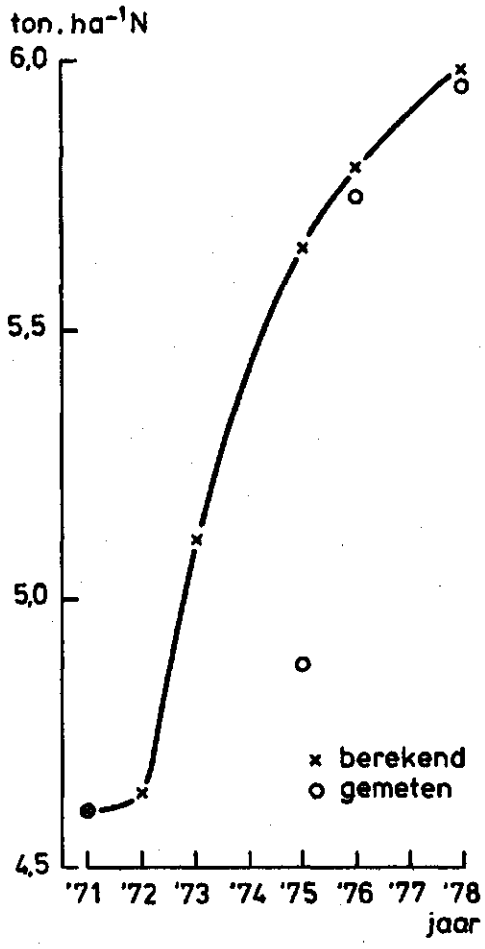


Fig. 5.4. Berekende en gemeten verloop van de humus-N voor het 200 ton stalmestobject op : Gortel in de jaren 1971-1978

gemeten van 4,54 ton N/ha. Met t = jaar - 1972 wordt formule 5.6

$$N_{min(oud)_t} = 4,54(e^{-0,02(t+1)} - e^{-0,02(t+2)}) \qquad (5.12)$$

2. Mineralisatie jonge humus, ontstaan door bemesting in 1971:
   Algemeen geldt formule (5.9). Gecombineerd met formule (5.10) levert dit met t = jaar - 1972:

$$N_{min(jong)_t} = 0,69\ Nr(e^{-0,127\ t} - e^{-0,127(t+1)}) \qquad (5.13)$$

Nr = 0,45 x stikstofgehalte x mestgift 1971
= 0,45 x 0,0054 x mestgift 1971

De mestgift 1971 bedroeg 0/30/60/90/120 ton stm/ha. De mineralisatie wordt dus in jaar t:

$$N_{min(jong)_t} = 0,69 \text{ x mestgift '71 x } 0,45 \text{ x } 0,0054 \text{ x } (e^{-0,127\ t} - e^{-0,127(t+1)})$$

$$= \text{mestgift '71 x } 0,00168(e^{-0,127\ t} - e^{-0,127(t+1)}) \qquad (5.14)$$

3. Mineralisatie van jonge humus, ontstaan door bemesting na 1971:
   De mestgift vanaf 1972 bedroeg 0/50/100/150/200 ton stm/ha. Uit formule 5.8, 5.9 en 5.10 kan worden afgeleid:

$$N_{min(jong)_t} = N_{(jong)_t} - (N_{jong_{(t+1)}} - Nr)$$

$$= \sum_{t=1}^{t=t} 0,69\ Nr\ e^{-0,127(t-1)} - \sum_{t=1}^{t=t+1} 0,69\ Nr\ e^{-0,127(t-1)} + Nr$$

$$= Nr(1 - 0,69\ .\ e^{-0,127\ t})$$

Met Nr = N-oogstverlies + N-bemesting
= 1/6 x oogst x N-gehalte x humificatiefaktor + 0,45 Nt
= 1/6 x oogst x 0,0125 x ($\frac{3}{4}$ x 0,30 + $\frac{1}{4}$ x 0,35) + 0,45 x
x 0,0054 x mestgift
= oogst x $0,65.10^{-3}$ + mestgift x $2,43.10^{-3}$

Wordt deze mineralisatie:

$$N_{min(jong)_t} = (oogst \times 0{,}65.10^{-3} + mestgift \times 2{,}43.10^{-3})(1.0{,}69\ e^{-0{,}127\ t}) \qquad (5.16)$$

De totale mineralisatie in jaar t wordt nu:

$$N_{min(totaal)_t} = N_{min(jong)_t} + N_{min(oud)_t} \quad (5{,}17 = 5{,}16 + 5{,}14 + 5{,}12)$$

Er kan nu per object worden berekend hoeveel N er jaarlijks mineraliseert (tabel 5.6 en 5.7).

Tabel 5.6. Berekende hoeveelheid N die jaarlijks uit de humus mineraliseert bij ongewijzigd bodemgebruik voor enkele percelen op Gortel ($kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N)

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1990
0 stm+ 0 N									
jonge humus	1	1	2	2	2	2	2	2	3
oude humus	89	87	85	84	82	80	79	77	62
bemesting '71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
totaal	90	89	87	86	84	83	81	80	65
0 stm+250 N									
jonge humus			3					5	
oude humus			85					77	
bemesting '71			0					0	
totaal			88					82	
200 stm+ 0 N									
jonge humus	153	194	230	261	289	313	335	354	459
oude humus	89	87	85	84	82	80	79	77	62
bemesting '71	24	21	19	16	14	13	11	10	2
totaal	266	302	334	361	385	406	425	441	524
200 stm+250 N									
jonge humus			230					354	
oude humus			85					77	
bemesting '71			19					10	
totaal			334					441	

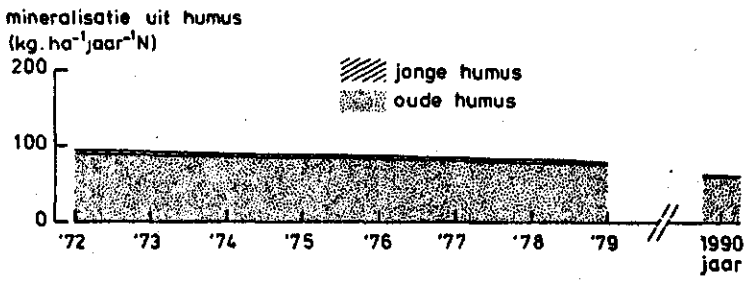
Tabel 5.7. Hoeveelheid N die jaarlijks uit de humus mineraliseert per stalmest-object voor Gortel ($kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N)

Object	Gemiddelde oogst	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0 ton	8,3 ton/ha	90	89	87	86	84	83	81	80	80
50 "	10,8 "	135	143	150	156	161	165	169	172	174
100 "	11,6 "	179	196	211	224	236	246	254	262	268
150 "	12,1 "	222	249	273	293	311	326	340	351	362
200 "	12,4 "	266	302	334	361	385	406	425	441	455

In fig. 5.5 en 5.6 staat weergegeven hoeveel N er jaarlijks mineraliseert uit de humus en hoe deze mineralisatie is opgebouwd voor de objecten 0 en 200 ton stalmest per ha per jaar.

Uit tabel 5.6 blijkt:

- binnen een stalmestobject is de hoeveelheid N die mineraliseert voor alle kunstmestobjecten praktisch gelijk. De kleine verschillen worden veroorzaakt door een verschil in oogst. Hierdoor verschilt de hoeveelheid humus die ontstaat uit wortel- en stoppelresten (= 1/6 x oogst). Deze post is toch meegerekend omdat bij het 0-object de wortel- en stoppelresten de enige aanvoer van organische stof vormen.
  Aangezien bij stalmestobjecten de bijdrage van oogstresten aan de hoeveelheid N die totaal jaarlijks mineraliseert relatief klein is, wordt in tabel 5.7 bij de berekening van de mineralisatie per stalmestobject volstaan met de gemiddelde oogst per stalmestobject;
- in de loop van de jaren neemt de hoeveelheid N die jaarlijks uit de humus mineraliseert voor de zwaar bemeste percelen sterk toe. Voor het 200 stm-object bedraagt de mineralisatie in 1979 al 441 kg/ha N;
- hoe zwaarder de bemesting, hoe groter het aandeel van de mineralisatie uit de jonge humus aan de totale mineralisatie. Voor 200 stm: 80% na 7 jaar tot 88% na 18 jaar. Naarmate de periode langer wordt,



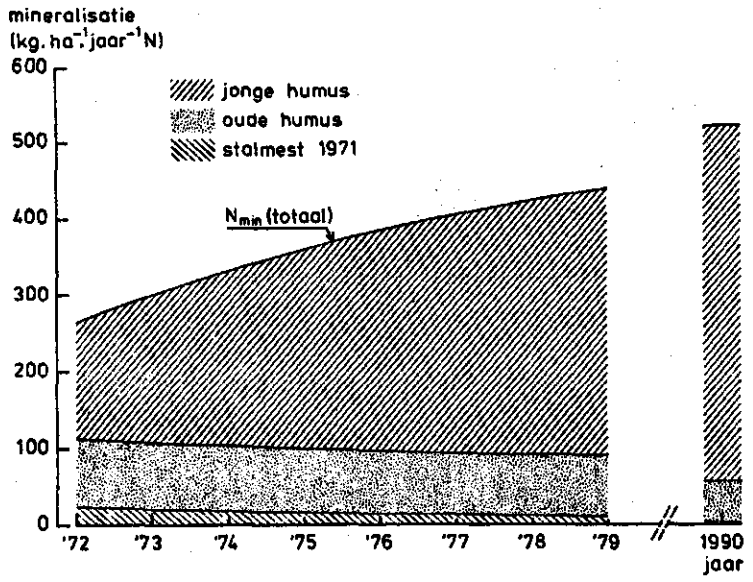


Fig. 5.5 en 5.6. Berekende minderalisatie van de humus in de loop van de tijd voor de objecten 0 ton stalmest (5.5) en 200 ton stalmest (5.6) op Gortel

komt de vraag nadrukkelijker naar voren of de 'jonge' humus nog wel allemaal zo 'jong' is en of de mineralisatiecoëfficiënt voor de 'oude' humus niet moet worden verlaagd.

6. STIKSTOFOPNAME DOOR SNIJMAIS

6.1. Algemene inleiding

In dit hoofdstuk wordt bekeken hoeveel stikstof er door mais wordt opgenomen. Dit wordt gedaan door een relatie te zoeken tussen de hoeveelheid minerale stikstof die voor de plant beschikbaar is en de opbrengst van mais. Deze relatie is afhankelijk van andere groeifaktoren voor de plant. Er worden 3 soorten groeifaktoren onderscheiden:

- voedingsstoffen zoals bijvoorbeeld N, P, K, spore-elementen
- energietoevoer via licht
- water voor gewasverdamping

De relatie tussen een groeifaktor van een gewas en de productie van het gewas verloopt in het algemeen volgens fig. 6.1.

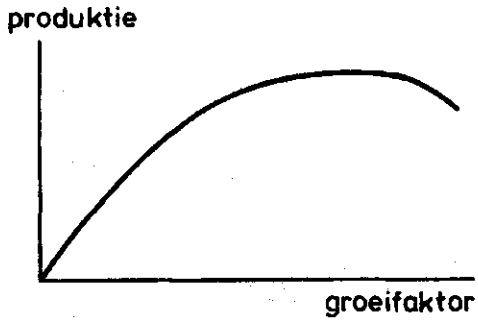


Fig. 6.1. Schematisch weergegeven verband tussen een groeifaktor en de productie van een gewas

Er is ongeveer een lineair verband tussen groeifaktor en productie als de groeifaktor de enige beperkende faktor is in het groeiproces. Is deze groeifaktor niet meer de beperkende groeifaktor, dan wordt een plafond bereikt. Te veel van een productiefaktor kan de productie weer doen afnemen.

Bekijken we de invloed van de groeifaktor N op de productie van mais. N beïnvloedt de productie van mais volgens fig. 6.1. De hoogte van het plafond wordt bepaald door een andere groeifaktor. Andere groeifaktoren die van belang zijn voor de productie van mais zijn:

1) andere voedingsstoffen
2) energietoevoer
3) vochtvoorziening

ad 2. Als maat voor de energietoevoer kan de gemiddelde maandtemperatuur of de hoeveelheid ingestraalde warmte worden gebruikt. Mais blijkt een sterk temperatuur-afhankelijke plant te zijn. In fig. 6.2 is de invloed van de temperatuur en de ingestraalde warmte bij een temperatuur van 20° en 23°C op de groei van mais weergegeven.

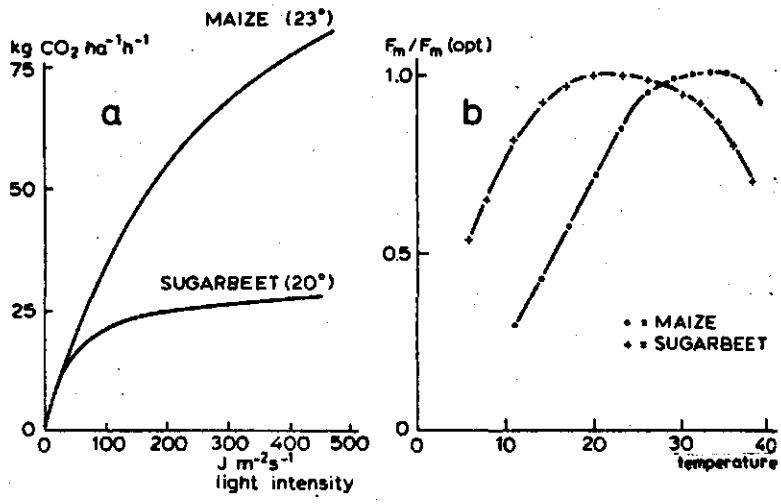


Fig. 6.2. Lichtresponsiecurve voor de bruto CO_2-assimilatie (a) en invloed van de temperatuur op de relatieve CO_2-assimilatiesnelheid (b) voor mais- en suikerbietbladeren (DE WIT e.a., 1978)

Mais blijkt een fundamenteel andere plant te zijn dan bijvoorbeeld suikerbieten: C_4-plant respectievelijk C_3-plant. In Nederland zitten de meeste jaren in de buurt van het temperatuursoptimum van suikerbieten. Een koud jaar zit vlak onder het temperatuursoptimum; een warm jaar zit vlak boven het temperatuursoptimum. De meeste jaren komen dus rond het temperatuursoptimum voor suikerbieten uit.

Voor mais geldt dat onder Nederlandse omstandigheden de meeste jaren onder het temperatuursoptimum van mais blijven. Een koud jaar zit ver onder het temperatuursoptimum, een warm jaar zit vlak bij

het temperatuursoptimum.

De temperatuur heeft dus een belangrijke invloed op het productieniveau van mais.

ad 3. De vochtvoorziening van mais kan met behulp van een waterbalans worden nagegaan. Met behulp van de pF-curve kan worden berekend hoeveel vocht er maximaal in de bouwvoor voor planten beschikbaar is tussen veldcapaciteit (pF = 2,0) en verwelkingspunt (pF = 4,2). In het voorjaar medio 1 april is de bouwvoor meestal op veldcapaciteit. Met behulp van een voor bodem en gewas gecorrigeerde open waterverdamping kan een schatting worden gemaakt van de evapotranspiratie. De open waterverdamping wordt gemeten volgens Penman. Op basis van het ontwikkelingsstadium van mais zijn reductiefaktoren geschat (tabel 6.1).

Tabel 6.1. Geschatte reductiefaktoren voor de evapotranspiratie op basis van het ontwikkelingsstadium van mais (RIJTEMA, 1980)

Maand	Decade	Lengte plant (cm)	Reduktiefaktor
mei	1	gezaaid	0,4
	2	0- 5	0,5
	3	5- 10	0,6
juni	1	10- 20	0,7
	2	20- 40	0,8
	3	40- 80	0,9
juli	1	80-110	1,0
	2	110-140	1,0
	3	140-180	1,0
aug./sept./okt. tot mais geoogst wordt			1,0
als de mais van het veld is			0,3

De waterbalans kan worden berekend met behulp van gegevens over:

- de beginsituatie: in het voorjaar is de grond op veldcapaciteit
- de aanvoer: neerslag en beregening
- de evapotranspiratie

De afvoer van neerslagoverschotten is de resterende onbekende. Per decade kan nu een waterbalans worden opgesteld van de posten die bekend zijn. Blijft er op de waterbalans dan nog water over, dan wordt dit als de hoeveelheid doorgespoeld water beschouwd. Een voorbeeld van de berekeningswijze geeft tabel 6.2.

Tabel 6.2. Voorbeeld van een boekhoudsysteem voor de waterbalans van een bouwvoor waarin maximaal 100 mm water voor de plant beschikbaar is. Vochthoeveelheden in mm

Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht		Doorspoeling
						begin	eind	
april	3	22,0	0	27,0	8,1	100	100	13,9
mei	1	28,3	0	28,9	8,7	100	100	19,6
	2	6,0	0	35,0	10,5	100	95,5	0

Op deze wijze kan worden nagegaan of in het groeiseizoen de vochtvoorziening een beperkende groeifactor is geweest, terwijl tevens de hoeveelheid doorgespoeld water kan worden berekend, die weer van belang is voor de uitspoeling van meststoffen.

6.2. De situatie voor Gortel

Opzet:

Voor Gortel is een relatie gezocht tussen de hoeveelheid minerale stikstof die in het groeiseizoen in de bouwvoor ter beschikking komt en het productieniveau van mais, zowel in droge stof als in stikstof (basisgegevens in bijlagen 6.5 en 6.6). Hierbij is er van uitgegaan dat alle andere voedingsstoffen in voldoende mate aanwezig waren. Alle percelen zijn bemest met superfosfaat, kali-40 en borax.

Er is een waterbalans opgezet voor de jaren 1972 tot en met 1979. Het blijkt dat er in het groeiseizoen nagenoeg geen vochttekort optrad omdat vrijwel altijd op tijd werd beregend (zie bijlage 6.1). Een overzicht van de waterbalans per seizoen geeft tabel 6.3.

Tabel 6.3. Waterbalans voor de bouwvoor op proefveld Gortel per groeiseizoen en braakperiode in de periode 1972-1981 (in mm)

Periode	Neerslag	Beregening	Evapotranspiratie	Verandering vochtberging	Grondw. voeding	Vochttekort
Groeiseizoenen:*						
1972(5,I -10,I)	430	51	425,5	-30	85,5	0
1973(4,III-10,III)	481	42	476,5	0	79,8	33,3
1974(5,I -10,II)	575	18	423,2	+ 7,8	162	0
1975(5,I - 9,III)	258	224	481,1	-14	16,1	1,2
1976(5,I - 9,III)	221,5	223	492,7	-69,7	21,5	0
1977(5,I -10,III)	391	25	403	-23,5	36,5	18,6
1978(5,I -10,II)	345,6	125	399	-37,4	109	0
1979(5,II -10,II)	300,5	47	370	-73,6	59,1	0
1980(5,I -10,III)	439,3	0	413,1	-19,2	45,4	0
Braakperiodes:*						
1972/73(10,I -4,III)	399,5	0	46,5	+30	323	0
1973/74(11,I -4,III)	335,5	0	48,3	- 7,8	295	0
1974/75(10,III-4,III)	654,5	0	43,8	0	610,7	0
1975/76(10,I -4,III)	369	0	53,7	- 4,3	319,6	0
1976/77(10,I -4,III)	420	0	49,8	+88	282,2	0
1977/78(11,I -4,III)	462,2	0	43,8	+23,5	394,9	0
1978/79(10,III-5,I)	480,3	0	48	+37,4	394,9	0
1979/80(10,III-4,III)	494,0	0	43,2	+73,6	377,2	0
1980/81(11,I -2,III)	322,7	0	9,6	+19,2	293,2	0

*(5,I = maand 5, decade I)

Er wordt bij de verdere bewerkingen van uitgegaan dat de watervoorziening geen beperkende rol heeft gespeeld bij de gewasproduktie, evenmin als andere voedingsstoffen behalve stikstof.

Het plafond wordt dan bepaald door de energietoevoer (zie ook par. 6.1). Er is nagegaan welke relaties er liggen tussen energietoevoer en productieniveau van mais. Hieruit blijkt:

- dat er goede correlaties bestaan tussen energietoevoer (uitgedrukt in J/cm^2) en productieniveau van mais (uitgedrukt in ton ds/ha of kg N/ha), afhankelijk van de beschouwde periode. Hierop wordt in het vervolg van dit hoofdstuk teruggekomen;
- dat de jaren 1972 tot en met 1979 op basis van de ingestraalde warmte

ingedeeld kunnen worden in drie groepen jaren (zie tabel 6.5):

koude jaren 1977 en 1979

normale jaren 1972, 1974 en 1978

warme jaren 1973, 1975 en 1976

- dat er voor de koude, normale en warme jaren een goed verband bestaat tussen de hoeveelheid minerale stikstof die in het groeiseizoen vrijkomt en de gewasproductie (in ton ds/ha of kg N/ha).

Voor iedere groep jaren wordt een ander plafond bereikt. Op de vermelde resultaten wordt hierna verder ingegaan.

De hoeveelheid minerale stikstof die in het groeiseizoen vrijkomt is de som van:

- de hoeveelheid stikstof die uit de humus mineraliseert (zie hoofdst. 5);
- de kunstmestgift;
- de minerale fractie van de stalmest (N_m);
- een deel van de gemakkelijk afbreekbare organische stikstof (N_r) van de stalmest;
- ongeveer de helft van de hoeveelheid stikstof die jaarlijks door de regen wordt aangevoerd.

Voor Gortel kan nu worden bepaald hoeveel minerale stikstof er voor de plant ter beschikking komt in de jaren 1972 tot en met 1979.

Voor iedere groep jaren kan nu een relatie worden bepaald tussen beschikbare hoeveelheid minerale stikstof voor de plant en opbrengst in droge stof of kg N in de koude, normale en warme jaren.

Uitwerking:

a) de waterbalans 1972-1979

De waterbalans staat in bijlage 6.1 weergegeven. Er is per decade nagegaan:

- hoeveel neerslag er viel, gemeten op Gortel (mm)
- hoeveel de beregening was (mm)
- hoeveel de open waterverdamping was (De Bilt-cijfer): E_o (mm)

- de geschatte evapotranspiratie E (mm)
- de hoeveelheid vocht aanwezig in de bouwvoor aan het begin en aan het eind van de decade. Op Gortel is sprake van een hangwaterprofiel; er kan maximaal circa 100 mm vocht voor de plant beschikbaar zijn
- uit deze gegevens kan de uitspoeling per decade worden berekend: uitspoeling = eindvoorraad - beginvoorraad - E + neerslag + beregening

Uit de waterbalans blijkt dat er in alle groeiseizoenen nagenoeg geen perioden met vochttekort optraden. Ook kan er een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid vocht die uitspoelt in het groeiseizoen en buiten het groeiseizoen.

b) de relatie ingestraalde warmte - productieniveau van mais

De relatie tussen energietoevoer en de opbrengst kan op verschillende manieren worden uitgedrukt.
De opbrengst kan worden gegeven als:

- de gemiddelde droge stof opbrengst van de vier zwaarst bemeste percelen van Gortel, namelijk:
  200 kg kunstmest/ha + 150 ton stalmest/ha
  250 kg kunstmest/ha + 150 ton stalmest/ha
  200 kg kunstmest/ha + 200 ton stalmest/ha
  250 kg kunstmest/ha + 200 ton stalmest/ha

  Op deze percelen zal geen stikstofgebrek zijn gezien de bemesting.
- de gemiddelde stikstofopname op bovengenoemde percelen

De energietoevoer kan worden uitgedrukt in:

- de hoeveelheid ingestraalde warmte (J/cm^2) in de periode juni tot en met augustus
- de hoeveelheid ingestraalde warmte (J/cm^2) in de periode mei tot en met augustus
- de hoeveelheid ingestraalde warmte (J/cm^2) in de periode mei tot en met september
- de hoeveelheid ingestraalde warmte (J/cm^2) in de periode dat de mais op het veld staat.

Verschillende combinaties van opbrengst en energietoevoer zijn uitgezet in grafiek, en de correlaties zijn bepaald. Dit is ook gedaan met resultaten van een proef van het CABO met mais in 1971 en 1972, waarbij in een bepaalde periode de droge stoftoename en de hoeveelheid ingestraalde warmte werden bepaald. De resultaten staan in tabel 6.4. Uit deze tabel blijkt dat er goede relaties gevonden worden tussen enerzijds de ingestraalde warmte in de periode juni tot en met augustus en anderzijds de droge stofopbrengst of de N-opname.

Tabel 6.4. Relaties tussen opbrengst en productiefaktoren voor mais

Opbrengst (y)	Productiefaktor (x)	r^2	Relatie	
droge stof (Gortel)	- ingestraalde warmte periode juni t/m aug.	0,86	y = 0,10x-2,75	y in ton ds/ha
	- ingestraalde warmte periode mei t/m aug.	0,84	y = 0,092x-5,95	x in 10^3 J/cm^2
	- ingestraalde warmte periode mei t/m sept.	0,82	y = 0,09x-8,29	
	- ingestraalde warmte periode dat mais op veld staat	0,45	y = 0,069x-3,32	
N-opname (Gortel)	- ingestraalde warmte periode juni t/m aug.	0,93	y = 1,67x-54	y in kg N/ha
	- ingestraalde warmte periode mei t/m aug.	0,90	y = 1,49x-149	x in 10^3 J/cm^2
	- ingestraalde warmte periode mei t/m sept.	0,91	y = 1,52x-109	
ds-toename (CABO)	- ingestraalde warmte periode 27-6-71 t/m 12-9-71	0,97	y = 0,0128x-4,92	y in g/m^2 x in J/cm^2
	- ingestraalde warmte periode 19-7-72 t/m 28-8-72	0,98	y = 0,014x+91	

Mais is een gewas dat temperatuurgevoelig is gezien zijn hoge T-optimum (zie fig. 6.2). Daarom kan worden verwacht dat de ingestraalde warmte, die nauw met de temperatuur samenhangt, een goede correlatie geeft met de opbrengst. Deze correlatie is echter afhankelijk van de beschouwde periode. Wordt de maand mei meegenomen, dan ontstaan er slechte correlaties. Dit komt doordat in de maand mei relatief veel

warmte wordt ingestraald, terwijl de plant deze warmte nog niet optimaal kan benutten doordat de plant te weinig bladoppervlak heeft. De proef van het CABO levert hoge correlaties omdat alleen gemeten werd in een periode dat de plant over genoeg bladoppervlak beschikte. Bovendien valt de meetperiode bij de CABO-proef voor de straling exact samen met die voor de gewasproduktie.
De relatie totale hoeveelheid ingestraalde warmte - opbrengst is er dus wel, mits de plant over voldoende bladoppervlak beschikt om deze ingestraalde warmte te kunnen benutten.
Een vergelijking van de resultaten van het CABO en Gortel:

- Gortel : uit de relatie droge stofopbrengst - ingestraalde warmte juni tot en met augustus (r^2 = 0,87) kan worden berekend dat er 8,28 10^8 J/kg ds nodig is
- het CABO : uit de resultaten van de meetperioden in 1971 en 1972 voor droge stof en ingestraalde warmte (r^2 = 0,94) kan worden berekend: 8,33.10^8 J/kg ds

Drukt men de produktie uit in droge stof of in N-opname, dan blijken er bijna gelijke correlaties te worden gevonden. Dat dit juist is, blijkt als men de N-opname uitzet tegen de droge stofopbrengst. Er wordt dan een goede lineaire correlatie gevonden:

koude jaren (1977 en 1979)	$y = 19,2x-43,25$	$r^2=0,97$	(6.1)
normale jaren (1972, 1974, 1978)	$y = 19,0x-52,50$	$r^2=0,95$	(6.2)
warme jaren (1973, 1975, 1976)	$y = 21,5x-104,3$	$r^2=0,84$	(6.3)

waarin: y = stikstofopname door mais in kg N/ha
x = droge stofopbrengst van mais in ton ds/ha

Tabel 6.5. Gemiddelde hoeveelheden ingestraalde warmte voor koude, normale en warme jaren (in J.cm^{-2}) voor de periode 1 juni tot en met 31 augustus

	Ingestraalde warmte	Verhouding*
koude jaren 1977, 1979	134 527	92
normale jaren 1972, 1974, 1978	145 228	100
warme jaren 1973, 1975, 1976	172 321	119

*normale jaren = 100

c) relatie beschikbare hoeveelheid minerale stikstof en ds-opbrengst

Eerst wordt nagegaan hoeveel minerale stikstof er jaarlijks vrijkomt in de bouwvoor. Alleen minerale stikstof is van belang, omdat stikstof in deze vorm meedoet aan opname door planten.
Als nu bekend is hoeveel minerale stikstof er per jaar, opgesplitst in groei- en winterseizoen, vrijkomt, kan voor de drie groepen jaren (koude, normale en warme jaren) een concrete relatie vastgesteld worden tussen beschikbare hoeveelheid minerale stikstof en de droge stofproductie.
De minerale stikstofaanvoer per jaar bestaat uit:

1) mineralisatie uit de humus
2) mineralisatie van de gemakkelijk afbreekbare organische stikstof in de mest: Ne
3) de minerale stikstof in mest: Nm
4) de kunstmest N
5) de stikstof in regenwater

ad 1. In de tabellen 5.6 en 5.7 (hoofdstuk 5) is nagegaan hoeveel stikstof er jaarlijks uit de humus mineraliseert voor de verschillende percelen van : Gortel.

ad 2. Ne is per definitie dat deel van de organische stikstof dat binnen 1 jaar mineraliseert. Voor Gortel geldt: Ne = 0,45 Nt

ad 3. De kunstmestgift bestaat uit minerale stikstof

ad 4. Nm is de minerale stikstof in mest; voor Gortel geldt: Nm = 0,1 Nt

ad 5. De stikstof in regenwater wordt als minerale stikstof beschouwd, en geschat op 20 kg/ha.jaar (STEENVOORDEN en OOSTEROM, 1979)

De totale hoeveelheid minerale stikstofaanvoer in jaar t is dus:

No_t = mineralisatie uit de humus + minerale N die in jaar van bemesting vrijkomt uit die bemesting (= $Nm + Ne - N_v = 0,1N_t + 0,45Nt - 0,05Nt = 0,50\ Nt$) + $N_{kunstmest} + N_{regen} =$

$$N_{min(tot)_t} + 0,5\ Nt + N_{regen} + N_{kunstmest} \qquad (6.4)$$

Op basis van fig. (5.3) van Kolenbrander kan worden gesteld dat 70% van de jaarlijkse mineralisatie binnen het groeiseizoen van mais valt. Nemen we aan dat 50% van de neerslag-N in het groeiseizoen valt, dan kan nu worden bepaald hoeveel minerale stikstof er in het groeiseizoen en hoeveel buiten het groeiseizoen vrijkomt.

Voor het groeiseizoen geldt:

$$No_{groeiseizoen} = 0{,}7(N_{min(tot)_t} + Ne) + Nm - Nv + \frac{1}{2} N_{regen} + N_{kunstmest} \quad (6.5)$$

Voor het winterseizoen geldt:

$$No_{winter} = 0{,}3(N_{min(tot)_t} + Ne) + \frac{1}{2} N_{regen} \quad (6.6)$$

In bijlagen 6.2 tot en met 6.4 staat weergegeven hoeveel minerale stikstof er per jaar, per groeiseizoen en per winterperiode voor de jaren 1972 tot en met 1979 vrijkomt.

De droge stofopbrengsten per jaar per perceel zijn bekend, dus kan voor iedere groep jaren de droge stofopbrengst tegen de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof worden uitgezet. Dit is in de fig. 6.3, 6.4 en 6.5 gedaan. De lijn voor iedere grafiek heeft de volgende bruto-vergelijking:

$$No = aP - b \ln\left(\frac{P_{max} - P}{P_{max}}\right) \quad (6.7)$$

waarin: No = de hoeveelheid minerale stikstof is die in omloop is (ton/ha)

P = de droge stofproductie (ton/ha)

P_{max} = de maximale droge stofproductie (ton/ha)

a en b zijn konstanten

De afgeleide van deze vergelijking is:

$$\frac{dN}{dP} = a + \frac{b}{(P_{max} - P)} \quad (6.8)$$

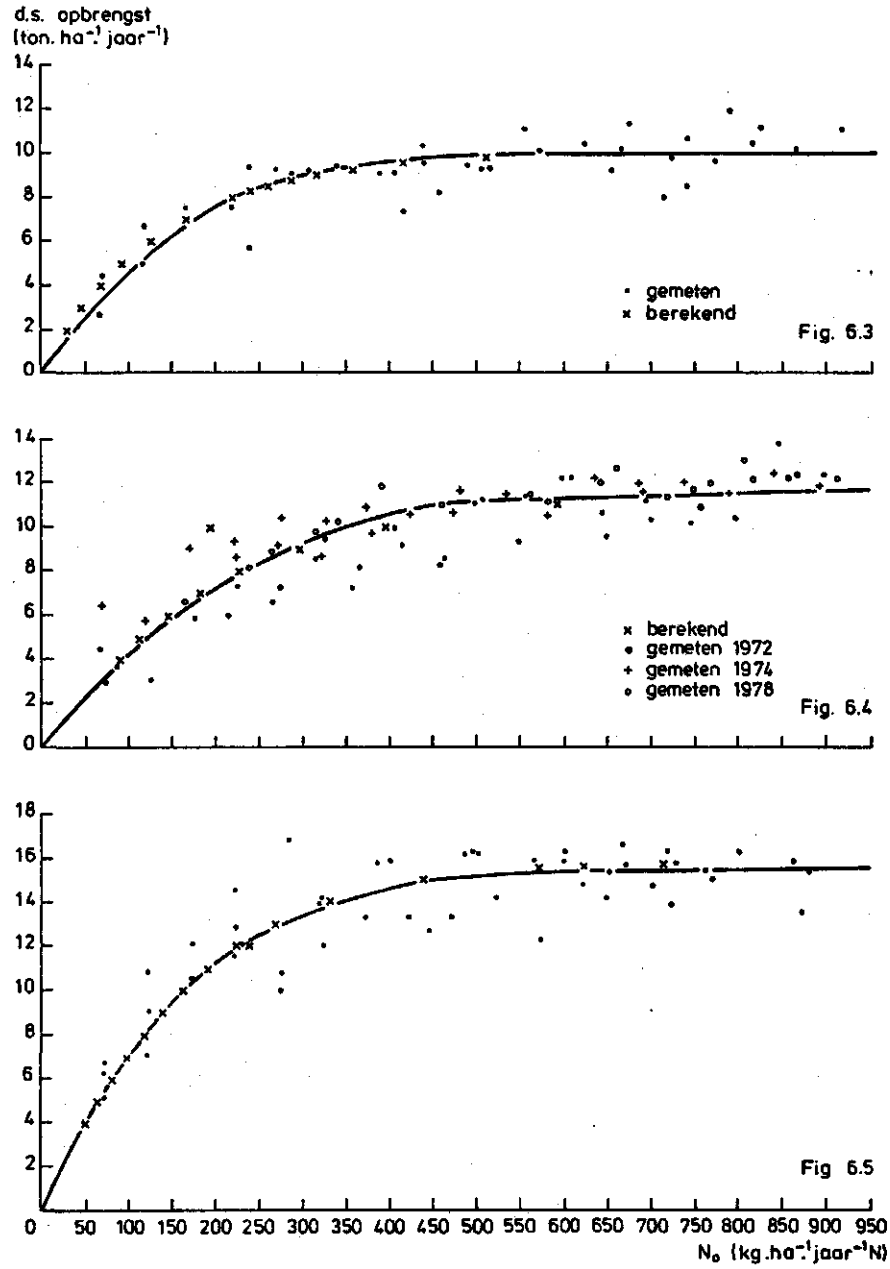


Fig. 6.3, 6.4 en 6.5. De droge stofproductie van snijmais op Gortel in relatie met de minerale stikstof die in omloop komt (No) gedurende het groeiseizoen voor de koude jaren 1977 en 1979 (6.3), de normale jaren 1972, 1974 en 1978 (6.4) en warme jaren 1973, 1975 en 1976 (6.5)

$\frac{dN}{dP}$ is evenredig met $\frac{1}{P_{max} - P}$. Uit de grafieken kan voor verschillende P-waarden $\frac{dN}{dP}$ worden bepaald, waarna a en b door middel van lineaire regressie kunnen worden berekend.

De volgende vergelijkingen worden gevonden:

Voor koude jaren 1977 en 1979:

$$No = 0{,}019\ P - 139{,}5\ \ln\left(\frac{P_{max} - P}{P_{max}}\right) \qquad (6.9)$$

(P_{max} = 10,0 ton/ha)

Voor normale jaren 1972, 1974 en 1978:

$$N_o = 0{,}0268\ P - 252{,}7\ \ln\left(\frac{P_{max} - P}{P_{max}}\right) \qquad (6.10)$$

(P_{max} = 11,65 ton/ha)

Voor warme jaren 1973, 1975 en 1976:

$$N_o = 3{,}3\ P - 130{,}8\ \ln\left(\frac{P_{max} - P}{P_{max}}\right) \qquad (6.11)$$

(P_{max} = 15,8 ton/ha)

P, P_{max} in $ton.ha^{-1}$ droge stof

No in $kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N

Opmerkingen:

- de term -0,019 P in formule (6.9) en de term -0,0268 P in formule (6.10) hebben een verwaarloosbare bijdrage aan No;
- een kleine verandering van P_{max} kan een grote verandering betekenen voor No.

  Bijvoorbeeld formule 6.10:

  P_{max} = 11,65 ton/ha, P = 10 ton/ha levert No = 494 kg/ha

  P_{max} = 11,8 ton/ha, P = 10 ton/ha levert No = 475 kg/ha

Het verband tussen beschikbare hoeveelheid minerale stikstof - droge stofopbrengst is nu bekend. Is het verband droge stofopbrengst - stikstofopname door snijmais ook bekend, dan kan worden berekend hoeveel stikstof door mais wordt opgenomen, afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare minerale stikstof.

Voor het verband droge stofopbrengst - stikstoftoename door mais is het ook nodig een onderscheid te maken tussen koude, normale en warme jaren. De relaties die gevonden zijn, zijn de vergelijkingen 6.1, 6.2 en 6.3.

Met behulp van de formules 6.1, 6.2 en 6.3 kan nu samen met de formules 6.9, 6.10 en 6.11 worden berekend hoe groot de stikstofopname is, afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof, in koude, normale en warme jaren (tabel 6.6).

Tabel 6.6. De berekende en gemeten stikstofopname door mais, afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof, in koude, normale en warme jaren voor Gortel (kg.ha^{-1} N)

No groeiseizoen	Koude jaren			Normale jaren			Warme jaren		
	droge stof-opbrengt (ton/ha^{-1})	berekende N-opname	gemeten N-opname	droge stof-opbrengst (ton/ha^{-1})	berekende N-opname	gemeten N-opname	droge stof opbrengst (ton/ha^{-1})	berekende N-opname	gemeten N-opname
100	5,1	56	50	4,3	29	51	7,0	46	85
200	7,6	103	96	7,4	88	87	11,3	139	138
300	8,9	128	134	9,0	119	110	13,5	186	200
400	9,4	137	138	10,1	140	138	14,6	210	208
500	9,8	145	139	10,55	148	168	15,2	223	202
600	9,8	146	158	11,0	157	162	15,6	231	222

d. Relatie stikstofopname snijmais met minerale stikstof

Het verband tussen stikstofopname in snijmais en het aanbod aan minerale stikstof is voor tabel 6.6 berekend uit de droge stof-produktie en het verband droge stof N-opname. Het verband tussen N-opname en aanbod aan minerale N kan ook op directe wijze worden bepaald. In formule:

$$No = a\ Npl - b\ \ln\{(Npl(max) - Npl)/N(max)\} \qquad (6.12)$$

Voor de koude, gemiddelde en warme jaren zijn voor de snijmais op Gortel de volgende waarden berekend voor a, b en Npl(max):

	Npl(max)	a	b	Figuur
koude jaren	166,5	1,10	160,0	(6.6)
gemiddelde jaren	183,0	1,40	130,0	(6.7)
warme jaren	227,0	1,27	105,2	(6.8)

zodat de vergelijkingen worden:

voor koude jaren:

$$No = 1{,}10\ Npl - 160{,}0\ \ln\{\frac{166{,}5 - Npl}{166{,}5}\} \qquad (6.13)$$

voor gemiddelde jaren:

$$No = 1{,}40\ Npl - 130{,}0\ \ln(\frac{183 - Npl}{183}) \qquad (6.14)$$

voor warme jaren:

$$No = 1{,}27\ Npl - 105{,}2\ \ln(\frac{227 - Npl}{227}) \qquad (6.15)$$

6.3. A l g e m e e n

In dit hoofdstuk is bekeken hoeveel N door mais wordt opgenomen voor Gortel. De hoogte van het productieplafond wordt bepaald door een tekort aan een productiefactor zoals bijvoorbeeld: vochtvoorziening, voedingsstoffen of energietoevoer. Aangenomen is voor de situatie van Gortel dat de hoogte van het plafond n i e t wordt

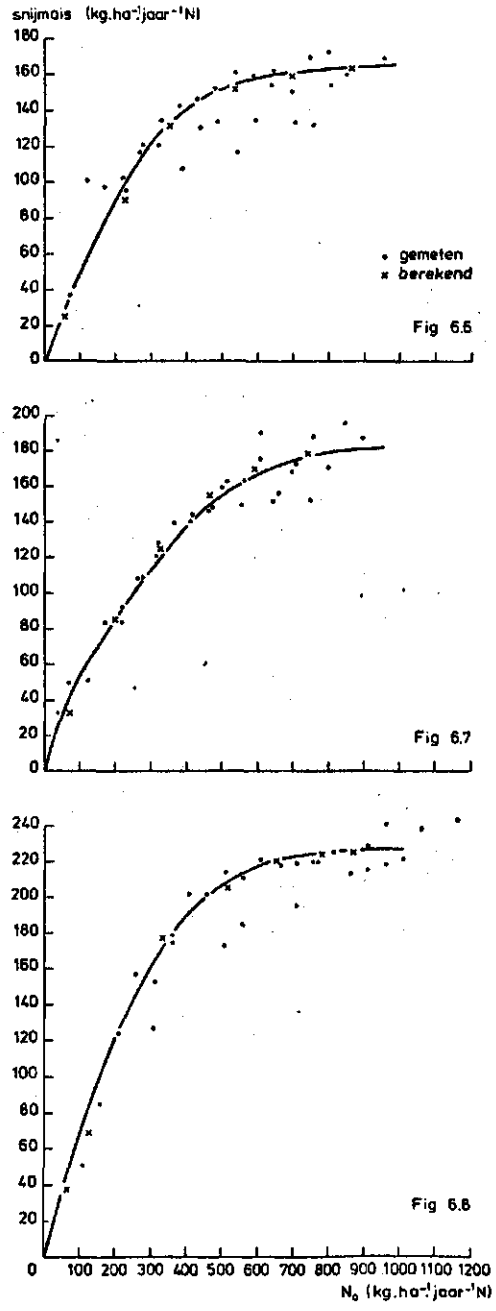


Fig. 6.6, 6.7 en 6.8. De stikstofopname in bovengrondse delen van snijmais op Gortel in relatie met het aanbod aan minerale stikstof gedurende het groeiseizoen (No) voor de koude jaren 1977 en 1979 (6.6), de normale jaren 1972, 1974 en 1978 (6.7) en de warme jaren 1973, 1975 en 1976 (6.8)

bepaald door:

- andere voedingsstoffen dan stikstof;
- vochttekort: voor Gortel is per decade een waterbalans opgesteld zodat kan worden nagegaan of een vochttekort zich heeft voorgedaan. Het bleek dat, mede door beregening, er praktisch geen vochttekort optrad.

De hoogte van het plafond wordt w e l bepaald door de energietoevoer. Mais, een C_4-plaat, heeft een hoog temperatuuroptimum en blijkt zeer gevoelig te zijn voor warmte. Nemen we als maat voor energietoevoer de ingestraalde warmte (J/cm^2) dan blijkt er een zeer goede relatie te bestaan tussen energietoevoer en droge stofopbrengst.
Op basis van de hoeveelheid ingestraalde warmte kunnen de jaren 1972 tot 1979 worden ingedeeld in koude (1977 en 1979), normale (1972, 1974 en 1978) en warme jaren (1973, 1975 en 1976). De gemiddeld ingestraalde warmte in de periode juni, juli en augustus verhoudt zich als 92:100:119 voor respectievelijk koude, normale en warme jaren. Voor iedere groep jaren is een relatie bepaald tussen 1): droge stofopbrengst en beschikbare minerale stikstof en 2): N-opname in snijmais en beschikbare minerale stikstof (fig. 6.3 t/m 6.8).

Voor alle jaren en percelen is de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof berekend als som van:

- mineralisatie van de humus,
- mineralisatie van gemakkelijk afbreekbare organische stikstof in mest (Ne),
- de minerale fractie in mest (Nm),
- de kunstmest stikstof,
- de stikstof in de neerslag.

7. UITSPOELING

7.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de uitspoeling bekeken. In de voorgaande hoofdstukken is de aanvoer van minerale stikstof bekeken: de minerale stikstof in stalmest met de vervluchtiging (hfdst. 2), de minerale stikstof in kunstmest en regenwater (hfdst. 3) en de mineralisatie uit de humus (hfdst. 5). Daarna is nagegaan hoe groot de stikstofopname is door de mais afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid minerale stikstof en afhankelijk van het weer (hfdst. 6). Er blijven nog 2 posten over op de N-balans: uitspoeling en denitrificatie.

Deze twee posten samen omvatten een groot deel van de afvoer van minerale stikstof uit de bouwvoor. Geprobeerd wordt de uitspoeling te bepalen. De denitrificatie wordt dan als sluitpost beschouwd. Dat juist denitrificatie als sluitpost wordt gebruikt wordt toegelicht in het hoofdstuk over denitrificatie (hfdst. 8).

N spoelt alleen uit in de vorm van NO_3^-. N in de vorm van NH_4^+ wordt aan de grond gebonden. N in organische vorm komt niet dieper dan een inspoelhorizont. N in gasvorm als NH_3 en N_2 verdwijnt in de lucht.

Op Gortel zijn lysimeters aanwezig. Met de gegevens van deze lysimeters kan de uitspoeling niet worden benaderd omdat de waterbalans van de lysimeters een te groot gat vertoont. Bovendien lagen de nitraatgehalten vergeleken met de analyseresultaten van andere onderzoeken op een ongewoon laag niveau. In de winter 1977-1978 en 1978--1979 is de neerslag 462 mm en 480 mm geweest wat volgens de waterbalans (bijlage 1) een doorspoeling zou geven van 395 mm respectievelijk 395 mm. In de lysimeters is respectievelijk 142 mm en 224 mm doorspoeling gemeten.

Het verschil kan niet door een foute benadering van de verdamping in de waterbalans of door vochtberging in het profiel (max. 100 mm tot 60 cm diepte)worden verklaard. Het nitraatgehalte in de lysimeterafvoer, bedroeg maximaal 10 à 20 $g.m^{-3}$ N, terwijl die voor andere proeven op een vergelijkbare grondsoort 5 à 10 maal hoger is.

Gekeken wordt daarom of de uitspoelingsgegevens van een ander proefveld Cranendonck te Maarheeze (N.Br.) gebruikt kunnen worden. Cranendonck is een soortgelijk proefveld als de Gortel, waar mais op percelen staat, die met oplopende hoeveelheden runder drijfmest worden bemest.

7.2. De situatie voor Gortel

Opzet

Op de Gortel zijn in de 3e decade februari 1981 boringen verricht op 1 m tot 2 m diepte (handboringen m.b.v. Edelman-boor). Van de grondmonsters werd het vochtgehalte bepaald evenals het nitraatgehalte in het bodemwater. Uit waterbalansberekeningen volgt dat de grondwatervoeding vanaf de oogst in oktober 1980 tot moment van bemonstering bijna 300 mm bedraagt. Verder kan bepaald worden hoe groot No - Npl is voor de verschillende percelen. Het resultaat is de volgende figuur.

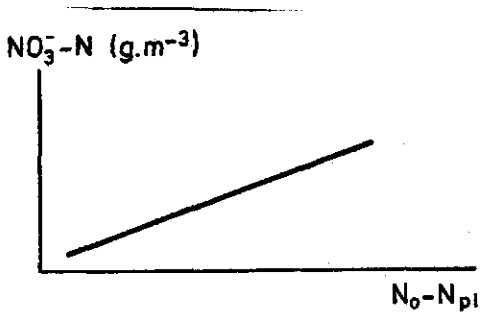


Fig. 7.1. Schematische weergave van het verband tussen No-Npl en NO_3-N concentratie in bodemvocht op ca. 1 m diepte bij 300 mm grondwatervoeding voor de situatie eind februari 1981 op Gortel

Gekeken wordt nu of het verloop van NO_3^--N concentratie tegen No-Npl bij 300 mm grondwatervoeding voor Cranendonck overeenkomt met het verkregen beeld van Gortel.

Blijkt dit te kloppen, dan kan met behulp van de gegevens van Cranendonck een beeld worden gevormd van de NO_3^--N concentratie tegen No-Npl, voor verschillende hoeveelheden grondwatervoeding (fig. 7.2) Dit beeld wordt dan gebruikt voor Gortel

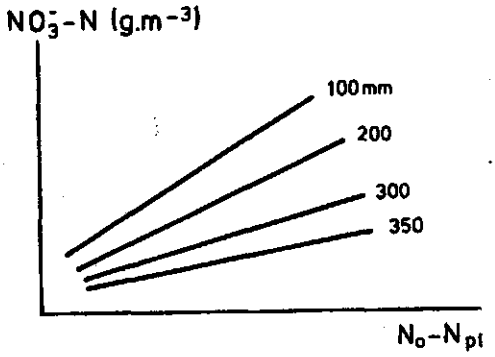


Fig. 7.2. Schematische weergave van de NO_3-N concentratie in bodemvocht op 1 m diepte afhankelijk van No-Npl, bij verschillende hoeveelheden grondwatervoeding

Uitvoering op Gortel

a. De bemonstering: enkele percelen op de Gortel zijn bemonsterd. Op ieder bemonsterd perceel werden 6 gaten geboord, en monsters genomen van de diepten 1,0-1,25; 1,50-1,75; 2,0-2,25 m. Per perceel werd per diepte een mengmonster gemaakt. Dit was nodig vanwege de grote inhomogenitei van de monsters en de lage vochtgehalten. Beide faktoren veroorzaken een grote spreiding in de uitkomsten. De resultaten staan in tabel 7.1. Vocht- en nitraatgehalten zijn in duplo bepaald.

b. Grondwatervoeding: uit de waterbalans van Gortel (bijlage 6.1) kan worden afgeleid dat de grondwatervoeding 294 mm, afgerond 300 mm, bedraagt.

c. No - Npl:

- 1) No: bekeken wordt de hoeveelheid minerale stikstof die vrijkomt in seizoen 1980-1981 tot 3e decade februari 1981:

$$No\ (t/m\ febr.) = No_{groeiseizoen} + 2/3\ No_{winter}$$

No = mineralisatie uit de humus +

+ minerale stikstof die vrijkomt door bemesting in 1980 (= Nm + Ne - Nv = 0,1 Nt + 0,45 Nt - 0,05 Nt = 0,5 Nt)

+ $N_{kunstmest}$

+ N_{regen}

$$No_{groeiseizoen} = 0,7\ (N_{min(tot),80} + Ne) + Nm - Nv + \frac{1}{2} N_{regen} + N_{kunstmest}$$

$$No_{winter} = 0,3(N_{min(tot),80} + Ne) + \frac{1}{2} N_{regen}$$

De mineralisatie, $N_{min(tot),80}$ is met formule 5.17

Tabel 7.1. Vochtgehalte en nitraatconcentratie op verschillende diepten in de bodem voor een aantal proefpercelen op Gortel (0 S, 100 N = 0 ton stalmest en 100 kg kunstmest N). Bemonstering eind februari 1981

Bemesting	Diepte (cm)	Vochtgehalte (in % van d.s)	NO_3-N conc. ($g.m^{-3}$ N)	Gem. NO_3-N conc. ($g.m^{-3}$ N)
0 S 100 N	100-125	4,07	19,6	
	150-175	5,17	9,4	15,1
	200-225	7,31	16,2	
0 S 150 N	100-125	6,76	44,3	
	150-175	4,36	25,0	36,3
	200-225	4,16	39,5	
0 S 200 N	100-125	4,94	14,3	
	150-175	4,02	21,5	18,3
	200-225	4,14	19,1	
0 S 250 N	100-125	3,78	33,8	
	150-175	4,11	21,8	30,4
	200-225	2,95	35,5	
50 S 0 N	100-125	4,53	17,4	
	150-175	3,45	17,1	18,6
	200-225	3,42	21,3	
100 S 0 N	100-125	4,76	31,0	
	150-175	5,20	16,3	27,1
	200-225	4,12	34,1	
150 S 0 N	100-125	3,98	18,0	
	150-175	4,57	19,9	18,4
	200-225	4,68	17,3	
200 S 0 N	100-125	3,71	37,2	
	150-175	4,57	52,9	47,5
	200-225	3,66	52,3	
200 S 250 N	100-125	2,99	81,3	
	150-175	3,72	59,7	63,1
	200-225	5,16	48,4	

(humificatie en mineralisatie) te berekenen; Ne = 0,45 Nt; Nm = 0,1 Nt; Nv = 0,05 Nt; N_{regen} = 0,02 ton $N.ha^{-1}$. Dus N_o (t/m febr.) is te berekenen (tabel 7.2)

Tabel 7.2. Stikstof in omloop (No in $kg.ha^{-1}$ N) in seizoen 1980-1981 op Gortel, droge stofproduktie ($ton.ha^{-1}$) en opname in gewas (Npl, in $kg.ha^{-1}$ N). De waarden van Npl tussen ( ) zijn afgelezen uit fig. 6.6, die de relatie tussen No en Npl weergeeft voor koude jaren. Voor verklaring van Npl niet tussen ( ) zie tekst

Perceel	No	$No_{groeiseiz.}$	No_{winter}	No(t/m febr.)*d.s.		Npl(Npl)	No(t/m febr.) - Npl
0 S 100 N	200	166	34	189	6,9	89(91)	100
- 150 N	250	216	34	239	7,7	105(107)	134
- 200 N	300	266	34	289	8,5	120(121)	169
- 250 N	350	316	34	339	9,0	130(132)	209
50 S 0 N	329	230	99	296	8,0	110(127)	186
100 S -	558	395	163	504	8,5	139(156)	365
150 S -	787	559	228	711	9,5	147(164)	564
200 S -	1015	723	292	918	9,95	148(165)	770
200 S 250 N	1265	973	292	1168	9,95	148(165)	1020

*Totale N-aanvoer min de NH_3-vervluchtiging

-2) Npl: 1980-1981 behoort (bij de indeling in warme, normale en koude jaren) tot de koude jaren. Uit fig. 6.3 kan met behulp van No worden geschat hoe groot de oogst was op de bemonsterde percelen. In formule 6.1 staat de relatie kg N opname door mais en d.s.-productie voor de koude jaren. Npl kan nu ook worden geschat (tabel 7.2).

7.3. Uitvoering op Cranendonck

a. De gemonstering: op Cranendonck zijn in de winter van 1977-1978 met behulp van keramische potjes monsters genomen op 1,00-1,25 m diepte. Ook hier werden per perceel mengmonsters gemaakt van het opgevangen bodemwater en zijn NO_3-N concentraties bepaald. De meetresultaten staan in tabel 7.3. Het grondwater bevindt zich op Cranendonck op 1,50-2,00 m-m.v.

Tabel 7.3. Meetresultaten NO_3-N bepaling in bodemwater op de diepte 1,0-1,25 m-m.v. en neerslaggegevens voor Cranendonck tussen 15-11-'77 en 3-5-'78 voor objecten met verschillende giften runderdrijfmest (NO_3-N conc. in $g.m^{-3}$ N)

bemesting / datum	100 ton	150 ton	200 ton	250 ton	300 ton	Grondwater-voeding (mm)	Som grondw.-voeding (mm)
15-11-'77	52,4	83,6	130,0	189,2	176,0	35	35
2-12-'77	76,4	88,9	115,3	132,4	198,0	53	88
3- 1-'78	73,3	107,8	104,3	105,6	170,5	29	117
1- 2-'78	70,4	83,6	88,0	105,6	138,6	50	167
8- 3-'78	71,4	67,3	66,9	105,2	128,5	44	211
5- 4-'78	24,2	72,6	37,8	77,0	88,0	43	254
3- 5-'78	29,9	36,7	40,0	66,2	86,9	47	301

b. Grondwatervoeding: de gemeten grondwatervoeding staat ook in tabel 7.3 weergegeven

c. No-Npl:

-1) No: eerst wordt de humus N bekeken; de humus wordt weer opgesplitst in jonge en oude humus. In tabel 7.4 is de mineralisatie uit de oude humus berekend; het blijkt dat jaarlijks 154 $kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N uit de oude humus mineraliseert. De oude humus is gemeten in 1974. De waarde van $N_{min(oud)}$ verandert weinig in enkele jaren (bijlage 6.2).

Tabel 7.4. Berekening van de jaarlijkse mineralisatie uit oude humus op Cranendonck bij een mineralisatiecoëfficiënt van k = 0,02

Laag cm	Volume gewicht kg/dm^3	Humusgewicht $ton.ha^{-1}$	Nt ‰	Nt $kg.ha^{-1}$ N	$N_{min(oud)}$ $kg.ha^{-1}$ N
0-20	1,45	2,9	1,1	3,19 10^3	64
20-40	1,51	3,02	0,8	2,42 10^3	48
40-60	1,50	3,00	0,7	2,10 10^3	42

De mineralisatie uit de jonge humus is in tabel 7.5 berekend. In de berekeningen is ervan uitgegaan dat de mineralisatie van de jonge humus volgens vergelijking (5.15) plaats vindt. De mineralisatie wordt berekend in Nr. Met: Nm = 0,5 Nt, Ne = Nr = 0,25 Nt en Nt = 475 kg N per 100 ton drijfmest, kan de mineralisatie worden berekend.

Tabel 7.5. Jaarlijkse stikstof mineralisatie uit de jonge humus op Cranendonck

	Voorraad jonge humus	$N_{min(jong)}$	$N_{min(jong)}$ ($kg.ha^{-1}$ N)
1974 (t = 0)*	1,0 Nr	0	0
1975 (t = 1)	1,5 Nr	0,39 Nr	46
1976 (t = 2)	1,9 Nr	0,46 Nr	55
1977 (t = 3)	2,3 Nr	0,53 Nr	63

*1e jaar van toediening

No kan nu worden berekend: $No = Nm + Ne + N_{min(tot)} =$
$= Nm + Ne + N_{min(jong)} + N_{min(oud)}$.

Tabel 7.6. De jaarlijkse waarde van No voor Cranendonck in seizoen 1977-1978 (alles in: $kg.ha^{-1}$ N)

Perceel	Nm + Ne	$N_{min(oud)}$	$N_{min(jong)}$	No
100 ton	356	154	63	573
150 "	534	154	95	783
200 "	713	154	126	993
250 "	891	154	158	1203
300 "	1069	154	189	1412

-2) Npl is gemeten in Cranendonck (tabel 7.7). Nu is dus No-Npl bekend

Tabel 7.7. Npl en No-Npl (in: $kg.ha^{-1}$ N) voor verschillende percelen op Cranendonck in 1977

	100 ton	150 ton	200 ton	250 ton	300 ton
Npl	162	177	192	205	209
No-Npl	411	606	801	998	1203

Voor de proefvelden Gortel en Cranendonck zijn nu bekend: No-Npl en de NO_3^--N concentratie in het bodemvocht op 1 m-m.v. bij ca. 300 mm grondwatervoeding. Een deel van het stikstoftraject is overlappend (tabel 7.8).

Tabel 7.8. Waarden van (No-Npl) en NO_3^--N gehalte in het bodemvocht op 1 m-m.v. voor Cranendonck (1977--1978) en Gortel (1980-1981)

Gortel		Cranendonck	
No-Npl ($kg.ha^{-1}$ N)	NO_3^--N ($g.m^{-3}$ N)	No-Npl ($kg.ha^{-1}$ N)	NO_3^--N ($g.m^{-3}$ N)
100	15	411	30
134	36	606	37
169	18	801	40
209	19	998	66
186	30	1203	87
365	27		
564	18		
770	48		
1020	63		

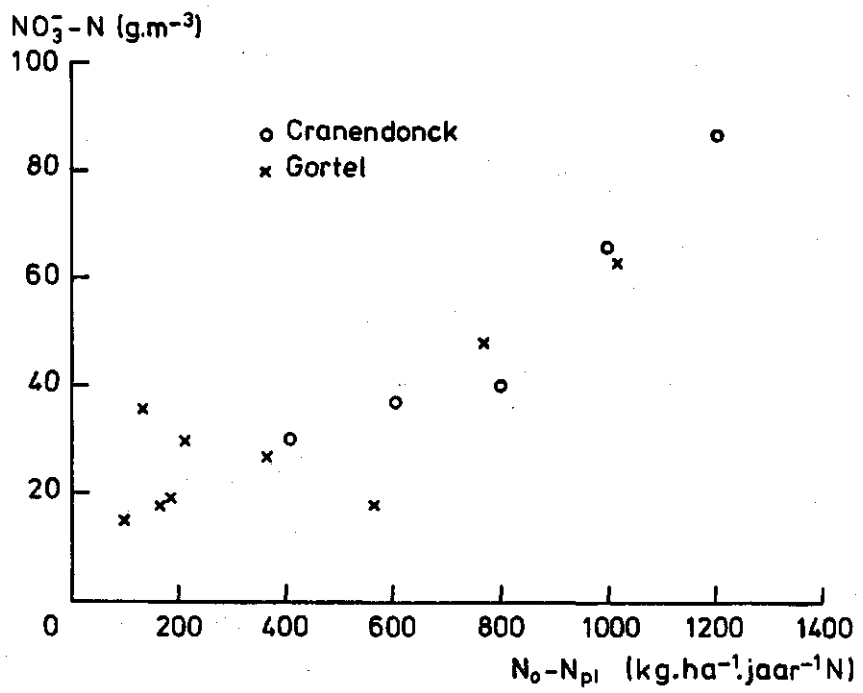


Fig. 7.3. Nitraatgehalte in het grondwater op 1,50-2,00 m-m.v. na ca. 300 mm grondwatervoeding in relatie met verschillende waarden van (No-Npl) op Cranendonck en Gortel

Deze resultaten zijn in grafiek 7.3 uitgezet. Voor Gortel liggen de resultaten op 2 na redelijk op één lijn.

De resultaten van Cranendonck en de Gortel komen goed overeen. Op basis van deze figuur kan worden gesteld dat de uitspoelingsgegevens van Cranendonck toepasbaar zijn voor de situatie van Gortel. Dat de gegevens afkomstig zijn van verschillende jaren is acceptabel omdat 1977 en 1980 beide behoren tot de categorie koude jaren.
Nu wordt bekeken of voor Cranendonck een relatie kan worden gevonden tussen No-Npl de NO_3-N concentratie voor verschillende grondwatervoedingen.

In tabel 7.3 staan de gemeten NO_3-N concentraties bij verschillende grondwatervoedingen. No-Npl moet in de loop van de winter worden berekend. Er wordt rekening mee gehouden dat in de loop van de winter organische stof mineraliseert. In de winter mineraliseert 30% van de jaarlijkse hoeveelheid die mineraliseert.
In formule: $N_{winter} = 0,3(Ne + N_{min(oud)} + N_{min(jong)})$.

In tabel 7.6 is al berekend hoeveel de jaarlijkse mineralisatie uit de oude en jonge humus bedraagt. Uitgaande van 475 kg N/100 ton drijfmest, Nm = 0,5 Nt en Ne = 0,25 x Nt, kan tabel 7.9 worden opgesteld.

Tabel 7.9. Berekening $N_{groeiseizoen}$, N_{winter} en No voor Cranendonck in seizoen 1977-1978 ($kg.ha^{-1}$ N)

Bemesting	Nm	Ne	$N_{min(oud)}$	$N_{min(jong)}$	$N_{min(groeiseiz.)}$	N_{winter}	No
100 ton	238	119	154	63	473	101	574
150 "	356	178	154	95	655	128	783
200 "	475	238	154	126	838	155	993
250 "	594	297	154	158	1020	183	1203
300 "	713	356	154	189	1202	210	1412

Stellen we dat het winterseizoen in november begint en dat de mineralisatie in de winter evenredig met de tijd verloopt (in 1 maand vindt 1/6 van de totale mineralisatie in de winter plaats) dan kan worden berekend hoeveel de mineralisatie bedraagt vanaf het begin van het groeiseizoen tot het tijdstip van bemonstering (tabel 7.10).

Tabel 7.10. Berekende mineralisatie (Ne + N_{min}) van begin groeiseizoen 1977-1978 tot moment van bemonstering voor enkele drijfmestniveaus op Cranendonck

Bemesting / Datum	15/11	2/12	3/1	1/2	8/3	5/4	3/5
100 ton	243	252	269	286	302	319	336
150 "	310	320	342	363	384	406	427
200 "	376	389	415	441	466	492	518
250 "	441	457	487	518	548	578	609
300 "	507	524	559	594	629	664	699

Met Npl bekend (tabel 7.7) kan No-Npl worden berekend (tabel 7.11).

Tabel 7.11. Berekende No-Npl van begin groeiseizoen 1977-1978 tot moment van bemonstering voor enkele drijfmestniveaus op Cranendonck

Bemesting	Datum	15/11	2/12	3/1	1/2	8/3	5/4	3/5
100 ton		319	328	345	362	378	395	412
150 "		489	499	521	542	563	585	606
200 "		659	672	698	724	749	775	801
250 "		830	846	876	907	937	967	998
300 "		1011	1028	1063	1098	1133	1168	1203

De regressielijnen (fig. 7.4, 7.5, die kunnen worden berekend voor het verband tussen NO_3^--concentratie in het grondwater op 1,0 m--m.v. en de waarde van No-Npl bij opeenvolgende bemonsteringen, zijn gegeven in tabel 7.12. De correlatiecoëfficiënten zijn eveneens vermeld.

De regressielijn voor de totale uitspoeling op Cranendonck is gegeven in fig. 7.6. Uit de regressievergelijking kan worden afgeleid dat van de fractie No-Npl gemiddeld ongeveer 33% uitspoelt bij ca. 300 mm grondwatervoeding. De regressielijn in fig. 7.6 is eveneens gebruikt voor berekening van de winteruitspoeling op de Gortel.

De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 7.13 voor de objecten die betrokken zijn geweest bij het uitspoelingsonderzoek in het veld. Van de totale minerale stikstof in omloop bij de kunstmestobjecten in het jaar 1980/'81 blijkt ca. 26% uit te spoelen in de winterperiode en ca. 3% in het groeiseizoen. Bij de drijfmestobjecten neemt de No-fractie die uitspoelt in de winterperiode toe van 26% tot 28% bij oplopende waarden van No en van 3 tot 5% in het groeiseizoen.

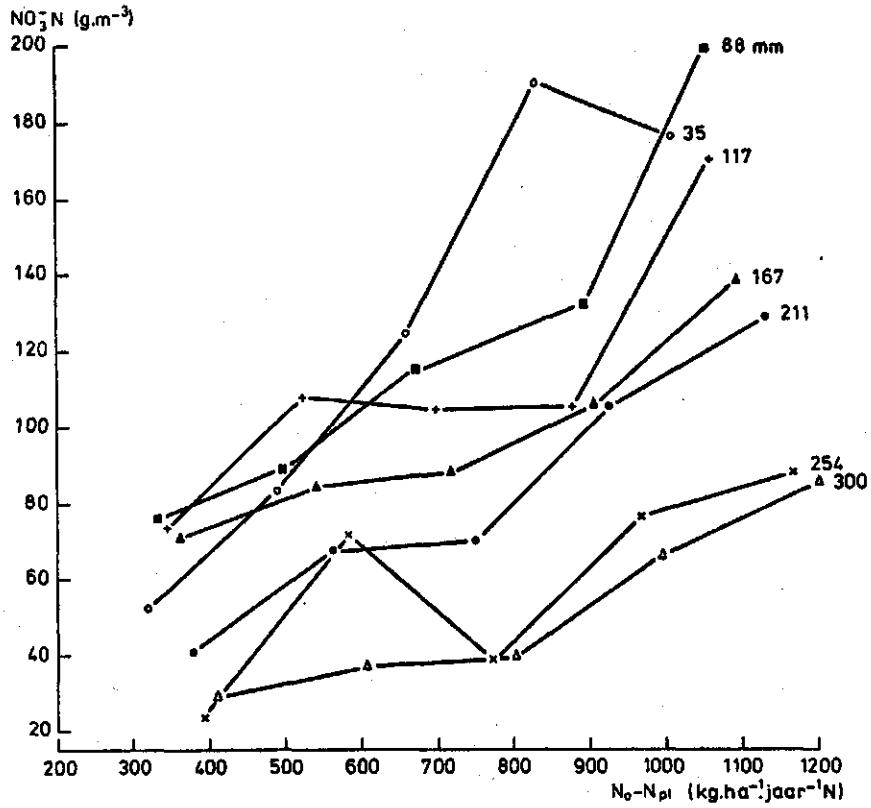


Fig. 7.4. Gemeten NO_3-N concentratie in bodemwater op 1 m diepte tegen (No-Npl) voor opeenvolgende bemonsteringen, aangegeven door de gesommeerde hoeveelheid grondwatervoeding (mm) (Cranendonck, seizoen 1977/'78)

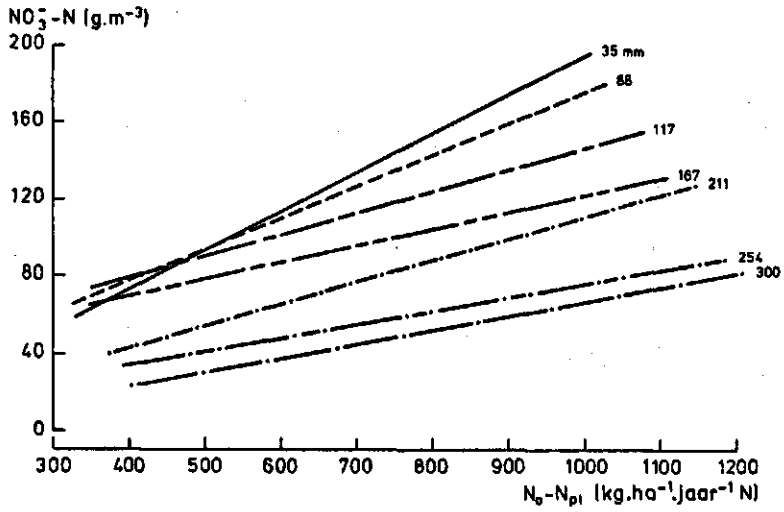


Fig. 7.5. Berekende regressielijnen voor de NO_3^--N concentratie in het grondwater op 1 m-m.v. tegen No-Npl voor opeenvolgende bemonsteringen, aangegeven door de gesommeerde hoeveelheid grondwatervoeding (mm) (Cranendonck, seizoen 1977/'78)

Tabel 7.12. Regressielijnen tussen NO_3^--N gehalte in het grondwater op 1,0 m-m.v. (y, in $g.m^{-3}$ N) en No-Npl (x, in $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N) voor Cranendonck in de natte periode 1977/'78 voor opeenvolgende bemonsteringen en voor de totale uitspoeling (y, in $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N)

Tijdstip bemonstering	Gesommeerde grondwatervoeding (mm)	Regressie-vergelijking	Correlatie-coëfficiënt (R^2)
15-11-'77	35	y=0,204x- 8,6	0,90
2-12-'77	88	y=0,165x+11,1	0,91
3- 1-'78	117	y=0,108x+36,7	0,74
1- 2-'78	167	y=0,087x+34,4	0,91
8- 3-'78	211	y=0,113x- 2,9	0,94
5- 4-'78	254	y=0,069x+ 6,6	0,58
3- 5-'78	300	y=0,073x- 6,6	0,91
totale uitspoeling 1977/1978	300	y=0,336x+16	0,98

Op Cranendonck speelt uitspoeling naar het grondwater gedurende het groeiseizoen geen rol van betekenis. Op de lichte zandgrond van de Gortel is dit wel van belang (tabel 6.3). Over NO_3-uitspoeling in de zomer is niets bekend. Daarom is deze bijdrage berekend uit de zomerafvoer en de gemiddelde NO_3^--concentratie in de winterperiode. De berekende totale uitspoeling varieert slechts binnen nauwe grenzen, namelijk van 29 tot 35% van No.

Samenvatting

Van Gortel waren geen betrouwbare gegevens beschikbaar over de nitraatuitspoeling naar het grondwater over de jaren 1971 tot en met 1980. Om enig inzicht te krijgen in het concentratieniveau is in februari 1981 een bemonstering uitgevoerd op een aantal bemestingsobjecten voor de diepten 1,00-1,25; 1,50-1,75 en 2,00-2,25 m-m.v. Het bodemvocht in deze bemonsterde lagen heeft betrekking op de

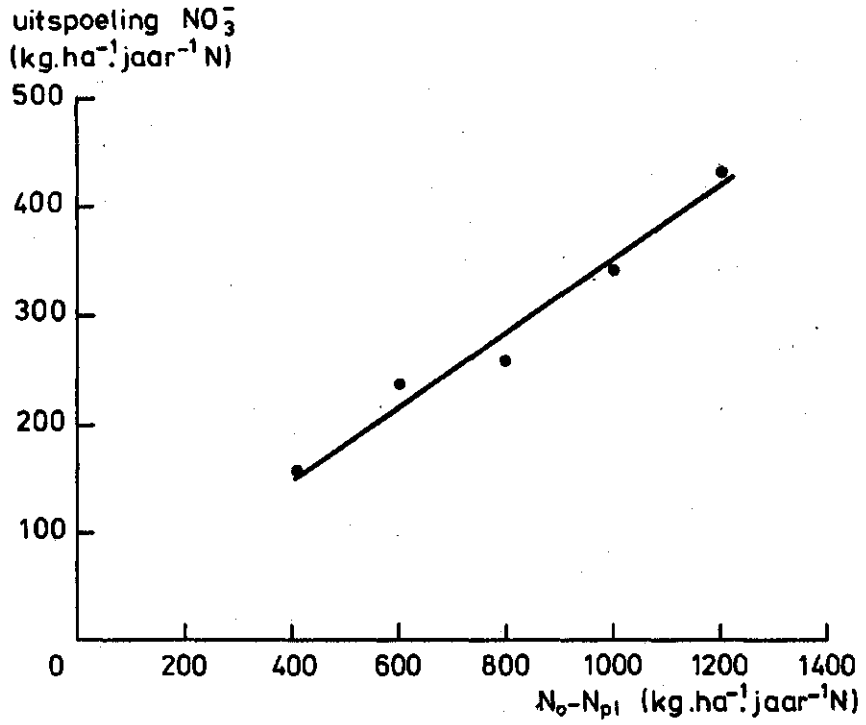


Fig. 7.6. Uitspoeling van NO_3^- naar het ondiepe grondwater tegen No-Npl voor de natte periode 1977/'78 op Cranendonck bij ca. 300 mm grondwatervoeding

grondwatervoeding van ca. 275e tot 300e mm in deze uitspoelingsperiode. De gevonden resultaten op Gortel blijken zeer goed overeen te komen met die van een ander experiment waar zware mestgiften worden toegediend, namelijk van Cranendonck (fig. 7.3). De informatie over de nitraatuitspoeling op Cranendonk (fig. 7.5) is daarna benut om relaties te berekenen tussen (No-Npl) en de NO_3^--gehalten in het uitspoelende bodemvocht op 1,00-1,25 m-m.v. (tabel 7.12) op verschillende tijdstippen in de winterperiode. De uitspoeling op Gortel voor de braakperiode is vervolgens berekend met behulp van de gevonden regressielijnen (tabel 7.13). De uitspoeling in het groeiseizoen is berekend uit de zomergrondwatervoeding en de gemiddelde NO_3^--concentratie in de winterperiode.

Tabel 7.13. Uitspoeling van NO_3^--N (in: $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N en in % van No) in groeiseizoen (Z) en braakperiode (W) van het jaar 1980/'81 voor verschillende bemestingsobjecten op Gortel, gekarakteriseerd door No en (No-Npl) (in: $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N)

Bemesting		No (tot mrt.)	No-Npl (tot mrt.)	$N_{uitsp(W)}$	$N_{uitsp(Z)}$	$N_{uitsp(tot)}$
0 S	100 N	189	100	50	8	58(31%)
-	150 N	239	134	61	9	70(29")
-	200 N	289	169	73	11	84(29")
-	250 N	339	209	86	13	99(29")
50 S	0 N	296	186	78	12	90(30")
100 S	-	504	365	139	21	160(32")
150 S	-	711	564	206	32	238(33")
200 S	-	918	770	275	42	317(35")
200 S	250 N	1168	1020	359	55	414(35")

8. DENITRIFICATIE EN MINERALE STIKSTOFBALANS

In dit hoofdstuk wordt allereerst ingegaan op het proces denitrificatie en de kwantitatieve rol voor de bemestingsobjecten op de Gortel. Omdat de omvang van de denitrificatie wordt berekend als sluitpost van de stikstofbalans dient in deze paragraaf de gehele stikstofbalans aan de orde te komen.

8.1. Theorie

Denitrificatie is het biochemisch proces waarbij NO_3^- wordt omgezet in gasvormige verbindingen zoals N_2 en N_2O. Het proces wordt vrijwel uitsluitend uitgevoerd door facultatief anaerobe bacteriën in situaties van O_2-tekort, indien organische stof aanwezig is die door de betreffende bacteriën kan worden benut voor de stofwisseling. De snelheid van het proces is afhankelijk van onder andere de volgende factoren:

- NO_3^- concentratie
- pH
- temperatuur
- beschikbare organische stof
- vochtgehalte van de grond

(BREMNER en SHAW, 1958; LIND 1979, 1980).

Genoemde factoren kunnen uiteraard in de bodem sterk variëren, zowel van plaats tot plaats op hetzelfde tijdstip als voor een bepaalde plaats in de loop van het seizoen. Door klimaatverschillen kan de bijdrage eveneens van jaar tot jaar variëren.

Het denitrificatieproces kan op meerdere manieren worden beschreven (FRISSEL en VAN VEEN, 1981)

a) gebaseerd op de omvang van de bacteriepopulatie
b) gebaseerd op de chemische reaktie-kinetiek
c) gebaseerd op empirische resultaten.

Een beschrijving volgens a) heeft als voordeel dat het model algemeen toepasbaar is in elke andere situatie waar dezelfde procesparameters van belang zijn. Het nadeel van deze methode is echter dat

er zeer veel onderzoek moet worden verricht om allerlei reaktieconstanten te verzamelen. De andere extreme mogelijkheid is de procesbeschrijving volgens methode c). De toepasbaarheid van de verkregen resultaten is dan echter beperkt tot bijvoorbeeld de gebruikte grondsoort en het jaar van onderzoek, het gewas dat onderwerp van studie is geweest, enz.

Vele biochemische processen laten zich bij methode b) beschrijven met behulp van de Michaelis-Menten vergelijking, die in zijn algemeenheid luidt:

$$V = \frac{V_{max.}\ (NO_3^-)}{K_{NO_3^-} + (NO_3^-)} \qquad (8.1)$$

waarbij: V = denitrificatiesnelheid, (NO_3^-) = nitraat-concentratie, V_{max} = de max. denitrificatiesnelheid en $K_{NO_3^-}$ = de Michaelis constante, die gelijk is aan de concentratie waarbij $V = \frac{1}{2} V_{max}$.

De invloed van de beschikbare organische stof is in hoge mate bepalend voor het denitrificatieverloop en dit kan als volgt tot uiting worden gebracht in 8.1:

$$V = \frac{V_{max}.(C).(NO_3^-)}{(K_c+(C)).(K_{NO_3^-} + (NO_3^-))} \qquad (8.2)$$

waarbij o.a.: (C) = de concentratie van de assimileerbare organische stof en

K_c = het organische stofgehalte waarbij

V = $\frac{1}{2} V_{max}$ als (NO_3^-) niet beperkend is (FOCHT, 1974).

De invloed van de factoren vochtgehalte, temperatuur en pH zijn door RYZHOVA (1979) als volgt in rekening gebracht:

$$V = \frac{V_{max.}(C).(NO_3^-)\ .\ k_w\ .\ k_t\ .\ k_{pH}}{(K_c+(C))(K_{NO_3^-} + (NO_3^-))} \qquad (8.3)$$

waarbij: k_w, k_t en k_{pH} = de reaktieconstanten voor vochtgehalte (w), temperatuur (t) en zuurgraad (pH) met waarden tussen 0 en 1.

Het verloop van een reaktieconstante wordt vastgesteld onder omstandig-

heden waarbij slechts die ene factor beperkend is. Zijn meerdere factoren tegelijkertijd beperkend voor de denitrificatie dan wordt aangenomen dat het gecombineerde effect kan worden afgeleid uit de effecten van de individuele factoren zoals bijvoorbeeld:

$$k_{w,t} = k_w \times k_t \qquad (8.4)$$

In een model voor de simulatie van de stikstofhuishouding van grasland gebruikte RIJTEMA (1978) de volgende vereenvoudigde benadering voor de denitrificatie:

$$N_d = \alpha(N_o - N_{pl}) \qquad (8.5)$$

waarin: N_d = denitrificatiesnelheid ($kg.ha^{-1}.jaar^{-1}N$)
N_o = minerale stikstof die in het hele jaar ter beschikking komt ($kg.ha^{-1}.jaar^{-1}N$)
N_{pl} = opname van stikstof door het gewas ($kg.ha^{-1}.jaar^{-1}N$)
α = denitrificatieaktiviteits coëfficiënt

De waarde van α varieerde met grondsoort en vochtgehalte. Van denitrificatie bij zwaar bemeste percelen is onvoldoende bekend om waarden voor α te kunnen invoeren in (8.5) of de denitrificatie op een andere wijze onafhankelijk te berekenen.

8.2. Situatie op Gortel

In de voorgaande hoofdstukken is achtereenvolgens de kwantitatieve bijdrage berekend van de verschillende posten in de minerale stikstofbalans van Gortel, uitgezonderd denitrificatie. Het is nu dus mogelijk om de denitrificatie te berekenen als sluitpost van de balans. Het nadeel is uiteraard dat fouten die in andere posten zijn geslopen, accumuleren in de sluitpost. Het berekenen van de denitrificatie is alleen mogelijk voor het jaar 1980/1981, omdat alleen voor dat jaar de uitspoeling kon worden afgeleid uit de gegevens van R.O.C. Cranendonck. De minerale N-balans loopt vanaf het moment van inzaaien in 1980 (begin mei) tot aan de bemonstering en analyse van het bodemvocht op Gortel eind februari. Met behulp van de gevonden relaties in vorige hoofdstukken kan de balans in

principe voor elk bemestingsobject worden berekend. In deze paragraaf zal de balans uitsluitend worden gegeven voor de bemonsterde percelen (tabel 8.1).

Tabel 8.1. Aandeel van de verschillende processen en bronnen in de toevoer en de onttrekking of afvoer van minerale stikstof op Gortel in de periode vanaf 1 mei 1980 - 1 maart 1981 (in: $kg.ha^{-1}.jaar^{-1}N$) (S=stalmestgift in $ton.ha^{-1}.jaar^{-1}$, N=kunstmestgift in $kg.ha^{-1}.jaar^{-1}N$)

Stalmest	0S	0S	0S	0S	50S	100S	150S	200S	200S
Kunstmest	100N	150N	200N	250N	0N	0N	0N	0N	250N
Toevoer:									
1 Stalmest (hoofdst.2)	0	0	0	0	136	273	409	545	545
2 Kunstmest (hoofdst.3)	100	150	200	250	0	0	0	0	250
3 Neerslag (hoofdst.3)	17	17	17	17	17	17	17	17	17
4 Mineralisatie (hoofdst.5)	72	72	72	72	157	241	326	410	410
Totaal	189	239	289	339	310	531	752	972	1222
Onttrekking/Afvoer:									
5 Gewas (hoofdst.6)	89	105	120	130	110	139	147	148	148
6 Wortels,stoppels (hst.4)	15	18	20	22	18	23	24	25	25
7 NH_3-vervluchtiging(hst.2)	0	0	0	0	14	27	41	54	54
8 Uitspoeling (hoofdst.7)	58	70	84	99	90	160	238	317	414
9 Denitrificatie (hoofdst.8)	27	46	65	88	78	182	302	428	581
	189	239	289	339	310	531	752	972	1222

Voor een correcte berekening van de denitrificatie als sluitpost van de minerale N-balans dient men, naast de in tabel 8.1 vermelde posten, eveneens te beschikken over de voorraad minerale N in de bovenste meter van de bodem aan het begin en aan het einde van de balansperiode. Deze gegevens ontbreken echter. Voorlopig zal dus op basis van de in tabel 8.1 beschikbare gegevens inzicht moeten worden verkregen in de denitrificatie. Het procentuele aandeel van de denitrificatie in de totale omloop van minerale stikstof is daartoe berekend, evenals de waarde van α uit verg. 8.5 (zie tabel 8.2).

Tabel 8.2. Minerale stikstof in omloop (N_o), denitrificatie (N_d) en denitrificatie-aktiviteitscoëfficient (α) voor de verschillende bemestingsobjecten op Gortel in het seizoen 1980/1981 (N_d berekend in % van N_o)

Bemestingsobject		N_o	N_d		α
stalmest	kunstmest	(kgN)	(kgN)	(%)	(-)
0S	100N	189	27	14	0,27
-	150N	239	46	19	0,34
-	200N	289	65	22	0,38
-	250N	339	88	26	0,42
50S	0N	296	78	26	0,42
100S	-	504	182	36	0,50
150S	-	711	302	42	0,54
200S	-	918	428	47	0,56
200S	250N	1168	581	50	0,57

Uit de berekeningen blijkt dat de denitrificatie sterk stijgt bij toenemende N-doseringen. Dat geldt zowel voor de kunstmestobjecten als voor de stalmest-objecten. De denitrificatie op de Gortel wordt in het algemeen begunstigd door de goede vochtvoorziening in het groeiseizoen als gevolg van beregening in perioden met vochttekorten. Zeker op percelen die door bemesting goed worden voorzien van organische stof mag daarom een belangrijke denitrificatie worden verwacht.

Voor een betrouwbaarder inzicht in de omvang van de denitrificatie zal echter over de andere grote post aan de afvoerzijde, namelijk de uitspoeling, meer met zekerheid bekend moeten zijn, evenals over de voorraad minerale stikstof in de bodemlaag tot 1 meter aan begin en einde van de balansperiode.

De orde van grootte van de denitrificatie bij de kunstmestobjecten lijkt alleszins plausibel. De toenemende denitrificatie bij een hoger niveau van organische stofvoorziening ligt in de lijn der verwachtingen.

Wordt niet de minerale N in beschouwing genomen maar de totale stikstof dan luidt de balansvergelijking:

Toevoer = Afvoer + verandering N-voorraad of:

$$N_{stalmest} + N_{kunstmest} + N_{neerslag} = N_{pl} + N_{vervl.} + N_{uitsp.} + N_d + dN_{hum}$$

waarbij dN_{hum} slaat op de verandering van de humusvoorraad. Wordt deze vergelijking toegepast op de gegevens van het jaar '80/'81 (tabel 8.1) dan resulteert dit in de volgende waarden voor dN_{hum}:

0	ton	stalmest + 100 N object:	- 58	$kg.ha^{-1}.jaar^{-1}$ N
50	"	"	- 5	"
100	"	"	+ 49	"
150	"	"	+ 99	"
200	"	"	+150	"

Het object 0 ton teert dus in op de humusvoorraad, terwijl bij de overige doseringen de humusvoorraad nog steeds stijgt en het 50 ton-object vrijwel in evenwicht is.

Samenvatting

De omvang van de denitrificatie is berekend als sluitpost van de minerale N-balans op Gortel voor het jaar 1980/1981 (tabel 8.1). Het aandeel van het denitrificatieproces in de totale minerale stikstof in omloop is berekend evenals de waarde van de denitrificatie-aktiviteitscoëfficiënt voor de verschillende bemestingsobjecten (tabel 8.2).

9. DISCUSSIE

De in tabel 8.1 gepresenteerde minerale stikstofbalans van de Gortel voor de verschillende bemestingsobjecten is samengesteld uit bijdragen voor de verschillende processen die niet alle even 'hard' zijn. Sommige posten zijn gemeten, andere posten zijn ontleend aan experimenten die elders hebben plaatsgevonden en soms zijn waarden geschat. Een kritische doorlichting kan leiden tot een juiste waardering van de gevonden resultaten en kan goede impulsen geven voor verder onderzoek. In tabel 9.1 is aangegeven of posten van groot of weinig belang zijn voor de minerale stikstofbalans en of zij zijn gemeten op Gortel.

Tabel 9.1. Overzicht van de belangrijkheid van de posten voor de minerale N-balans en of meting op Gortel heeft plaatsgevonden

N-posten	Belangrijkheid	Gemeten op Gortel
1. stalmest	+	+
2. kunstmest	+	+
3. neerslag	-	-
4. mineralisatie/humificatie	+	+
5. gewasopname	+	+
6. wortel- en stoppelresten	-	-
7. vervluchtiging NH_3	±	-
8. uitspoeling in winter	+	±
9. uitspoeling in groeiseizoen	±	-
10. denitrificatie	+	-
11. bergingsverandering mineraal N in bodem	±	-

De samenstelling van de stalmest is gemeten. De praktijk leert echter dat het nemen van een goed mengmonster een moeilijke zaak is.

Bij alle berekeningen is uitgegaan van een gemiddelde samenstelling van de mest, namelijk 5,4 ‰ voor totaal-stikstof. Ook voor 1980 is dit aangehouden. De minst onzekere post is ongetwijfeld de kunstmest. De aanname dat alle N in de neerslag in minerale vorm aanwezig is zal weinig problemen geven, evenmin als de constante jaarlijkse toevoer in de neerslag. Over biologische N-binding door snijmais of op de snijmaisakker is aangenomen dat deze niet plaats vindt. Voor de humificatie- en mineralisatieprocessen is o.a. van belang de verhouding van de fracties minerale stikstof, gemakkelijk mineraliseerbare stikstof en de meer resistente stikstof van de mest. De gemiddelde waarden die hiervoor in de literatuur zijn gegeven hoeven natuurlijk voor een concreet proefveld niet op te gaan. De humificatie- en mineralisatieconstanten voor de organische stof zijn aan de literatuur ontleend, terwijl bovendien is aangenomen dat die voor de stikstofverbindingen gelijk zijn aan die voor de organische stof. Ondanks deze onzekerheden blijken de aannamen te leiden tot een voorspelling van de humus-N in de bodem die in hoge mate overeenkomt met de werkelijk gevonden waarden. In deze nota is gerekend met de gemiddelde mineralisatie, zodat verschillen tussen jaren onderling, bijvoorbeeld als gevolg van warme en koude jaren, niet worden verdisconteerd. Dit kan bijvoorbeeld voor het relatief koude jaar 1980/'81 geleid hebben tot een te hoge waarde voor de mineralisatie en daardoor tot een te hoge denitrificatie. Op de Gortel ligt de stalmest soms 2 à 3 maanden op het veld voordat deze wordt ondergewerkt. Omdat volgens de literatuur slechts 10% van de stikstof in minerale vorm aanwezig is kan de vervluchtiging van NH_3 geen grote vorm aannemen. Op dit punt lijkt echter nader onderzoek gewenst, omdat samenstelling van de mest, mineralisatiesnelheid en klimaat een belangrijke invloed kunnen hebben op de uiteindelijke grootte van de vervluchtiging.

De uitspoeling is kwantitatief een zeer belangrijke post zodat onnauwkeurigheden hierin ook grotere gevolgen hebben dan bij kleinere posten. De eenmalige bemonstering van de laag 1,00-2,25 m-m.v. is onvoldoende voor een betrouwbare waarde voor de winteruitspoeling. Door de zeer lage vochtgehalten in deze laag is slechts een deel van de grondwatervoeding bemonsterd. Bij een vervolgonderzoek zou eveneens de voorraad minerale stikstof in de bodem na het oogsten moeten

worden gemeten, terwijl de bemonstering van het uitgespoelde bodemvocht voor de gehele grondwatervoeding dient te geschieden. Om de denitrificatie daarna zo nauwkeurig mogelijk te kunnen berekenen dient aan het begin van de volgende balansperiode de voorraad minerale N in de bodem te worden vastgesteld.
Een apart probleem is de uitspoeling in de zomerperiode. Het aantal mm's dat wordt afgevoerd kan alleen maar nauwkeurig worden vastgesteld door een intensief meetprogramma voor de vochthuishouding op te zetten. De concentraties in het uitgespoelde bodemvocht kunnen alleen worden verkregen door na de oogst een bemonstering en NO_3^--analyse van de bodemlagen dieper dan 1 meter uit te voeren.

De denitrificatie is in het veld niet direct op een zodanige wijze te meten dat dit een betrouwbaar cijfer oplevert voor een N-balans onderzoek. Volstaan zal dus moeten worden met een nauwkeuriger kwantificeren van de overige posten van de N-balans.

Bij het ontwikkelen van de mathematische vergelijkingen voor de relatie stikstofvoorziening met 1: droge stofproduktie en 2: N-opname in snijmais is aangenomen dat andere bemestende stoffen geen rol spelen. Het is echter een vraag of elke toename in de droge stofproduktie een stikstofeffect is van dierlijke mest of bijvoorbeeld een fosfaateffect danwel een gecombineerd effect. Voor de ontwikkeling van een empirische relatie levert dit echter geen onoverkomelijk probleem.

10. SAMENVATTING

Op het proefveld Gortel van de LBNM vindt sinds 1971 een onderzoek plaats naar de produktie van snijmais in afhankelijkheid van de stalmestdosering en de kunstmestgift. De stalmestgift varieerde van 0 tot 120 $ton.ha^{-1}.jr^{-1}$ in 1971, maar werd daarna verhoogd waarbij de maximale gift op 200 ton kwam te liggen. De kunstmestdosering per stalmestgift loopt uiteen van 0 tot 250 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N. De proef is gelegen op een humusarme zandgrond met een zeer diepe grondwaterstand. Om belangrijke reducties in de gewasproduktie door vochttekort te voorkomen wordt daarom ook beregend. De gegevens van deze proef zijn door K. Dilz ter beschikking gesteld. Aanvullend is door het ICW een NO_3^- bemonstering uitgevoerd op een aantal objecten in februari 1981. In deze nota is de stikstofhuishouding van de bodem geanalyseerd en zijn mathematische benaderingen van de stikstofprocessen geformuleerd. Achtereenvolgens zullen de resultaten van de verschillende hoofdstukken worden behandeld.

Hoofdstuk 2 geeft een benadering voor de NH_3-vervluchtiging uit de op het land gebrachte stalmest. De bijdrage wordt gekwantificeerd met behulp van de resultaten van een Amerikaanse proef, waarbij grote overeenkomst aanwezig is in: mestsoort, samenstelling, bemestingsniveau en klimaat. De vervluchtiging neemt exponentieel met de tijd af. Halfwaardetijden zijn hieruit berekend in afhankelijkheid van de verhouding neerslag-verdamping(hfdst. 2.2). De resultaten zijn vermeld in tabel 2.5 en 2.6. Gemiddeld bedraagt de vervluchtiging ca. 5% van de totale stikstof in de stalmest.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de additionele N-toevoer via neerslag, biologische binding en kunstmest. De toevoer via neerslag wordt gesteld op 20 $kg.ha^{-1}.jr^{-1}$ N en de bijdrage via biologische binding wordt verwaarloosd. De kunstmestgift is bekend.

Op de oogstverliezen en vastlegging van N in stoppels en ondergrondse delen wordt in hoofdstuk 4 ingegaan. De totale omvang van deze posten is gesteld op een zesde van de gewasproduktie aan droge stof, waarbij het totaal-N gehalte geschat is op 1,25%. Voor het ondergrondse (25%) en bovengrondse deel (75%) zijn verschillende humificatieconstanten ingevoerd.

Het meest elementaire onderdeel van deze nota wordt behandeld in hoofdstuk 5: humificatie en mineralisatie. Onderscheid is gemaakt tussen de humusvoorraad bij het begin van de proef (oude humus) en de humus gevormd in de periode vanaf 1971 als gevolg van bemesting en gewasrestanten (jonge humus). Mathematische benaderingen zijn afgeleid voor de berekening van de voorraad jonge humus-N (tabel 5.1; verg. 5.8), de N-mineralisatie uit de jonge humus (verg. 5.9), het restant van de oude humus-N (verg. 5.5) en de N-mineralisatie uit de oude humus (verg. 5.6). Met behulp van deze vergelijkingen zijn de uitgangspunten getoetst door voor twee percelen de voorraad humus-N voor eind 1978 te berekenen en te vergelijken met de gevonden waarden (fig. 5.4). Op grond van de zeer goede resultaten is geconcludeerd dat de gekozen uitgangspunten voor N-humificatie en N-mineralisatie op Gortel leiden tot betrouwbare resultaten. De jaarlijkse N-mineralisatie uit de humus is per jaar voor verschillende bemestingsobjecten berekend (tabel 5.7).

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de snijmaisproduktie. De vochthuishouding in het groeiseizoen blijkt geen beperkende rol van betekenis te hebben gespeeld (tabel 6.3). De droge stofproduktie en de N-opname door snijmais kunnen over het algemeen goed worden beschreven op grond van de ingestraalde warmte. De ingestraalde warmte is daarom als criterium gebruikt om de onderzoeksjaren onder te verdelen in koude, gemiddeld en warme jaren. Mathematische vergelijkingen zijn ontwikkeld om de droge stofproduktie en de N-opname door snijmais te berekenen voor koude, gemiddelde en warme jaren in afhankelijkheid van de hoeveelheid minerale stikstof die in een jaar in omloop komt (verg. 6.9 t/m 6.11 en 6.13 t/m 6.15). Bij de berekeningen is aangenomen dat geen andere groeifactoren dan stikstof en warmte beperkend werken op de ontwikkeling van snijmais.

De uitspoeling van stikstof wordt berekend in hoofdstuk 7. Uitgegaan is van de bemonsteringsresultaten op Gortel in februari 1981 en de gegevens van een vergelijkbaar proefveld te Maarheeze op ROC-Cranendonck. Op grond van de goede overeenkomst tussen de analyses voor vergelijkbare monsters (fig. 7.3) zijn de uitspoelingsgegevens van Cranendonck gebruikt om de uitspoelingsverliezen in de winterperiode van 1980/'81 op Gortel te kwantificeren (fig. 7.5 en 7.6). De uitspoelingsverliezen in de zomerperiode van 1980 zijn benaderd

door de grondwatervoeding in deze periode (tabel 6.3) te vermenigvuldigen met de concentratie die is gemeten als gemiddelde van de najaarsgrondwatervoeding. De totale N-uitspoeling is gegeven in tabel 7.13 en bedraagt ca. 32% van de minerale stikstof die in de periode mei 1980 tot maart 1981 ter beschikking is gekomen.

De omvang van de denitrificatie is in hoofdstuk 8 berekend als sluitpost van de minerale stikstofbalans over het jaar 1980/'81 op Gortel (tabel 8.1). Uit de denitrificatie en het verschil tussen minerale stikstof in omloop en de gewasonttrekking is de denitrificatie-aktiviteitscoëfficiënt berekend (tabel 8.2).

In hoofdstuk 9 worden de verschillende N-posten kritisch doorgelicht op hun hardheid ten aanzien van belangrijkheid en beschikbaarheid van meetgegevens (tabel 9.1). Geconcludeerd kan worden dat voor Gortel nader aandacht dient te worden besteed aan de NH_3-vervluchtiging en vooral aan de uitspoeling in zomer- en winterperiode en de berging van minerale-N in de bodem aan begin en eind van de balansperiode.

De in deze nota gegeven aanzet voor de modellering van de stikstofhuishouding van bouwland met snijmais dient verder uitgewerkt en getoetst te worden op andere proefvelden.

11. VERSLAG BESPREKING CONCEPT-NOTA

Op 14 november 1981 heeft een bespreking plaatsgevonden van de concept-nota met K. Dilz, L.C.N. de la Lande Cremer, G.J. Kolenbrander en W.H. Prins van het IB, L. Sibma van het CABO en P.E. Rijtema van het ICW. Het gesprek heeft geresulteerd in aanvullende gegevens en suggesties voor de verdere aanpak van de stikstofhuishouding van snijmais. Een korte samenvatting van de resultaten worden hierna gegeven.

- De stalmest van Proefboerderij d'Olde Weije die aan de snijmais is toegediend, is eveneens gebruikt bij een proef van W.H. Prins op het aangrenzende grasland. Enkele gegevens over het gehalte aan minerale N (Nm) zijn hiervan beschikbaar.
- Bij de berekening van de NH_3-vervluchtiging wordt gerekend met de biochemische afbraak van organische N. Of deze stikstof ook vrij komt is afhankelijk van het C/N-quotiënt in de mest. Omdat het C/N-quotiënt van de stalmest ca. 11-12 bedraagt, zal de minerale N die ontstaat niet door immobilisatie worden vastgelegd.
  De aanname bij de berekening lijkt dus correct.
- Mineralisatie in het voorjaar van de fractie Ne in de stalmest op de bodem zal naast de straling, eveneens afhankelijk zijn van de temperatuur in de toplaag van de bodem. Over deze temperatuur is weinig bekend. De berekende NH_3-vervluchtiging zal hierdoor kwantitatief weinig veranderen.
- Het stikstofgehalte van wortel en stoppel zal eerder 1,0% zijn van de droge stof dan de gebruikte waarde van 1,25%.
- De wortelmassa van snijmais is op het moment van de oogst al weer kleiner dan enkele weken daarvoor. De berekeningen kunnen dus worden beïnvloed door de keuze van het tijdstip dat als uitgangspunt dient voor de wortelmassa. De consequenties voor de N-balans zijn echter bijzonder gering.
- De afbraak van organische stof wordt beter beschreven door een som van e-machten. De som van de coëfficiënten van deze e-machten voor een bepaalde organische stof is 1. De exponenten geven verschillende halfwaarde-tijden van fracties weer.

- Voor een juiste beschrijving van de afbraak van de humus, die bij de start van de proef aanwezig is, zal geprobeerd worden de voorgeschiedenis van het perceel te achterhalen.
- In verband met de mogelijke verplaatsing van organisch N naar grotere diepten dan 30 cm dient de bepaling van het totaal N- en humusgehalte bij voorkeur tot 60 cm diepte plaats te vinden.
- Het vochtgehalte heeft invloed op de mineralisatie. Verschillen in stalmestgift leiden uiteindelijk tot verschillen in humusgehalte, welke op hun beurt aanleiding geven tot verschillen in vochtgehalte en mineralisatie.
  Het beregenen leidt eveneens tot een andere mineralisatie vergeleken met niet-beregenen.
- De droge stofproduktie van snijmais is niet alleen afhankelijk van de straling, maar ook van de temperatuur. Voor de temperatuur kan gebruik worden gemaakt van het vrijwel lineaire verband tussen de temperatuur en de relatieve CO_2-assimilatiesnelheid (pag. 31, fig. 6.2) in het temperatuurtraject van 10 tot 25°C. Karakterisering van de jaren dient te geschieden op basis van licht en temperatuur (tabel 6.5).
- De maximale lichtinterceptie wordt bij snijmais medio half juli bereikt in plaats van 1e decade juli (tabel 6.1).
- Theoretisch zou het verhang van de curve van N-opname tegen de stikstof in omloop voor koude, normale en warme jaren gelijk moeten zijn; alleen het plafond van de N-opname zou op een verschillend niveau moeten liggen (pag. 45, fig. 6.6 t/m 6.8). Dat dit niet zo is wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de mineralisatiesnelheid van mest en humus voor koude en warme jaren gelijk is gehouden en doordat mogelijk ook uitspoeling in het groeiseizoen een rol speelt.
  Het berekenen van het effect van vocht en temperatuur voor de mineralisatie zal eveneens een betere aanpassing geven.
- Bij de graslandproef van W.H. Prins bedroeg de voorraad mineraal-N in het voorjaar ± 30 kg N per ha, zowel bij 0 als 60 ton stalmest. De eventuele invloed van verschillen in voorraad minerale N in het voorjaar op de N-balans zal waarschijnlijk gering zijn voor de snijmais op Gortel.

- Ondanks beregening zullen er toch perioden met een vochttekort optreden die de droge stofproduktie remmen. Bovendien zal het berekende vochttekort iets groter uitvallen dan in tabel 6.3 is gegeven omdat uit de later vastgestelde vochtkarakteristiek (bijlage 1.2) blijkt dat het beschikbaar bodemvocht ca. 90 mm bedraagt in plaats van 100 mm.

LITERATUUR

BAKKER, Y., 1973. Organische stofnormen en de toepassing hiervan. De Buffer, 1973, nr 3.

BREMNER, J. and K. SHAW, 1958. Denitrification in soil.
1. Methods and investigation. Uit: J. Agr. Sci. 51:22-39.
2. Factors affecting denitrification. Uit: J. Agr. Sci. 51:40-52.

DIJK, H. VAN, 1980. Survey of dutch soil organic matter research with regard to humification and degradation rates in arable land. EEC land use and rural resources management committee soil degradation group. Seminar on soil degradation. 13-18 October 1980 Wageningen, The Netherlands.

DILZ, K. and J. WOLDENDORP, 1960. Distribution and nitrogen balance of N-15 labelled nitrate applied on grass sods. Proc. 8th International Grassland Congress: 150-152.

——— en A. BRAK, 1980. Dierlijke mest en maisteelt. Stikstof 95/96, pag. 388-392.

EUROPESE GEMEENSCHAP, 1978. De mest- en gierverspreiding op landbouwgrond in de EG.
1. Wetenschappelijke basis voor het beperken van de verspreiding en kriteria voor regulerende maatregelen. EEG Brussel-Luxemburg ISBM 92-825-0501-4.

FATHAN, M., L. SIBMA and H. VAN KEULEN, 1977. The influence of wheather conditions on growth and development of a maize crop in the Netherlands. CABO-verslag nr 13.

FOCHT, D.D., 1974. The effect of temperature, pH and aeration on the production of nitrous oxide and gaseous nitrogen. A zero order kinetic model. Soil Science 118, 173-179.

FRISSEL, M.J. and J.A. VAN VEEN, 1981. Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 277 pp.

HANDBOEK VOOR AKKERBOUW II, 1973. Proefstation voor de Akkerbouw, Lelystad-Wageningen.

KÖHNLEIN, J. und H. VETTER, 1953. Ernte Ruckstände und Wurzelbild.

KOLENBRANDER, G.J., 1974. Efficiency of organic manure in increasing soil organic matter content. Trans. 10th Int. Congr. Soil Sci. 2:129-136.

——— 1979. De stikstofbalans van bouwland en grasland en de consumptiesector in Nederland in 1970. Rapport Instituut Bodemvruchtbaarheid no. 3-79.

KORTLEVEN, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Diss. Agr. Univ. Wageningen; Versl. Landbouwk. Onderzoek 69, 109 pp.

LAUER, D.A., D.R. BOULDIN and S.D. KLAUSNER, 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. Uit: J. Environ. Oual. (5).2, 134-141.

LIND, A.M., 1979. Nitrogen in soil water. Uit: Nordic Hydrology, 10, 65-78.

——— 1980. Denitrification in root zone. Uit: Planteavl, Danish Journal of plant and soil science.

RIJTEMA, P.E., 1978. Een benadering voor de stikstofemissie uit het graslandbedrijf. ICW-nota 982.

——— , 1980. Persoonlijke mededeling.

RYZHOVA, I.M., 1979. Effect of nitrate concentration on the rate of soil denitrification. Soviet Soil Science 11, 2: 168-171.

SLUYSMANS, C.M.J. en G.J. KOLENBRANDER, 1976. De stikstofwerking van stalmest op korte en lange termijn. Stikstof, band 7.

STEENVOORDEN, J.H.A.M., 1979. De invloed van een aantal faktoren op de denitrificatie (een literatuurstudie) ICW-nota 1012.

——— and H.P. OOSTEROM, 1979. Natural and artificial sources of nitrogen and phosphate pollution of surface waters in the Netherlands. ICW Technical Bulletin 114.

VEEN, J.A. en FRISSEL, M.J., 1975. Computer simulation model for the behaviour of nitrogen in soil and leaching to groundwater. External Report No. 30. Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw, ITAL.

WIT, C.T. DE et al, 1978. Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. Pudoc, Wageningen.

LIJST VAN SYMBOLEN

Symbool	Betekenis	Eenheid
Nm	hoeveelheid minerale stikstof die in stalmest aanwezig is	ton N/ha
Ne	hoeveelheid organische stikstof in stalmest die binnen 1 jaar mineraliseert	ton N/ha
Nr	hoeveelheid organische stikstof in stalmest die niet binnen 1 jaar mineraliseert Deze stikstof wordt na 1 jaar als humus-stikstof beschouwd	ton N/ha
Nr_t	de hoeveelheid stikstof die in jaar t over is van de residuale fractie Nr	ton N/ha
Nt	totale hoeveelheid stikstof in stalmest	ton N/ha
k1	humificatie-faktor: dat deel van de organische stof dat zich na 1 jaar in de humus bevindt	ton N/ha
k2	mineralisatie-faktor: dat deel van de humus dat jaarlijks mineraliseert	ton N/ha
r	jaarlijkse aanvoer organisch materiaal	ton/ha
y_o	hoeveelheid humus in beginstituatie	ton/ha
y_t	hoeveelheid humus in jaar t	ton/ha
y_{max}	hoeveelheid humus in evenwichtssituatie	ton/ha
$N_{kunstmest}$	hoeveelheid stikstofaanvoer door kunstmest	ton N/ha
N_{regen}	hoeveelheid stikstoftoevoer door regenwater	ton N/ha
P	droge stofproductie aan mais	ton/ha
P_{max}	maximale droge stofproduktie aan mais	ton/ha
$N_{(jong)_t}$	hoeveelheid stikstof in jonge humus in jaar t	ton N/ha
$N_{(oud)_t}$	" " " oude " " " "	ton N/ha
$N_{min(jong)_t}$	hoeveelheid stikstof die uit jonge humus mineraliseert in jaar t	ton N/ha
$N_{min(oud)_t}$	hoeveelheid stikstof die uit oude humus mineraliseert in jaar t	ton N/ha
$N_{min(tot)_t}$	hoeveelheid stikstof die uit de humus mineraliseert in jaar t	ton N/ha
No_t	hoeveelheid minerale stikstof die in jaar t vrijkomt in de bouwvoor	ton N/ha
Npl	hoeveelheid stikstof die door de plant wordt opgenomen	ton N/ha

Symbool	Betekenis	Eenheid
$Npl_{(max)}$	de maximale N-opname in het gewas voor de geldende produktie-omstandigheden en maximale N-voorziening	ton N/ha
Nv	hoeveelheid stikstof die vervluchtigt als de mest op het land ligt	ton N/ha
α	denitrificatie aktiviteitscoëfficiënt	-

Bijlage 1.1

ENKELE ALGEMENE GEGEVENS MET BETREKKING TOT DE SNIJMAISPROEF OP HET CENTRAAL STIKSTOFPROEFVELD TE GORTEL

Steeds werd het snijmaisras Capella verbouwd

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Stalmestbemesting	19/3	25/2	25/1	19/2	12/3	18/3	8/3	31/3	28/3
Basisbemesting	19/4	22/4	25/4	25/4	24/4	27/4	25/4	27/4	8/5
N-bemesting 1e	19/4	20/4	25/4	25/4	25/4	3/5	29/4	2/5	10/5
2e	--	2/6	4/6	19/6	28/5	14/6	10/6	8/6	18/6
3e	--	18/7	4/7	19/7	9/7	30/6	6/7	10/7	12/7
Ploegdatum	29/3	7/3	16/3	27/3	10/4	25/3	14/3	19/4	7/5
Zaaidatum	28/4	24/4	27/4	29/4	28/4	4/5	2/5	3/5	14/5
Oogstdatum	1/10	15/10	28/9	18/10	26/9	28/9	25/10	20/10	19/10
Onkruidbestrijding	3/5	28/4	2/5	3/5	10/6+	10/5	9/5	8/5	23/5
In groeiseizoen					20/6				
totaal mm regen	286	430	383	565	250	201	385	382	299
totaal mm beregend	42	51	42	18	224	233	25	125	47
Hoeveelheid kalk									
gestrooid kg/ha	0	0	800	2000	1750	2000	1000	500	500
kg borax/ha	10	10	10	10	10	10	10	0	10

De kunstmest-N werd gedeeld gegeven volgens onderstaand schema (vanaf 1972)

voor zaaien	50	100	100	100	100
na opkomst			50	100	100
ca. 50 cm hoogte					50
	50	100	150	200	250 kg N/ha

VOCHTKARAKTERISTIEK EN VOLUMEGEWICHT VAN DE GROND OP GORTEL OP MEERDERE DIEPTES

Monstername: 23 okt. 1980 H. FONCK

Diepte	0-15 cm (7 cm)				15-25 cm (20 cm)				25-40 cm (30 cm)				40-50 cm (45 cm)			
	I	II	III	Gem.	I	II	III	Gem.	I	II	III	Gem.	I	II	III	Gem.
pF 'Veld'	30,0	29,3	27,0	28,8	24,0	25,7	26,0	25,2	22,3	22,3	23,2	22,6	11,9	11,1	13,1	12,0
0,5	34,4	34,3	37,6	35,4	37,8	34,2	37,6	36,5	39,9	37,9	38,4	38,7	37,9	37,5	35,9	37,1
1,0	33,6	33,7	36,4	34,6	36,5	33,4	36,5	35,5	39,4	37,3	37,7	38,1	35,9	36,4	34,3	35,5
1,5	33,4	33,5	34,8	33,9	30,2	32,4	34,7	32,4	34,2	32,3	34,5	33,7	26,3	25,7	28,1	26,7
2,0	30,3	29,9	25,5	28,6	23,2	26,7	26,7	25,5	21,9	21,5	23,0	22,1	10,4	9,5	11,5	10,5
2,3	24,7	25,7	21,0	23,8	19,8	22,8	22,3	21,6	16,2	15,6	16,7	16,2	6,0	5,6	6,4	6,0
2,7	21,9	23,7	19,0	21,5	17,8	20,5	20,7	19,7	13,3	13,1	13,7	13,4	5,0	4,6	5,4	5,0
3,4				11,9				12,3				12,7				3,9
4,2				5,2				6,7				7,7				3,1
Volume-gewicht	1,615	1,604	1,546	1,588	1,498	1,606	1,534	1,546	1,495	1,520	1,509	1,508	1,590	1,589	1,633	1,604

Diepte	50-70 cm (60 cm)				70-130 cm(80 cm)				130-160 cm (145 cm)			
	I	II	III	Gem.	I	II	III	Gem.	I	II	III	Gem.
pF 'Veld'	7,5	8,1	6,3	7,3	2,5	3,0	2,4	2,6	5,0	4,5	4,2	4,6
0,5	39,5	38,6	38,0	38,7	35,7	36,3	35,7	35,9	31,3	30,1	30,2	30,5
1,0	36,6	35,5	35,8	36,0	33,0	33,8	32,5	33,1	29,3	28,7	28,5	28,8
1,5	15,1	15,4	12,2	14,2	6,1	7,4	6,2	6,6	24,6	25,3	22,1	24,0
2,0	6,2	6,0	4,7	5,6	2,5	3,7	2,6	2,9	3,3	3,0	7,4	4,6
2,3	3,1	3,1	2,9	3,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,5	1,2	1,8	1,5
2,7	2,4	2,4	2,4	2,4	0,7	0,5	0,7	0,6	1,2	1,1	1,2	1,2
Volume-gewicht	1,544	1,564	1,585	1,564	1,631	1,636	1,610	1,626	1,654	1,682	1,675	1,670

De vochtcijfers zijn weergegeven in volume-procenten

De volume-gewichten zijn weergegeven in grammen per cm^3

Beschikbaar bodemvocht tussen pF = 2,0 en pF = 4,2 bedraagt:

laag	beschikbaar	cumulatief
0 - 15 cm	35,1 mm	35,1 mm
15 - 25 "	18,8 "	53,9 "
25 - 40 "	21,6 "	75,5 "
40 - 50 "	6,6 "	82,1 "
50 - 70 "	6,8 "	88,9

Bijlage 2.1

STALMESTANALYSES VOOR HET CENTRAAL STIKSTOFPROEFVELD TE GORTEL

toed. datum	% ds	% in het verse materiaal: ruw as	N-tot.	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	Cl
1971	geen monsters								
1972 (21/2)									
50 stm	17,6		0,60	0,18	0,34		0,10		
100 stm	18,7		0,65	0,18	0,34		0,10		
150 stm	16,9		0,60	0,18	0,32		0,11		
200 stm	17,6		0,61	0,18	0,31		0,10		
gem.	17,7		0,62	0,18	0,33		0,10		
1973 (25/1)									
50 stm, 100 stm	17,2		0,60	0,10	0,41		0,10		
150 stm, 200 stm	17,4		0,57	0,08	0,39		0,08		
gem.	17,3		0,59	0,09	0,40		0,09		
1974 (19/2)									
50 stm	18,3	5,3	0,56	0,41	0,29				
100 stm	18,5	6,7	0,49	0,39	0,30				
150 stm	15,8	4,8	0,51	0,47	0,28				
200 stm	17,6	5,1	0,51	0,40	0,28				
gem.	17,6	5,5	0,52	0,42	0,29	0,43	0,16	0,06	0,14
1975 (12/3)									
50 stm	16,4	3,2	0,47	0,36	0,33	0,34	0,15	0,03	0,11
100 stm	15,2	3,1	0,47	0,42	0,28	0,42	0,13	0,03	0,08
150 stm	16,8	4,6	0,52	0,39	0,38	0,38	0,15	0,03	0,15
200 stm	15,7	3,7	0,48	0,36	0,34	0,34	0,13	0,03	0,10
gem.	16,0	3,7	0,49	0,38	0,33	0,37	0,14	0,03	0,11
1976 (18/3)									
50 stm	18,2	6,6	0,51	0,37	0,38	0,49	0,15	0,04	0,13
100 stm	21,7	9,5	0,47	0,36	0,37	0,47	0,15	0,05	0,14
150 stm	23,4	11,6	0,62	0,42	0,44	0,54	0,20	0,05	0,13
200 stm	18,5	6,9	0,52	0,40	0,38	0,52	0,16	0,05	0,16
gem.	20,5	8,7	0,53	0,39	0,39	0,51	0,17	0,05	0,14
1977 (8/3)									
50 stm	15,5	3,4	0,52	0,21	0,36	0,22	0,09	0,05	0,50
100 stm	15,8	5,0	0,45	0,20	0,34	0,24	0,10	0,05	0,49
150 stm	17,8	5,4	0,48	0,24	0,35	0,27	0,12	0,06	0,56
200 stm	19,9	8,2	0,49	0,29	0,32	0,43	0,14	0,05	0,48
gem.	17,3	5,5	0,49	0,24	0,34	0,29	0,11	0,05	0,51

Vervolg Stalmestanalyses voor het Centraal Stikstofproefveld te Gortel

		% in het verse materiaal							
	% ds	ruw as	N-tot.	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	Cl
1978 (31/3)									
50 stm	15,9	3,3	0,50	0,23	0,39	0,28	0,13	0,07	0,14
100 stm	17,0	3,9	0,51	0,27	0,39	0,27	0,13	0,06	0,14
150 stm	17,5	5,5	0,53	0,25	0,36	0,22	0,11	0,07	0,14
200 stm	16,7	4,7	0,50	0,30	0,36	0,25	0,13	0,07	0,14
gem.	16,8	4,4	0,51	0,26	0,38	0,26	0,13	0,07	0,14
1979 (29/3)									
50 stm	20,3	4,1	0,62	0,39	0,51	0,40	0,15	0,11	0,28
100 stm	20,2	3,9	0,71	0,34	0,48	0,35	0,13	0,10	0,24
150 stm	17,2	3,8	0,44	0,26	0,30	0,33	0,10	0,07	0,15
200 stm	19,5	4,5	0,56	0,29	0,46	0,36	0,11	0,11	0,28
gem.	19,3	4,1	0,58	0,32	0,44	0,36	0,12	0,10	0,24

De stalmest was steeds afkomstig van proefboerderij De Olde Weije, waar in de ligboxenstal het systeem gescheiden gier en mest bewaring werd toegepast. De vaste mest met iets stro geproduceerd in herfst en winter voorafgaand aan de toedieningsdatum werd steeds gebruikt.

ad: Bijlage 6.1.

WATERBALANS VOOR GORTEL

Op 23 oktober 1980 zijn monsters genomen om een pF-curve per laag te kunnen maken.

Uit deze pF-curven blijkt dat tussen

0 - 30	cm	diepte	73	mm	vocht	voor	de	plant	beschikbaar is
0 - 40	"	"	80	"	"	"	"	"	" "
0 - 50	"	"	92	"	"	"	"	"	" "
0 - 60	"	"	99	"	"	"	"	"	" "
0 - 70	"	"	106	"	"	"	"	"	" "

De grond is tot 30 cm zwaar humeus, daaronder is een inspoelhorizont.

WATERBALANS PER DECADE VOOR GORTEL IN DE PERIODE 1972 t/m FEBR. 1981

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1972	januari	1	0		0	0			
		2	8		2	0,6			
		3	26		2	0,6			
	februari	1	13,5		4	1,2			
		2	10,0		5	1,5			
		3	12,5		5	1,5			
	maart	1	22,0		12	3,6			
		2	0		20	6			
		3	17,0		22	6,6			
	april	1	40,0		22	6,6			
		2	46,5		22	6,6		100	
gezaaid→		3	11		27	8,1	100	100	2,9
	mei	1	6	15	33	16,8	100	100	4,2
		2	35,5	0	29	19,5	100	100	16
		3	45		41	22,2	100	100	22,8
	juni	1	22		33	28,0	100	94	0
		2	25,5		40	24,0	94	95,5	
		3	52		33	36,9	95,5	100	10,6
	juli	1	56,0		31	31	100	100	25
		2	4,0	18	50	50	100	72	
		3	36,5		28	28	72	80,5	
	augustus	1	28,5		31	31	80,5	78	
		2	44,5		29	29	78	93,5	
		3	1,5		31	31	93,5	64	
	september	1	0	18	22	22	64	60	
		2	62		18	18	60	100	4
		3	0		15	15	100	85	
1e nachtvorst	oktober	1	0		15	15	85	70	
oogst→		2	0		9	3	70	67	
		3	30		7	2,1	67	94,9	
	november	1	29		3	0,9	94,9	100	23
		2	48		3	0,9	100	100	47,1
		3	35		2	0,6	100	100	34,4
	december	1	11,5		4	1,2	100	100	10,3
		2	10		0	0	100	100	10
		3	0		0	0	100	100	0

Bijlage 6.1 vervolg

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1973	januari	1	1		0	0	100	100	1
		2	3		1	0,3	100	100	27
		3	19,5		2	0,6	100	100	18,9
	februari	1	19,5		2	0,6	100	100	18,9
		2	52		5	1,5	100	100	50,5
		3	7		5	1,5	100	100	5,5
	maart	1	19		11	3,3	100	100	15,7
		2	2		14	4,2	100	97,8	
		3	7		18	5,4	97,8	99,4	
	april	1	68		22	6,6	99,4	100	60,8
		2	21		20	6	100	100	15
gezaaid→		3	17		26	7,8	100	100	9,2
	mei	1	32		28	11,2	100	100	20,8
		2	15		39	19,5	100	95,5	
		3	30,5		40	24,0	100	100	2
	juni	1	20		35	24,5	100	95,5	
		2	0		46	36,8	95,5	58,7	
		3	5	18	55	49,5	58,7	32,2	
	juli	1	0	24	49	49	32,2	7,2	
		2	36		30	30	7,2	13,2	
		3	40,5		35	35	13,7	18,7	
	augustus	1	31,5		37	37	18,7	13,2	
		2	0		41	41	13,2	0	-27,8
		3	39		34	34	0	5	
	september	1	12,5		23	23	5	0	- 5,5
		2	28,5		24	24	0	4,5	
		3	91		14	14	4,5	81,5	
	oktober	1	9		11	11	81,5	79,5	
		2	53		7	7	79,5	100	25,5
geoogst→		3	37,5		6	6	100	100	31,5
	le vorst								
	november	1	21,5		4	1,2	100	100	20,3
		2	37		5	1,5	100	100	35,5
		3	22		0	0	100	100	22
	december	1	28,5		0	0	100	100	28,5
		2	37		2	0,6	100	100	36,4
		3	6		0	0	100	100	6

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1974	januari	1	21,5		0	0	100	100	21,5
		2	35		4	1,2	100	100	33,8
		3	9		1	0,3	100	100	8,7
	februari	1	5		5	1,5	100	100	3,5
		2	24		7	2,1	100	100	21,9
		3	7		5	1,5	100	100	5,5
	maart	1	18		9	2,7	100	100	15,3
		2	36		12	3,6	100	100	32,4
		3	10		21	6,3	100	100	3,7
	april	1	0		32	9,6	100	90,4	
		2	0		30	9	90,4	81,4	
gezaaid→		3	18		24	7,2	81,4	92,2	
	mei	1	7		25	10,0	92,2	89,2	
		2	38,5		41	20,5	89,2	100	7,2
		3	19,5		37	24,0	100	95,5	
	juni	1	39		39	27,3	95,5	100	7,2
		2	30,5		45	36,0	100	94,5	
		3	7,5	18	36	32,4	94,5	87,6	
	juli	1	57		34	34	87,6	100	10,6
		2	41		33	33	100	100	8
		3	29		39	39	100	90	
	augustus	1	39		32	32	90	97	
		2	48,5		32	32	97	100	13,5
		3	8,5		34	34	100	74,5	
	september	1	63,5		22	22	74,5	100	16
		2	9		19	19	100	90	
		3	71		13	13	90	100	48
	oktober	1	34		9	9	100	100	25
oogst→		2	32,5		6	6	100	100	26,5
le vorst		3	76		6	1,8	100	100	74,2
	november	1	22,5		3	0,9	100	100	21,6
		2	39,5		4	1,2	100	100	38,3
		3	54		2	0,6	100	100	53,4
	december	1	37,5		3	0,9	100	100	36,6
		2	66,5		3	0,9	100	100	65,6
		3	50,0		2	0,6	100	100	49,4

Bijlage 6.1 vervolg

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1975	januari	1	24,5		1	0,3	100	100	24,2
		2	27,5		3	0,9	100	100	26,6
		3	50,5		4	1,2	100	100	49,3
	februari	1	11		3	0,9	100	100	10,1
		2	20		5	1,5	100	100	18,5
		3	0		8	2,4	100	97,6	
	maart	1	26,5		10	3	97,6	100	21,1
		2	21,5		11	3,3	100	100	18,2
		3	48,5		17	5,1	100	100	43,4
	april	1	43		17	5,1	100	100	37,9
		2	26,5		18	5,4	100	100	21,1
gezaaid→		3	9		26	7,8	100	100	1,2
	mei	1	17,5		31	12,4	100	100	5,1
		2	27		32	16	100	100	11
		3	3		40	24	100	79	
	juni	1	9,5		44	30,8	79	57,7	
		2	20	20	45	36	57,7	61,7	
		3	12,5	20	41	36,9	61,7	57,3	
	juli	1	31	25	47	47	57,3	66,3	
		2	32		37	37	66,3	61,3	
		3	14,5		44	44	61,3	31,8	
	augustus	1	0	55	60	60	31,8	26,8	
		2	8		36	36	26,8	0	-1,2
		3	12,5	62	35	35	0	39,5	
	september	1	15,5	42	23	23	39,5	74	
		2	21		21	21	74	74	
geoogst→		3	34		22	22	74	86	
	oktober	1	15		12	3,6	86	97,4	
		2	22		8	2,4	97,4	100	17
		3	1		5	1,5	100	99,5	
	november	1	9,5		2	0,6	99,5	100	8,4
		2	43		1	0,3	100	100	42,7
1e vorst		3	47,5		1	0,3	100	100	47,2
	december	1	21		1	0,3	100	100	20,7
		2	0		0	0	100	100	
		3	17		1	0,3	100	100	16,7

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1976	januari	1	49		3	0,9	100	100	48,1
		2	49,5		3	0,9	100	100	48,6
		3	23		3	0,9	100	100	22,1
	februari	1	3		4	1,2	100	100	1,8
		2	21,5		5	1,5	100	100	20
		3	0		5	1,5	100	98,5	
	maart	1	9		12	3,6	98,5	100	3,9
		2	3		13	3,9	100	99,1	
		3	29		19	5,7	99,1	100	22,4
	april	1	6		20	6,0	100	100	
		2	0		30	9,0	100	91	
		3	0		31	9,3	91	81,7	
gezaaid→mei		1	8,5	12	40	16	81,7	86,2	
		2	17,5	16	39	19,5	86,2	100	0,2
		3	16,5		38	22,8	100	93,7	
	juni	1	8,5		45	31,5	93,7	70,7	
		2	31	54	43	34,4	70,7	100	21,3
		3	0	23	65	58,5	100	64,5	
	juli	1	0	52	60	60	64,5	56,5	
		2	30	20	40	40	56,5	66,5	
		3	14,5		35	35	66,5	46	
	augustus	1	19	23	35	35	46	53	
		2	13,5	23	41	41	53	48,5	
		3	13,5		43	43	48,5	19	
	september	1	22,5		21	21	19	20,5	
		2	11,5		18	18	20,5	14	
geoogst→		3	15		17	17	14	12	
	oktober	1	17		12	3,6	12	25,4	
		2	7,5		9	2,7	25,4	30,2	
		3	5,5		6	1,8	30,2	33,9	
	november	1	26,5		5	1,5	33,9	58,9	
		2	7,5		2	0,6	58,9	65,8	
le vorst		3	22		3	0,9	65,8	86,9	
	december	1	47,5		0	0	86,9	100	34,4
		2	24,5		0	0	100	100	24,5
		3	8,5		0	0	100	100	8,5

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1977	januari	1	26,5		0	0	100	100	26,5
		2	12		0	0	100	100	12
		3	29		0	0	100	100	29
	februari	1	29,5		4	1,2	100	100	28,3
		2	6		6	1,8	100	100	4,2
		3	44		5	1,5	100	100	42,5
	maart	1	6,5		14	4,2	100	100	2,3
		2	24		15	4,5	100	100	19,5
		3	15,5		18	5,4	100	100	10,1
	april	1	27,5		18	5,4	100	100	22,1
		2	22		22	6,6	100	100	15,4
		3	11		27	8,1	100	100	2,9
gezaaid→	mei	1	35		25	10	100	100	25
		2	29		35	17,5	100	100	11,5
		3	0		60	36	100	64	
	juni	1	22		33	23,1	64	62,9	
		2	27,5		34	27,2	62,9	63,2	
		3	17		32	28,8	63,2	51,4	
	juli	1	2		48	48	51,4	5,4	
		2	11	25	38	38	5,4	3,4	
		3	28		32	32	3,4	0	- 0,6
	augustus	1	9		27	27	0	0	-18
		2	64,5		23	23	0	41,5	
		3	64		29	29	41,5	76,5	
	september	1	4,5		21	21	76,5	60	
		2	4		20	20	60	44	
		3	43		14	14	44	73	
	oktober	1	22		13	13	73	82	
		2	1		8	8	82	75	
geoogst→		3	7,5		6	6	75	76,5	
	november	1	41		6	1,8	76,5	100	15,7
		2	69		5	1,5	100	100	67,5
1e vorst		3	63,5		1	0,3	100	100	63,2
	december	1	3		0	0	100	100	3
		2	12		0	0	100	100	12
		3	41		4	1,2	100	100	39,8

Maand		Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1978	januari	1	14,0		1	0,3	100	100	13,7
		2	31,0		1	0,3	100	100	30,7
		3	31,9		2	0,6	100	100	31,3
	februari	1	16,6		3	0,9	100	100	15,7
		2	5,1		4	1,2	100	100	3,9
		3	7,2		6	1,8	100	100	5,4
	maart	1	12,7		11	3,3	100	100	9,4
		2	45,6		15	4,5	100	100	41,1
		3	37,5		17	5,1	100	100	32,4
	april	1	0,6		21	6,3	100	94,3	
		2	18,8		22	6,6	95,3	100	6,5
		3	11,7		27	8,1	100	100	3,6
gezaaid→mei		1	3,4		27	10,8	100	92,6	
		2	23,2		30	15,0	92,6	100	0,8
		3	1,4	25	39	23,4	100	100	3
	juni	1	11,1	25	43	30,1	100	100	6
		2	10,8	25	42	33,6	100	100	2,2
		3	35,5	50	29	26,1	100	100	59,4
	juli	1	63,6		26	26	100	100	37,6
		2	6,5		33	33	100	73,5	
		3	6,9		45	45	73,5	35,4	
	augustus	1	15,9		25	25	35,4	26,3	
		2	10,3		31	31	26,3	5,6	
		3	31,2		27	27	5,6	9,8	
	september	1	17,9		21	21	9,8	6,7	
		2	18,8		21	21	6,7	4,5	
		3	59,0		13	13	4,5	50,5	
	oktober	1	21,7		10	10	50,5	62,2	
geoogst→		2	8,4		8	8	62,2	62,6	
		3	9,4		6	1,8	62,6	70,2	
	november	1	5,9		2	0,6	70,2	75,5	
		2	6,8		3	0,9	75,5	81,4	
le vorst		3	22,1		1	0,3	81,4	100	3,2
	december	1	8,8		1	0,3	100	100	8,5
		2	40,7		1	0,3	100	100	40,4
		3	50,6		1	0,3	100	100	50,3

Bijlage 6.1 vervolg

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1979	januari	1	21		0	0	100	100	21
		2	11		0	0	100	100	11
		3	10,5		0	0	100	100	10,5
	februari	1	17		2	0,6	100	100	16,4
		2	20,5		4	1,2	100	100	19,3
		3	0		3	0,9	100	99,1	
	maart	1	34,5		12	3,6	99,1	100	30
		2	25,5		11	3,3	100	100	22,2
		3	26		19	5,7	100	100	20,3
	april	1	17		19	5,7	100	100	11,3
		2	5,5		26	7,8	100	97,7	
		3	52,5		21	6,3	97,7	100	43,9
	mei	1	32		28	8,4	100	100	23,6
gezaaid→		2	13		36	14,4	100	98,6	
		3	46,5		36	18	98,6	100	27,1
	juni	1	38,5		37	22,2	100	100	16,3
		2	39,5		34	23,8	100	100	15,7
		3	12,5		39	31,2	100	81,3	
	juli	1	8		36	32,4	81,3	56,9	
		2	13	47	30	30	56,9	86,9	
		3	40,5		36	36	86,9	91,4	
	augustus	1	24		31	31	91,4	84,4	
		2	5		23	23	84,4	66,4	
		3	9		30	30	66,4	45,4	
	september	1	14		23	23	45,4	36,4	
		2	6		19	19	36,4	23,4	
		3	1		17	17	23,4	7,4	
	oktober	1	9		12	12	7,4	4,4	
geoogst→		2	29		7	7	4,4	26,4	
		3	8,5		9	2,7	26,4	32,2	
	november	1	63		3	0,9	32,2	94,3	
1e vorst		2	21		1	0,3	94,3	100	15
		3	3		2	0,6	100	100	2,4
	december	1	37		3	0,9	100	100	36,1
		2	72		2	0,6	100	100	71,4
		3	40,5		1	0,3	100	100	40,2

	Maand	Decade	Neerslag	Beregening	E_o	E	Beschikbaar vocht begin	Beschikbaar vocht eind	Doorspoeling
1980	januari	1	26,8		0	0	100	100	26,8
		2	0		0	0	100	100	0
		3	30,2		2	0,6	100	100	29,6
	februari	1	59,3		4	1,2	100	100	58,1
		2	4,1		5	1,5	100	100	2,6
		3	0		6	1,8	100	98,2	0
	maart	1	17,4		9	2,7	98,2	100	12,9
		2	33,0		12	3,6	100	100	29,4
		3	20,6		17	5,1	100	100	15,5
	april	1	38,1		18	5,4	100	100	32,7
		2	8,4		30	9,0	100	99,4	0
		3	11,1		20	6,0	99,4	100	4,5
	mei	1	5,0		39	15,6	100	89,4	
		2	0,1		52	26	89,4	63,5	
		3	10,7		36	21,6	63,5	52,6	
	juni	1	23,0		39	27,3	52,6	48,3	
		2	10,9		36	28,8	48,3	30,4	
		3	44,2		32	28,8	30,4	45,8	
	juli	1	102,5		25	25	45,8	100	23,3
		2	49,1		27	27	100	100	22,1
		3	24,3		44	44	100	80,3	
	augustus	1	8,9		33	33	80,3	56,2	
		2	22,3		25	25	56,2	53,5	
		3	32,1		27	27	53,5	58,6	
	september	1	7,1		24	24	58,6	41,7	
		2	18,3		21	21	41,7	39	
		3	2,0		14	14	39	27	
	oktober	1	38,5		11	11	27	54,5	
		2	13,6		7	7	54,5	61,1	
geoogst		3	26,7		7	7	61,1	80,8	
	november	1	17,0		3	0,9	80,8	96,9	42
		2	49,6		5	1,5	96,9	100	~~26~~,0
		3	27,5		4	1,2	100	100	26,3
	december	1	23,5		2	0,6	100	100	22,9
		2	44,2		2	0,6	100	100	43,6
		3	22,0		2	0,6	100	100	21,4
1981	januari	1	66,6		2	0,6	100	100	66
		2	47,0		2	0,6	100	100	46,4
		3	4,2		2	0,6	100	100	3,6
	februari	1	21,2		4	1,2	100	100	20,0
		2	0		4	1,2	100	98,8	0
		3	1,1		?	?	98,8	?	1

Bijlage 6.2

MINERALE STIKSTOF DIE IN HET HELE JAAR TER BESCHIKKING KOMT (N_o) UIT MINERALISATIE, STALMEST, KUNSTMEST, NEERSLAG EN VERMINDERD MET DE NH_3- VERVLUCHTIGING (in kg. $ha^{-1}.jaar^{-1}$ N) VOOR GORTEL

		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0 stm -	0 N	111	109	108	107	105	104	103	101	100
	50								151	
	100								201	
	150								251	
	200								301	
	250								351	
50 stm -	0 N	290	298	305	311	316	320	324	327	329
	50								377	
	100								427	
	150								477	
	200								527	
	250								577	
100 stm -	0 N	469	486	501	514	526	536	544	552	558
	50								602	
	100								652	
	150								702	
	200								752	
	250								802	
150 stm -	0 N	647	674	698	718	736	751	765	776	787
	50								826	
	100								876	
	150								926	
	200								976	
	250								1026	
200 stm -	0 N	826	862	894	921	945	967	985	1001	1015
	50								1051	
	100								1101	
	150								1151	
	200								1201	
	250								1251	

AANBOD VAN MINERALE STIKSTOF GEDURENDE GROEISEIZOEN BEREKEND VOOR PERCELEN OP . GORTEL

		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0 stm -	0 N	73	73	72	71	70	70	68	67	66
	50							118		
	100							168		
	150							218		
	200							268		
	250							318		
50 stm -	0 N	203	209	214	218	222	224	227	229	230
100 stm -	0 N	332	344	355	364	372	379	385	391	395
150 stm -	0 N	461	480	497	511	523	534	544	551	559
200 stm -	0 N	590	616	638	657	674	689	702	713	723

Bijlage 6.4

AANBOD VAN MINERALE STIKSTOF GEDURENDE WINTERSEIZOEN BEREKEND VOOR PERCELEN OP GORTEL

		1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
0 stm -	0 N	37	37	36	36	36	35	35	34	33
	50							35		
	100							35		
	150							35		
	200							35		
	250							35		
50 stm -	0 N	87	89	91	93	95	96	97	98	99
100 stm -	0 N	137	142	146	150	154	157	159	162	163
150 stm -	0 N	186	194	201	207	213	217	221	225	228
200 stm -	0 N	236	246	256	264	271	278	283	288	293