

32/446 (173) 2^e k.

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**Berekende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van
grondsoort**

**G.H. Ruitenber
F.A. Wopereis
O. Oenema**

Rapport 173



**NMI Nederlands Meststoffen Instituut/DLO-Staring Centrum
Haren/Wageningen, 1991**

23

+ 3 krt.

18n 546259*

REFERAAT

G.H. Ruitenbergh, F.A. Wopereis en O. Oenema, 1991. *Berekende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort*. Nederlands Meststoffen Instituut NMI te Haren en DLO-Staring Centrum te Wageningen. Rapport 173. 62 blz. 14 fig.; 18 tab.; 3 kaarten.

Voor al het intensief gebruikte grasland in Nederland is per grondsoort de economische optimale stikstofgift berekend. Grondsoorten zijn onderscheiden op basis van het "schijnbaar" stikstofleverend vermogen van de grond, de efficiëntie waarmee toegediende stikstof op die grond door het gras wordt opgenomen en het vochtleverend vermogen van de grond. Verschillen in optimale stikstofgift tussen grondsoorten zijn groot; tussen sommige grondsoorten bedraagt het verschil meer dan 300 kg stikstof per ha per jaar. Als gevolg van verschillen in weersomstandigheden kunnen berekende optimale stikstofgift per grondsoort tussen jaren aanzienlijke verschillen. In totaal zijn 10 klassen van economische optimale stikstofgift onderscheiden. Met behulp van het Geografisch Informatie Systeem van het SC-DLO is ook voor elk bodemtype van de 1 : 250 000 Bodemkaart van Nederland de optimale stikstofgift voor intensief gebruik grasland berekend. De resultaten van deze studie zullen bijdragen tot een doelmatiger en milieukundig meer verantwoord gebruik van stikstofmeststoffen op intensief gebruikt grasland.

Trefwoorden: stikstofbemesting, grasland, grondsoorten

ISSN 0924-3070

©1991 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het DLO-Staring Centrum.

INHOUD

VOORWOORD	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	13
2 OPZET EN AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK	15
2.1 Bewerking proefveldresultaten op klei- en veengronden	15
2.2 Berekening optimale N-gift per grondsoort	16
2.3 Vochtleverend vermogen van gronden onder grasland	18
2.4 Bepaling oppervlakte grasland	19
3 STIKSTOFLEVEREND VERMOGEN VAN DE GROND	21
3.1 Achtergrond	21
3.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten	22
3.3 Indeling grondsoorten naar ANS	25
3.4 Indeling bodemeenheden naar ANS	28
4 STIKSTOFGIFT EN STIKSTOFOPNEMING	33
4.1 Achtergrond	33
4.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten	34
4.3 Indeling grondsoorten naar ANR	38
5 STIKSTOFOPNEMING EN DROGE-STOFPRODUKTIE	41
5.1 Achtergrond	41
5.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten	42
5.3 Structuur van simulatiemodel GRAS	43
5.4 Calibratie van simulatiemodel GRAS	46
5.5 Resultaten gevoeligheidsanalyse simulatiemodel GRAS	50
6 STIKSTOFGIFT EN DROGE-STOFOPBRENGST	53
6.1 Achtergrond	53
6.2 Berekende optimale stikstofgift per grondsoort	53
6.3 Berekende optimale N-gift per bodemeenheid	54
LITERATUUR	59
FIGUREN	
1 Verband tussen N-gift en N-opneming (kwadrant 4), N-opneming en droge-stofopbrengst (kwadrant 1) en tussen N-gift en droge-stofopbrengst (kwadrant 2)	17
2 'N-leverend vermogen' van de grond (ANS in kg N per ha) op de proefvelden BZ25, PR844 en PR229/387	22
3 Relatie tussen het percentage klaver in het grasbestand en het 'N-leverend vermogen' van de grond (ANS), in kg per ha per jaar	24

4	Relatie tussen organische-stofgehalte en het 'N-leverend vermogen' (ANS) van zavel- en kleigronden bij een gemiddelde GHG (31 cm) en GLG (129 cm))	24
5	'N-leverend vermogen' van de grond (ANS, in kg per ha) op beregende en onberegende controle-objecten	26
6	Relatie tussen N-gift en N-opneming per grondwatertrap in NMI/IB-, PR- en LUW-proeven op zavel- en kleigronden; figuur (A) Gt V, figuur (B) Gt V* en figuur (C) Gt VI en VII	35
7	Relatie tussen N-gift en N-opneming per grondwatertrap in de PAW-proeven	36
8	Gemiddelde "Apparent N-recovery" (ANR) in de jaren 1962-1989 in PAW-proeven en in NMI/IB-, PR- en LUW-proeven	36
9	Relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor verschillende jaren op proefveld IB 2244	42
10	Relatie tussen het berekende vochttekort tijdens het groeiseizoen en de maximaal behaalde droge-stofopbrengst in een proefjaar, voor een aantal veeljarige proefvelden	43
11	Schematische weergave model GRAS	44
12	Relatie tussen N-gehalte van het gras en lichtbenuttingsefficiëntie of LUE	46
13	Relatie tussen N-gehalte van het gras (g per kg) en 'Transpiration Coefficient' (TC, 1 per kg ds) volgens Nielsen (1963), aangegeven met bolletjes en de onderbroken curve	47
14	Relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven op zavel- en kleigronden die in de jaren 1970-1989 zijn uitgevoerd	49

TABELLEN

1	Overzicht van de bewerkte veeljarige proefseries op klei- en veengronden	15
2	Gradaties van vochtleverend vermogen van de bodem volgens SC-DLO criteria en de samenvoeging van de vijf gradaties tot drie klassen van vochtleverend vermogen zoals toegepast in deze studie	18
3	Lineaire regressievergelijkingen met de gemiddelde ANS van zavel- en kleigronden als te verklaren variabele en organische-stofgehalte (os), slibgehalte (asb) en gemiddelde hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG) als de verklarende variabelen (n=19)	23
4	Gemiddeld 'N-leverend vermogen' (ANS) per grondsoort (kg per ha per jaar) zoals gemeten in veeljarige veldproeven en zoals uiteindelijk afgeleid in deze studie op basis van alle beschikbare proefresultaten, inclusief die van Hassink (1991)	25
5	Gemiddelde Apparent N-recovery (ANR) in veeljarige proeven op zandgronden	37
6	Gemiddelde Apparent N-recovery (ANR) in veeljarige graslandproeven op veengronden	37

7 Gemiddelde Apparent N-recovery (ANR) in de jaren tachtig, berekend op basis van de proeven AMP128, PR229, PR387, IB3180, IB3121, IB3079 en IB2989 op zavel- en kleigronden (18 proefjaren, controle-object was klavervrij)	39
8 Betekenis en dimensie van enkele parameters die gebruikt worden in model GRAS	44
9 Transpiration Coefficient (TC), berekend op basis van proefveld-resultaten op kleigrond	48
10 Droge-stofopbrengst in kg per ha per jaar, in de APM128-proef in 1988, zoals gemeten door Lantinga (1989) en gesimuleerd met GRAS	48
11 Resultaten gevoeligheidsanalyse; verandering in de berekende gemiddelde optimale N-gift, in kg per ha per jaar, ten gevolge van een gesimuleerde positieve afwijking van de modelparameters LAI, LEU en TC van 10 en 20 procent	51
12 Totale variantie in berekende optimale N-gift opgedeeld naar LAI, LUE, TC en jaren, in procenten	51
13 Berekende relatieve verschillen in optimale N-gift voor een zandgrond met een ANS van 200 kg per ha per jaar, een ANR van 80 procent en een vochtleverend vermogen van 125 mm tussen de lokaties in Wageningen, Swifterbant en De Kooy	52
14 Berekende gemiddelde optimale N-gift in kg per ha per jaar voor grondsoorten die op basis van verschillen in ANS, ANR en vochtleverend vermogen zijn onderscheiden	53
15 Berekende gemiddelde optimale N-gift in kg per ha per jaar voor grondsoorten die op basis van verschillen in ANS, ANR en vochtleverend vermogen zijn onderscheiden	54
16 Bruto oppervlakte grasland in ha en in procenten per onderscheiden klasse van berekende optimale N-gift	56
17 Procentuele verdeling van de 12 onderscheiden klassen berekende optimale N-giften over het graslandareaal per regio en landelijk	56
18 Oppervlakten aan grasland in de 14 gebieden van Nederland volgens de Landelijke Grondgebruiksdatabank van Nederland (LGN) en volgens het Centraal Bureau van de Statistiek (CBS)	58

BIJLAGEN

- 1 Vochtleverend vermogen van het Nederlandse graslandareaal
- 2 Globale indeling van de Nederlandse bodemeenheden naar het schijnbaar stikstofleverend vermogen (ANS)
- 3 Berekende optimale stikstofgift voor grasland als functie van het vocht- en schijnbaar stikstofleverend vermogen van de grond

VOORWOORD

In het voorjaar van 1988 heeft de taakgroep Grasland en Ruwvoederonderzoek van de Nederlandse Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO) de werkgroep, 'Verfijning Stikstofbestedingsadvies voor Grasland' ingesteld. Aanleiding daartoe was de constatering dat het huidige advies voor de stikstofbesteding van grasland té globaal is. De werkgroep kreeg als taak de mogelijkheden na te gaan voor verfijning van het advies op basis van de op dat moment beschikbare proefveld-resultaten. Op basis van de bewerking van resultaten afkomstig van veldproeven op zandgrond concludeerde de werkgroep dat verfijning van het advies mogelijk was. Resultaten van veldproeven op klei- en veengronden zijn evenwel niet door de werkgroep bewerkt.

In het voorjaar van 1990 is het NMI gestart met de bewerking van de proefveld-resultaten afkomstig van klei- en veengronden. Daaropvolgend is voor alle grondsoorten de economische optimale stikstofgift voor grasland berekend. Het NMI is daarbij geadviseerd door ir. J. Hassink van IB-DLO, ir. I.G.A.M. Noij van IKC-RSP, mw. ir. G.W.J. van de Ven van CABO-DLO en ing. F.A. Wopereis van SC-DLO.

Het belang van een goede bodemkundige fundering van een advies voor de stikstofbesteding van grasland is vanaf het begin van de studie onderkend. Daarom en vanwege de mogelijkheid om met het Geografische Informatie Systeem van SC-DLO de ruimtelijke variabiliteit in de berekende optimale stikstofgift voor grasland via kaarten visueel aanschouwelijk te maken is gaande deze studie tot samenwerking met SC-DLO besloten. Dit gezamenlijke rapport van NMI en SC-DLO geeft verslag van zowel de studie van de proefveldresultaten afkomstig van klei- en veengronden als van de berekende optimale stikstofgift per grondsoort.

SAMENVATTING

In een gezamenlijk project van het Nederlands Meststoffen Instituut NMI en het DLO-Staring Centrum (SC-DLO) is per grondsoort de economisch optimale stikstofgift voor intensief gebruikt grasland berekend. Als basis voor deze studie dienden de resultaten van veeljarige veldproeven die in Nederland tussen 1960 en 1990 zijn uitgevoerd, resultaten van recente potproeven, de bodemkaart 1 : 250 000 van Nederland en literatuurgegevens.

De economisch optimale N-gift is afgeleid uit de relatie tussen N-gift en drogestofopbrengst van de diverse proefvelden, waarop het gras werd geoogst via maaien. Tussen proefveldlocaties en tussen jaren waren er echter grote verschillen. Na opsplitsing van de relatie tussen N-gift en drogestofopbrengst naar relaties tussen N-gift en N-opneming, en N-opneming en drogestofopbrengst, kon een zeer groot deel van de totale variatie worden toegeschreven aan een viertal factoren. Deze vier factoren waren a) het N-leverend vermogen of 'Apparent N supply' (ANS) van de grond, b) de opneming van de toegediende N in het oogstbare gras of 'Apparent N recovery' (ANR), c) het vochtleverend vermogen van de grond, en d) de weersomstandigheden; regenval (verdeling), straling en temperatuur. De drie eerst genoemde factoren zijn grondsoortafhankelijk. De afhankelijkheid werd afgeleid uit de statistische bewerking van de proefveldresultaten.

Voor de zand-, leem- en kleigronden zijn op basis van het humusgehalte drie hoofdklassen van ANS onderscheiden; 125, 150 en 200 kg N per ha per jaar. Veengronden en moerige gronden zijn onderverdeeld naar grondwater-trap; slecht ontwaterde gronden hebben een ANS van 250 en goed ontwaterde een ANS van 350 kg N per ha per jaar. Aparte klassen zijn onderscheiden voor droogtegevoelige zandgronden, voor pas ingezaaid grasland op voormalig bouwland en voor opnieuw ingezaaid bestaand grasland na ploegen.

Niet veel differentiatie kon worden aangebracht tussen grondsoorten in ANR. Uit recente proefveldresultaten blijkt dat de ANR op zand-, leem- en kleigronden gemiddeld 80 procent is. Uit de deels gedateerde resultaten van proefvelden op veengronden en moerige gronden blijkt dat daar de gemiddelde ANR 60 procent is. Er is geen bevredigende verklaring gevonden voor de soms grote variatie in ANR tussen proeflokaties en jaren.

Voor de berekening van het effect van het vochtleverend vermogen van de grond op de drogestofopbrengst en optimale N-gift is gebruik gemaakt van een simulatiemodel. Het model berekent op basis van gemeten waarden voor temperatuur, straling en regenval per dag de drogestofopbrengst per jaar, als functie van het stikstofgehalte in het gras en het vochtleverend vermogen van de grond. Drie klassen van vochtleverend vermogen zijn onderscheiden, namelijk gering (<100 mm), matig (100-150 mm) en hoog (>150 mm). Deze klassen zijn afgeleid uit de gradaties van vochtleverend vermogen vermeld in de 1 : 250 000 bodemkaart. Uit de vele berekeningen die met het simulatiemodel zijn gemaakt met weersgegevens uit de periode 1970-1990

bleek dat de uitkomsten zeer gevoelig waren voor variaties in twee parameters van het model. Deze parameters zijn 'de efficiëntie waarmee de onderschepte zonnestraling wordt omgezet in droge stof', de zogenoemde 'Light Use Efficiency' (LUE), en 'de transpiratiecoëfficiënt' (TC). Zowel de LUE als TC zijn afhankelijk van het N-gehalte van het gras en beide parameters zijn nog niet voldoende nauwkeurig bekend. Uit de modelberekeningen bleek ook dat de droge-stofopbrengst en de optimale N-gift per lokatie en grondsoort van jaar tot jaar sterk kan verschillen door verschillen in weersomstandigheden.

De economisch optimale N-gift per grondsoort is berekend uit het gesimuleerde verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst voor elk jaar tussen 1970 en 1990, en is daarna per grondsoort gemiddeld. Bij de minerale gronden zijn 9 klassen onderscheiden en bij de veengronden en moerige gronden 6 klassen. In de praktijk blijken een vijftal klassen niet of nauwelijks voor te komen, zodat het aantal werkelijk klassen beperkt is tot 10. Bij een marginale droge-stofopbrengst van 7,5 kg per kg N varieert de berekende economisch optimale N-gift van 280 tot 540 kg per ha per jaar bij minerale gronden en van 70 tot 390 bij de veengronden en moerige gronden. Bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N is de optimale N-gift bijna 100 kg per ha per jaar lager; de variatie is dan 220 tot 455 bij minerale gronden en 0 tot 280 kg per ha per jaar voor veengronden en moerige gronden.

Met behulp van het Geografisch Informatie Systeem (GIS) van het SC-DLO is per bodemeenheid van de 1 : 250 000 bodemkaart van Nederland de optimale N-gift berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn gevisualiseerd via drie kaarten van Nederland in kleur, namelijk een kaart met het vochtleverend vermogen van de grond met 4 legenda-eenheden, een kaart met het N-leverend vermogen van de grond met 11 legenda-eenheden, en een kaart met de economisch optimale N-gift, bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N, met 15 legenda-eenheden.

Voor alle 14 landelijke gebieden die het Centraal Bureau van de Statistiek (CBS) in Nederland onderscheidt, is de oppervlakte grasland berekend per onderscheiden klasse van optimale N-gift. Daarbij is gebruik gemaakt van de Landelijke Grondgebruiksdatabank van Nederland (LGN), waarin voor ieder 25x25 m² oppervlak van Nederland het grondgebruik in 1986 is aangegeven.

Deze studie heeft geleid tot een gedifferentieerd beeld van de N-behoefte van intensief gebruikt grasland. Dat is een grote sprong voorwaarts ten opzichte van de globale richtlijn voor de N-bemesting van grasland die tot eind 1991 in Nederland in gebruik is. Voordat evenwel tot introductie in de praktijk kan worden overgegaan, moet eerst het effect van beweiding op de N-behoefte en de optimale N-gift worden aangegeven, en moet een vertaling plaatsvinden van een optimale N-gift per jaar naar een optimale N-gift per snede. Bovendien moeten de afgeleide optimale N-giften passen binnen de gestelde milieukundige randvoorwaarden.

1 INLEIDING

Het huidige advies voor de bemesting van grasland met stikstof (N) op intensieve bedrijven is 400 kg N per ha per jaar. Het geldt voor alle grondsoorten behalve voor goed ontwaterd veen en klei op veen. Op deze gronden houdt het advies, 250 kg N per ha per jaar, rekening met de hoge N-mineralisatie. Het huidige advies is gebaseerd op de resultaten van groeiverloopprouwen die door het PR en het NMI (Prins et al., 1980) in het begin van de jaren zeventig zijn uitgevoerd. Resultaten van veeljarige veldproeven uitgevoerd door Prins (1983) in de tweede helft van de jaren zeventig gaven een ondersteuning van het advies.

Sindsdien zijn vele aanvullende studies verricht naar de N-bemesting van grasland en naar de benutting van de toegediende N door het gras. De resultaten van deze studies, aangevuld met ervaringen uit de praktijk, hebben veelvuldig geleid tot de constatering dat het huidige advies té globaal en daardoor soms té hoog is. Een te hoge N-bemesting leidt veelal tot hoge N-verliezen. Hoge N-verliezen zijn niet alleen economisch nadelig voor de boer maar kunnen bovenal schadelijk zijn voor de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater en van de atmosfeer.

Een nauwkeurig op de behoefte van het grasland afgestemde N-bemesting vereist een duidelijk inzicht in de grootte van die behoefte. Op basis van een bewerking van resultaten afkomstig van alle tot nu toe uitgevoerde veeljarige veldproeven op zandgronden is geconstateerd dat de economisch optimale N-gift onder andere afhankelijk is van de grondsoort (Noij, 1989). Vooral het N-leverend en vochtleverend vermogen van de grond blijken invloed te hebben op de berekende optimale N-gift.

In dit rapport worden de resultaten besproken van de bewerking van proefveld-resultaten afkomstig van klei- en veengronden. Op basis van deze bewerking en op die voor zandgronden van Noij (1989) is vervolgens voor alle grondsoorten in Nederland de economische optimale N-gift voor grasland berekend, in kg per ha per jaar. Omdat de berekeningen zijn gebaseerd op resultaten van veldproeven die werden gemaaid, geldt de berekende optimale N-gift voor gemaaid grasland. In aanvullende studies worden de aspecten van gebruikswijze van het grasland, verdeling van de N-gift per snede en milieukundige randvoorwaarden behandeld (Vellinga e.a. 1991).

De opzet en afbakening van de onderhavige studie is beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op verschillen tussen grondsoorten in N-leverend vermogen en in hoofdstuk 4 op de variatie in de efficiëntie waarmee de toegediende N wordt opgenomen door het gras. De omzetting van de door het gras opgenomen N in droge stof is beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt de relatie tussen N-gift en droge-stofopbrengst berekend en de optimale N-gift afgeleid. Tevens worden in dit hoofdstuk de oppervlaktes aangegeven waarvoor een bepaald advies geldt.

2 OPZET EN AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK

2.1 Bewerking proefveldresultaten van klei- en veengronden

De bewerking werd uitgevoerd met de resultaten van veeljarige veldproeven op grasland met N-trappen (tabel 1). Deze veldproeven werden uitgevoerd tussen 1961 en 1989. De proeven zijn uitgevoerd door het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij (PR, PAW, BZ, ZV), het Nederlands Meststoffen Instituut NMI onder de vlag van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid IB en de vakgroep Landbouwplantenteelt en Graslandkunde van de Landbouwniversiteit (APM, ALG). In al deze proeven werd het gras geoogst via maaien. In sommige proeven werd geoogst bij maaien op stadium, in andere proeven bij maaien op datum. Maaien op datum geeft in het algemeen een lagere droge-stofopbrengst en N-opneming van het controle-object, het niet-bemeste object, dan bij maaien op stadium. Dit kan tot een (gering) verschil in de berekende optimale N-gift leiden. Bij de bewerking zijn mogelijke verschillen in droge-stofopbrengst en N-opneming door verschillen in het tijdstip van oogsten evenwel verwaarloosd.

Tabel 1 Overzicht van de bewerkte veeljarige proefseries op klei- en veengronden. Voor de volledigheid zijn ook de proefseries op zandgronden, die zijn bewerkt door Noij (1989), in de tabel opgenomen

proef	jaar	proef	jaar
<u>kleigronden</u>			
PAW642	1962-1971	PAW970	1964-1973
IB2032	1973	IB2145	1974
IB2259	1975-1978		
IB2244	1975-1980	PR965	1981-1983
PR229	1985	IB2989	1985
IB3079	1986	PR387	1986-1988
IB3121	1987	IB3133	1987
IB3184	1988	IB3180	1988
BZ25	1982-1988	APM128	1985-1988
PR2531	1989	PR4533	1989
<u>veengronden</u>			
PR5533	1989	PR11	1970-1975
PR891	1980-1985	ZV30	1981-1985
PAW970	1964-1973	PAW644	1962-1971
<u>zandgronden</u>			
PAW643	1962-1971	PR804	1979-1983
IB2146	1974-1979	IB2047	1973-1983
PR49	1982-1984	PR700	1978-1981
PR844	1980-1984	PR1536	1989
PR1535	1989	ALG699	1986-1988

Er is bij de bewerking van de resultaten steeds vanuit gegaan dat andere nutriënten dan N in optimale hoeveelheden beschikbaar waren. Bovendien is aangenomen dat het beheer en het gebruik van het grasland op de proefvelden steeds 'optimaal' is geweest. Dat betekent onder andere dat aangenomen is dat de verdeling van de N-gift over de sneden ongeveer overeenkomt met het patroon van de N-behoefte van het gras over het groeiseizoen. Ook is aangenomen dat de botanische samenstelling en zodekwaliteit voldoende waren.

Het beheer van de proefvelden en de spreiding in de proefveldresultaten waren bij sommige PAW-proefseries vaak dermate afwijkend van het 'gemiddelde', dat besloten is deze series apart te analyseren. Op basis van de volgende argumenten werden de PAW-series apart bewerkt:

- de afwijkende proefopzet in PAW970,
- in PAW979 werden de proeven elk jaar op een ander deel van het perceel uitgevoerd,
- de soms zeer grote spreiding tussen herhalingen, o.a. door verschillen in lokatie,
- de soms onverklaarbaar grote verschillen tussen objecten,
- de aanwezigheid van witte klaver op controle-objecten,
- de zeer lage benutting van toegediende N (ANR),
- de toediening van stalmest in sommige jaren in PAW643; en
- de soms ongebruikelijke verdeling van de N-gift over de sneden.

De resultaten van de veldproeven op klei- en veengronden zijn bewerkt en geanalyseerd met onder andere lineaire en meervoudige regressie-analysemethoden. Daarbij is gebruik gemaakt van Genstat. Het doel van deze analyse was om statistisch betrouwbare verbanden op te sporen tussen enerzijds meetbare bodemparameters en anderzijds droge-stofopbrengst, N-opneming, N-benutting, N-leverend vermogen van de grond, etc. Er is alleen gewerkt met de over het jaar gesommeerde gemiddelde droge-stofopbrengst en N-opneming.

Bodemparameters als de gehalten aan lutum, slib, organische stof en organisch-gebonden stikstof, en grondwaterstand en vochtleverend vermogen werden voor zover mogelijk afgeleid uit onderzoeksverslagen van de diverse proefstations. Gegevens over de textuur en het organische-stofgehalte zijn in hoofdzaak afkomstig van de laag 0-5 cm, zoals vermeld in de onderzoeksverslagen. Wanneer geen gegevens over de textuur en het organische-stofgehalte beschikbaar waren, zijn deze afgeleid uit de beschrijving van het bodemprofiel of van de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 50 000.

2.2 Berekening optimale N-gift per grondsoort

De economisch optimale N-gift is afgeleid uit het verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst. Het verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst is evenwel diffuus indien de proefveldresultaten van de diverse proeflokaties bijeen worden gebracht. Ook op één en dezelfde lokatie kunnen van jaar tot jaar grote verschillen in droge-stofopbrengst en de economisch optimale N-gift voorkomen. De vaak grote variatie

in de relatie tussen N-gift en droge-stofopbrengst wordt veroorzaakt door variaties in:

- het N-leverend vermogen van de grond,
- de benutting van toegediende N of 'Apparent N Recovery',
- de efficiëntie van de droge-stofproduktie per opgenomen N.

Grafisch wordt dit weergegeven in de zogenoemde driekwadrantenfiguur (figuur 1).

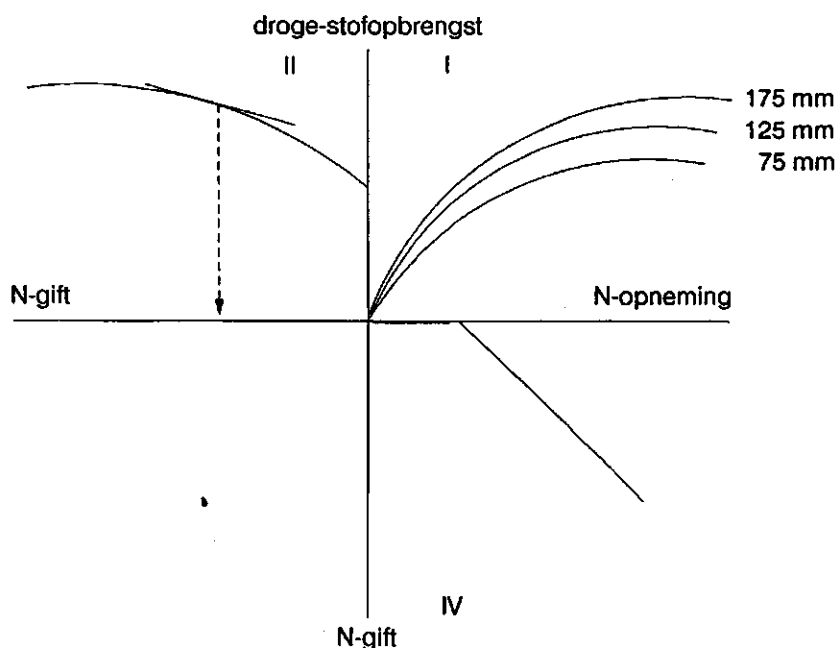


Fig. 1 Verband tussen N-gift en N-opneming (kwadrant 4), N-opneming en droge-stofopbrengst (kwadrant 1) en tussen N-gift en droge-stofopbrengst (kwadrant 2). In kwadrant 1 is het effect van verschillen in vochtleverend vermogen van de grond op de droge-stofopbrengst weergegeven. Drie klassen van vochtleverend vermogen zijn onderscheiden, namelijk 75, 125 en 175 mm per jaar

In deze studie is de optimale N-gift afgeleid uit de combinatie van N-leverend vermogen van de grond, de Apparent N Recovery en de relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst. Daarbij is gesteld dat het N-leverend vermogen van de grond vooral afhankelijk is van de grondsoort. De 'Apparent N Recovery' of ANR wordt bepaald door grondsoort en graslandbeheer. De relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst, en de efficiëntie van de droge-stofproduktie, is afhankelijk van de inkomende zonnestraling, temperatuur en neerslag in combinatie met het vochtleverend vermogen van de grond.

Grondsoorten zijn onderscheiden naar N-leverend vermogen op basis van resultaten van experimentele metingen van Hassink (1991). Vervolgens is de opgestelde indeling getoetst aan de resultaten van veeljarige veldproeven en is een nieuwe, eenvoudige, indeling opgesteld.

De fractie van de toegediende N die in de bovengrondse droge stof wordt teruggevonden, de Apparent N Recovery (ANR), is voor verschillende grondsoorten

afgeleid uit de proefveldresultaten. Andere informatiebronnen om de opgestelde indeling vervolgens te toetsen waren helaas niet beschikbaar.

De efficiëntie van de droge-stofproductie werd berekend met behulp van een simulatiemodel (Rabbinge et al., 1989). Het model berekent per dag de droge-stofproductie als functie van straling, temperatuur en beschikbare vocht en stikstof. Het model is gecalibreerd aan de resultaten van de veldproef APM128.

Het verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst werd vervolgens afgeleid uit de berekende relaties tussen N-opneming en droge-stofopbrengst, tussen N-gift en N-opneming en uit het N-leverend vermogen van de grond. De optimale N-gift werd tentatief afgeleid bij een marginale droge-stofopbrengst van 7,5 en 10 kg per kg N.

2.3 Vochtleverend vermogen van gronden onder grasland

Het vochtleverend vermogen van de grond bepaalt in sterke mate de productie-capaciteit van grasland (zie fig. 1). Onder vochtleverend vermogen van de grond wordt verstaan 'de hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen in een 10% droog jaar aan de plant kan worden geleverd'. Een '10% droog jaar' is een jaar waarin de potentiële verdamping de neerslag in het groeiseizoen met meer dan 200 mm overtreft. Deze situatie doet zich statistisch eens in de 10 jaar voor.

Door het DLO-Staring Centrum (SC-DLO) worden bij de geschiktheidsbeoordeling van gronden normaliter 5 gradaties in vochtleverend vermogen onderscheiden (Soesbergen et al., 1986). Deze 5 gradaties zijn in het kader van deze studie samengevat tot 3 klassen van vochtleverend vermogen (tabel 2).

Tabel 2 Gradaties van vochtleverend vermogen van de bodem volgens SC-DLO-criteria en de samenvoeging van de vijf gradaties tot drie klassen van vochtleverend vermogen zoals toegepast in deze studie

gradatie		hoeveelheid vocht (mm)	klasse (mm)
code	benaming		
1	zeer groot	>200	groot (>150)
2	vrij groot	150-200	
3	matig	100-150	matig (100-150 mm)
4	vrij gering	50-100	
5	zeer gering	< 50	gering (<100 mm)

Het vochtleverend vermogen van de grond is afhankelijk van de dikte van de doorwortelde laag en de aard en opbouw van de grond. Belangrijk zijn de dikte en het vochthoudend vermogen van de bewortelbare zone, het capillair geleidings-vermogen van de ondergrond en het grondwaterstandsverloop gedurende het groei-seizoen. Voor de toewijzing van het vochtleverend vermogen is geput uit de tabellen in de toelichting behorend bij de bodemkaart 1 : 250 000.

De informatie die in de bodemkaart ligt opgesloten, is van verschillende ouderdom. Vooral de informatie met betrekking tot de ontwateringstoestand (Gt) van zandgebieden is als gevolg van later uitgevoerde ontwaterings-werken vaak niet meer actueel. Dit geeft onder andere problemen bij de beoordeling van zandgronden op vochtleverend vermogen. Daarom is voor zandgebieden een correctie uitgevoerd op bepaalde Gt's volgens Wopereis et al. (1991). Dit heeft ertoe geleid dat voor een aantal bodemeenheden in de zandgebieden het vochtleverend vermogen is verschoven van de klasse matig naar gering.

2.4 Bepaling oppervlakte grasland

Om een idee te krijgen van de oppervlakte grasland per klasse van bijvoorbeeld vochtleverend en stikstofleverend vermogen van de grond is gebruik gemaakt van de Landelijke Grondgebruiksdatabank van Nederland (LGN). Deze databank bevat een gegevensbestand dat vervaardigd is met behulp van remote sensing opnamen vanuit een sateliet in combinatie met veldwaarnemingen (Thunnissen et al., 1991). De feitelijke databank bestaat uit een grote hoeveelheid 'pixels', een raster van $25 \times 25 \text{ m}^2$, die geheel Nederland bedekt. Van elke pixel is het grondgebruik uit 1986 bekend. De databank onderscheidt 15 verschillende vormen van grondgebruik, zoals bijvoorbeeld gras, maïs, aardappelen, etc. In het kader van deze studie is dit fijnmazige bestand ingedikt tot een pixelgrootte van $100 \times 100 \text{ m}^2$, om de benodigde computercapaciteit te beperken.

Er bestaat een duidelijk verschil in de definiëring van grasland volgens LGN en volgens CBS. Bij de mei-inventarisaties van het CBS worden alleen de gegevens verwerkt van bedrijven met een economische omvang die groter is dan 10 Standaard Bedrijfseenheden (SBE). In de rundveehouderij komt een grootte van 10 SBE ongeveer overeen met een bedrijf van 2 ha grasland met een daarbij behorende doelmatige veebezetting van melk- en jongvee. Bedrijven met minder dan 10 SBE worden door het CBS buiten beschouwing gelaten, ongeacht de grootte van het bij het bedrijf behorende graslandareaal. Bij de LGN wordt daarentegen 'alles wat de aard en kleur van gras heeft' als grasland aangemerkt; dus ook overhoeken, bermen van wegen, sportvelden en natuurterreinen. Het 'LGN-grasland' is derhalve een maat voor het totale of bruto-graslandareaal en het 'CBS-grasland' is een maat voor het netto-graslandareaal, het grasland dat gebruikt wordt door bedrijven met een omvang van meer dan 10 SBE.

Van de kaart met het totale graslandareaal, in digitale vorm, is een 'overlay' gemaakt met de eveneens in digitale vorm opgeslagen kaarten met vochtleverend en stikstofleverend vermogen van de grond (zie ook hoofdstuk 3). Voor het vochtleverend vermogen heeft dat een kaart opgeleverd van het Nederlands graslandareaal onderverdeeld in drie klassen (bijlage 1). De niet in gras liggende gebieden zijn wit gekleurd. De oppervlakteverdeling per klasse is als volgt:

- klasse 1 (donkergroen) vochtleverend vermogen $>150 \text{ mm}$: 749 856 ha (51 %),
- klasse 2 (lichtgroen) vochtleverend vermogen $100\text{-}150 \text{ mm}$: 529 310 ha (36 %),
- klasse 3 (groen geel) vochtleverend vermogen $<100 \text{ mm}$: 191 140 ha (13 %).

Het totale graslandareaal volgens LGN bedraagt 1 571 750 ha. Volgens de CBS-landbouwtelling van mei 1986 was er in dat jaar in Nederland 1 141 987 ha grasland. Het oppervlak aan CBS-grasland is derhalve circa 73 % van het oppervlak aan LGN-grasland.

3 STIKSTOFLEVEREND VERMOGEN VAN DE GROND

3.1 Achtergrond

Het 'N-leverend vermogen van de grond' is gedefinieerd als de hoeveelheid N die per jaar in de bovengrondse droge stof van het controle-object (= niet met stikstof bewerkte veldjes) wordt geoogst. De door het gras opgenomen stikstof is afkomstig van atmosferische depositie, mineralisatie van organisch gebonden N in de grond en binding van stikstofgas (N_2) door vrijlevende en symbiontisch-levende micro-organismen in de grond. Het restant aan minerale N in de grond aan het einde van het voorgaande groeiseizoen kan soms, bijvoorbeeld op zware kleigronden, ook een bijdrage leveren (Prins, 1983). In de definitie van het 'N-leverend vermogen van de grond' is impliciet ook de efficiëntie van de N-opneming door het gras verdisconteerd. Het is dus eigenlijk een 'schijnbaar N-leverend vermogen', of in het Engels 'Apparent N Supply' (ANS). In dit rapport wordt het 'N-leverend vermogen' van de grond' zoals hiervoor gedefinieerd, aangegeven met 'Apparent N Supply (ANS)'.

De ANS van de grond varieert globaal tussen 100 en 350 kg per ha per jaar. Hoeveelheden van 50 en 500 kg per ha per jaar zijn echter ook gemeten. De bijdrage van de atmosferische depositie aan de ANS is gemiddeld 40 kg per ha per jaar. In het zuiden en oosten van het land is de aanvoer gemiddeld hoger dan in het noorden van het land. De N_2 -binding door vrij-levende micro-organismen op intensief gebruikt grasland wordt geschat op circa 10 kg per ha per jaar. Indien vlinderbloemigen zoals witte of rode klavers in de grasmat voorkomen kan de microbiële N_2 -binding vele malen groter zijn. De grootste bijdrage aan de ANS wordt meestal geleverd door de mineralisatie van organisch gebonden N in de grond.

Bodems van Nederlandse graslanden bevatten, afhankelijk van grondsoort, geografische ligging en gebruik, variërend van 5000 tot 25000 kg organisch gebonden N per ha. Deze hoeveelheid is de resultante van aanvoer via microbiële activiteit, plantenresten en bemesting en afvoer via mineralisatie van de organisch gebonden N tot minerale N. Bij een jarenlang gelijkblijvende bemesting en gebruik van het grasland is er evenwicht tussen aan- en afvoer van organisch gebonden N. Er zijn geen resultaten van veldproeven bekend, die aangeven hoe lang bemesting en gebruik van het grasland onder Nederlandse omstandigheden gelijk moeten zijn gebleven voor er een evenwichtssituatie ontstaat. Meestal wordt verondersteld dat deze periode 25 tot meer dan 100 jaar bedraagt (Jenkinson, 1988; Johnson e.a, 1989).

De belangrijkste klimaatsfactoren die de mineralisatiesnelheid van organisch gebonden N in de grond bepalen, zijn temperatuur en neerslag (vocht). Tussen temperatuur en mineralisatiesnelheid bestaat een positief verband. Onder zowel (te) natte als (te) droge omstandigheden wordt de mineralisatie van organische stof beperkt (Jenkinson, 1988). Het optimale vochtgehalte in de grond voor mineralisatie bedraagt circa 60 procent van het totale poriënvolume.

De belangrijkste bodemfactoren die de mineralisatiesnelheid van organische stof bepalen, zijn het gehalte aan (jonge) organische stof, C/N-quotiënt van de organische stof, textuur, grondwaterstand en pH. In het algemeen mineraliseert de organische stof sneller naarmate het C/N- quotiënt van de organische stof lager is. Bij een hoog C/N-quotiënt verloopt de mineralisatie langzaam en kan zelfs minerale N uit de grond in organische stof door micro-organismen worden vastgelegd (immobilisatie).

De mineralisatiesnelheid verloopt meestal trager in kleigronden met een hoog lutumgehalte dan in zandgronden met weinig lutum. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een zekere 'bescherming' tegen mineralisatie van organische stof in klei-humuscomplexen (Hassink, 1991).

Gronden met een hoge grondwaterstand zijn meestal nat en koud. Bovendien is de zuurstofvoorziening van deze gronden vaak marginaal, waardoor de microbiologische activiteit en dus de mineralisatie-snelheid ook traag verloopt. De mineralisatie van organische stof wordt ook geremd door een lage pH. Bekalking kan onder die omstandigheden de mineralisatiesnelheid verhogen.

3.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten

Het 'N-leverend vermogen' of ANS van de grond kan van jaar tot jaar vaak sterk variëren (figuur 2). Verschillen tussen jaren in temperatuur en neerslag liggen hieraan waarschijnlijk ten grondslag. Er is evenwel nog weinig bekend over het effect van schommelingen in temperatuur en vochtgehalte tijdens het groeiseizoen op de mineralisatiesnelheid.

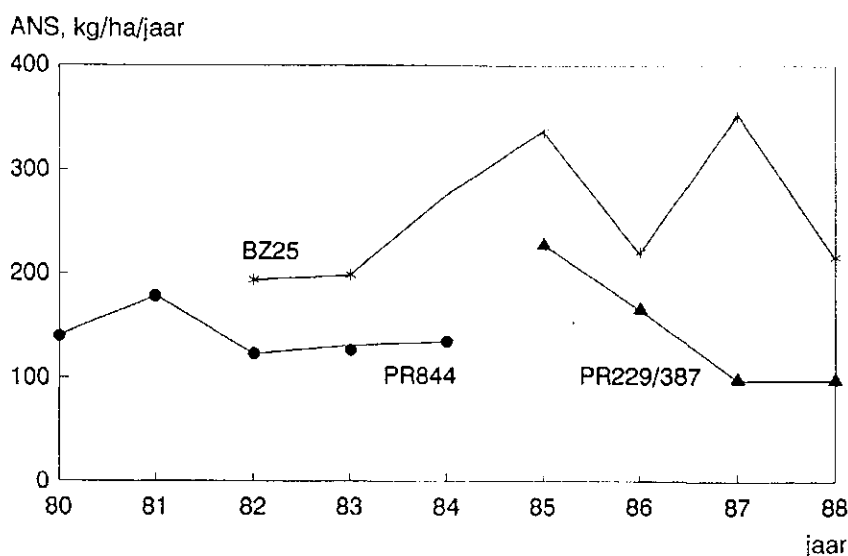


Fig. 2 'N-leverend vermogen' van de grond (ANS in kg N per ha) op de proefvelden BZ25, PR844 en PR229/387

Met regressie-analyse is onderzocht of de gemiddelde ANS van de grond gecorreleerd is met het organische stof- en lutum- of slibgehalte en met de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Tabel 3 Lineaire regressievergelijkingen met de gemiddelde ANS van zavel- en kleigronden als te verklaren variabele en organische-stofgehalte (os), slibgehalte (asb) en gemiddeld hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG) als de verklarende variabelen (n=19). R^2 geeft het percentage variantie van ANS weer dat door de vergelijkingen wordt verklaard

vergelijking		R^2
(1)	$136 \pm 20 + (2,97 \pm 1,22) * os$	22
(2)	$83 \pm 31 + (4,35 \pm 1,28) * os + (1,11 \pm 0,52) * GHG$	36
(3)	$459 \pm 148 + (1,46 \pm 1,78) * os + (1,66 \pm 0,54) * GHG -$ $(1,57 \pm 0,62) * GLG - (2,56 \pm 1,15) * asb$	52

Uit deze berekeningen blijkt (tabel 3) dat de gehalten aan organische stof en slib en de GHG en GLG 22 tot 52 procent van de variatie in de gemiddelde ANS van zavel- en kleigronden verklaren. In de vergelijkingen (2) en (3) zijn echter niet alle regressiecoëfficiënten significant. Duidelijk is dat het organische-stofgehalte een verklarende variabele is. Naarmate het gehalte toeneemt, neemt ook de ANS toe. Dit komt overeen met resultaten uit onderzoek van Hassink (1991). Uit onderzoek van Whitehead (1984) bleek daarentegen dat de ANS niet significant gecorreleerd was met het organische-stofgehalte in de grond.

Uit tabel 3 volgt dat ontwatering een positief en droogte een negatief effect heeft op de ANS; d.w.z. naarmate de GHG dieper en de GLG hoger is, neemt de ANS toe. Dit suggereert dat bij een diepe GHG de mineralisatie van organisch gebonden N groter en/of verliezen aan N kleiner zijn dan bij een ondiepe GHG.

Omdat de variabelen organische stof- en lutumgehalte en GHG en GLG met elkaar gecorreleerd zijn, konden interacties tussen deze variabelen niet worden bestudeerd. Het opnemen van variabelen met een hogere macht in de regressievergelijking leidde niet tot een hoger percentage verklaarde variantie.

Het effect van het C/N-quotiënt van de organische stof op de ANS van de grond kon niet worden bepaald, omdat in de meeste veldproeven het N-gehalte van de grond niet is bepaald. Resultaten van Hassink (1991) tonen aan dat de verschillen in C/N-quotiënt tussen graslandgronden niet zo groot zijn en dat het effect van het C/N-quotiënt op de hoogte van de ANS niet groot is. Hierbij speelt evenwel een rol dat het C/N-quotiënt negatief gecorreleerd is met het lutumgehalte. Een mogelijk positief effect van een laag C/N-quotiënt in kleigronden wordt dus gemaskeerd door de relatief geringe mineralisatie in kleigronden.

In sommige PAW-proeven kwam vrij veel klaver in het grasbestand voor, waardoor de ANS kan zijn opgewaardeerd. Uit de proefveldresultaten blijkt evenwel geen duidelijk verband tussen het percentage klaver en ANS (figuur 3). Het percentage klaver in de grasmat werd meestal slechts éénmaal per groeiseizoen bepaald. Variatie

in het percentage klaver in de grasmat gedurende het groeiseizoen kan daarom hebben bijgedragen aan het ontbreken van een duidelijk verband tussen het percentage klaver en ANS.

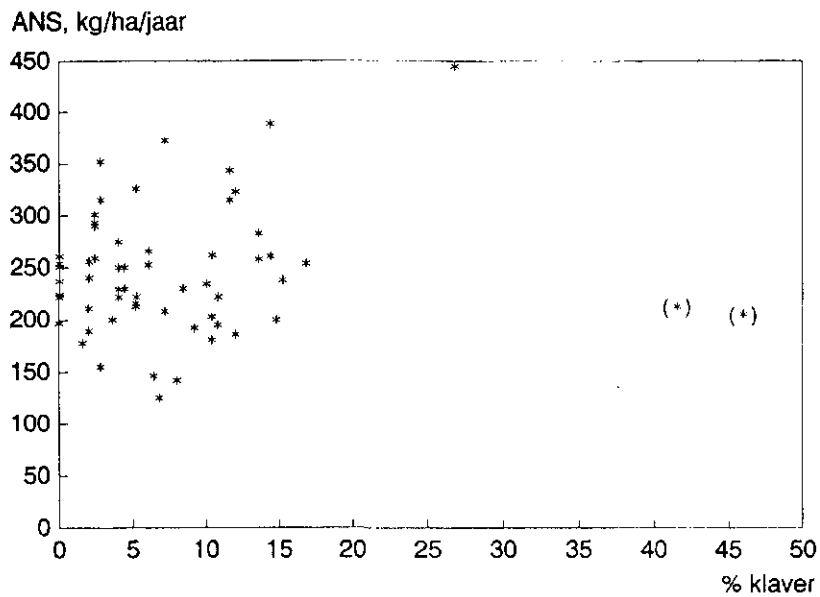


Fig. 3 Relatie tussen het percentage klaver in het grasbestand en het 'N-leverend vermogen' van de grond (ANS), in kg per ha per jaar. Resultaten PAW-proeven

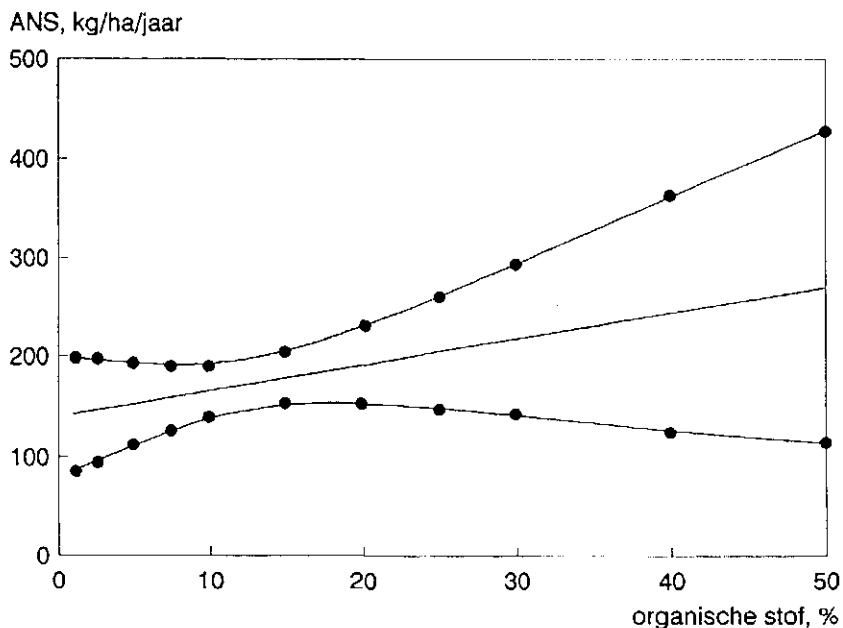


Fig. 4 Relatie tussen organische-stofgehalte en het 'N-leverend vermogen' (ANS) van zavel- en kleigronden bij een gemiddelde GHG (31 cm) en GLG (129 cm). Het 95 procent betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn is ook weergegeven

Samenvattend kan gesteld worden dat het organische-stofgehalte en een goede ontwatering, tot uiting komend in een diepere GHG, een positief effect en het slibgehalte en GLG een negatief effect hebben op de ANS. Het percentage niet-verklaarde variantie is echter groot. Bovendien hebben de regressiecoëfficiënten voor bijvoorbeeld organische stof een relatief lage waarde en hoge standaardafwijking en verschillen de regressiecoëfficiënten sterk tussen de vergelijkingen (1), (2) en (3) in tabel 3. Het brede 95 procents-betrouwbaarheidstraject van de regressiecoëfficiënt voor organische stof wordt duidelijk geïllustreerd in figuur 4.

3.3 Indeling grondsoorten naar ANS

Op basis van resultaten van experimenteel werk van Hassink (1991) zijn de zand- en kleigronden ingedeeld als functie van organische stof- en lutumgehalte. Deze eerste indeling leverde 15 klassen op. Vervolgens zijn de onderscheiden klassen getoetst aan de in veldproeven gemeten ANS. Daarop is de indeling vereenvoudigd en aangepast tot die vermeld in tabel 4. Er is een goede overeenstemming tussen de gemeten gemiddelde ANS en de ANS die per grondsoort afgeleid is voor de berekening van de optimale N-gift. De indeling van grondsoorten naar humusrijk, humeus en humusarm volgens tabel 4 is afhankelijk van én organische stof- én lutumgehalte (De Bakker en Schelling, 1973). Dit betekent dat bij een grond met hoog lutumgehalte het organische-stofgehalte hoger moet zijn om in de klasse 'humeus' te vallen dan bij een grond met een laag lutumgehalte.

Tabel 4 Gemiddeld 'N-leverend vermogen' (ANS) per grondsoort (kg per ha per jaar) zoals gemeten in veeljarige veldproeven en zoals uiteindelijk afgeleid in deze studie op basis van alle beschikbare proefresultaten, inclusief die van Hassink (1991). Tussen haakjes is het aantal proeffjaren vermeld. Voor zand-, leem- en kleigronden is de ANS een functie van het organische-stofgehalte en voor die van veengronden een functie van grondwaterstand (Gt)

Grondsoort	Gemiddelde veldproeven	Afgeleid in deze studie
<u>zand-, leem- en kleigronden</u>		
humusarm	115 (23)	125
humeus	150 (25)	150
humusrijk	183 (9)	200
<u>veengronden</u>		
slecht ontwaterd: Gt II en III	269 (17)	250
goed ontwaterd: Gt II*, III* en hoger	416 (6)	350

Resultaten van recent onderzoek naar het N-leverend vermogen van veengronden ontbreken. Daarom kon voor de indeling van de veengronden alleen gebruik worden gemaakt van relatief gedateerde proefveldresultaten. Besloten is de veengronden alleen in te delen naar de diepte van de grondwaterstand. Ook in het huidige advies voor de N-bemesting van grasland wordt onderscheid gemaakt tussen goed ontwaterde en overige veengronden. Op goed ontwaterde veengronden is het advies 150 kg N

per ha per jaar lager dan op de slecht ontwaterde veengronden. Dit betekent dat bij een gemiddelde ANR van 60 procent op veengronden (hoofdstuk 4) de ANS 100 kg hoger is op goed ontwaterde veengronden dan op natte veengronden. Uit de proefveldresultaten blijkt dat de gemiddelde ANS op nat veengrasland, met Gt II en III, 269 kg per ha per jaar was. De spreiding in ANS tussen de 17 proefjaren was groot. Besloten is om de gemiddelde ANS voor nat veengrasland te stellen op 250 kg per ha per jaar. De ANS voor goed ontwaterd veengrasland is gesteld op 350 kg per ha per jaar; 100 kg hoger dan op nat veengrasland (tabel 4).

De ANS van zandgronden dient te worden gecorrigeerd met 50 kg per ha indien de zandgrond droogtegevoelig is. Dit is gebaseerd op het feit dat in droge jaren de mineralisatie gering is. Zo blijkt uit de resultaten van de veldproef op zandgrond in Heino dat de ANS op de beregende objecten gemiddeld ongeveer 50 kg per ha per jaar hoger was dan op het onberegende controle-object (figuur 5). De jaren 1982 en 1983 waren droger dan 1984. Het verschil in ANS tussen de beregende en onberegende objecten was in 1982 en 1983 dan ook groter dan in 1984.

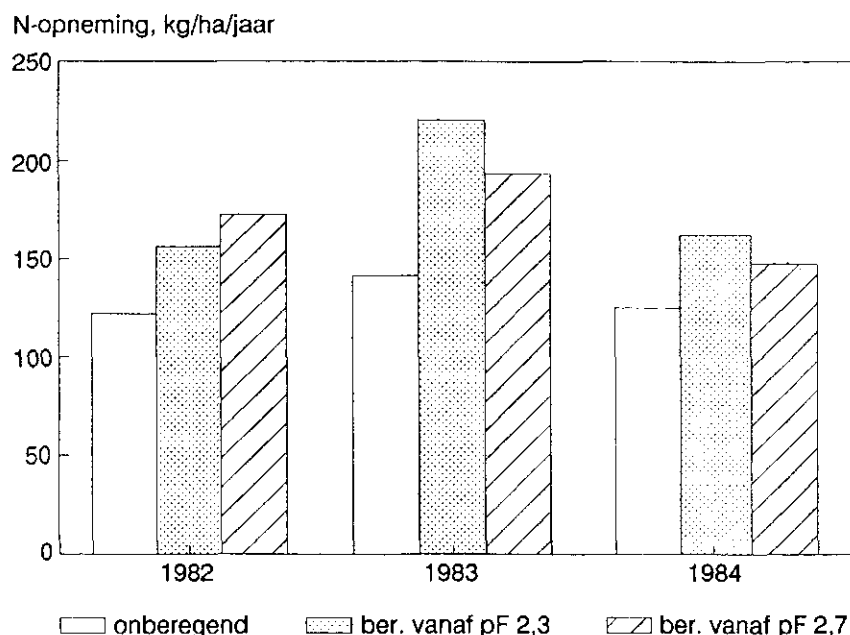


Fig. 5 'N-leverend vermogen' van de grond (ANS, in kg N per ha) op beregende en onberegende controle-objecten. Het berekende neerslagtekort was 192 mm in 1982, 83 mm in 1983 en -6 mm in 1984

Bij herinzaai van geploegd of gescheurd grasland en bij pas ingezaaid voormalig bouwland gelden ook restricties. Na ploegen en herinzaai van bestaand grasland is de ANS in het tweede tot en met het vijfde jaar gering, omdat met ploegen grond naar boven wordt gebracht die meestal een laag organische-stofgehalte heeft. Na herinzaai kan dan weinig organisch gebonden N uit de nog nieuwe zodelaag mineraliseren, omdat minerale N wordt geïmmobiliseerd voor de opbouw van een nieuwe organische stof-rijke zodelaag. Voor gefreesd grasland geldt dit niet, omdat dan de oude zodelaag homogeen door de bovengrond wordt gemengd. Bij inzaai van

bouwland vindt ook immobilisatie van minerale N en ophoping van organische stof in de bovengrond plaats. Bouwland heeft meestal een veel lager organische-stofgehalte dan grasland. Het organische-stofgehalte van de zodelaag van pas ingezaaid grasland op voormalig bouwland vertoont dan ook een stijgende trend, gedurende een groot aantal jaren. Daarom is gesteld dat in deze twee situaties de ANS 50 kg per ha per jaar lager is dan in tabel 4 is aangegeven.

De lage ANS na inzaai van bouwland kan worden geïllustreerd aan de hand van de resultaten van de veeljarige veldproef op voormalig bouwland in Finsterwolde (Prins, 1983). In het eerste jaar van de proef was de ANS nog 121 kg N per ha. In de vijf hierop volgende jaren was de ANS gemiddeld slechts 45 kg N per ha per jaar. Er was geen tendens aanwezig dat de ANS in de loop van de jaren weer toenam. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat op het controle-object geen aanvoer van N plaatsvond, anders dan door atmosferische depositie en N_2 -binding door vrijlevende micro-organismen. In de praktijk wordt na inzaai wel bemest, waardoor organisch gebonden N aan de grond wordt toegediend. Verwacht wordt dat de mineralisatiesnelheid dan wel vrij snel naar een hoger niveau zal gaan. Helaas zijn er geen resultaten van veldproeven beschikbaar om deze hypothese te toetsen.

Bij een gemiddelde ANS van zand-, leem- en kleigronden van ongeveer 150 kg per ha per jaar (tabel 4) moet er gemiddeld per jaar ook minimaal 150 kg N per ha per jaar worden aangevoerd, wil de totale N-voorraad van de grond op peil blijven. Via eenvoudige berekeningen kan worden aangetoond dat in de praktijk op intensief gebruikt grasland de aanvoer van stikstof uit diverse bronnen inderdaad voldoende hoog is om een gemiddelde ANS van 150 kg te kunnen compenseren. Ook als rekening wordt gehouden met beperkte 'onvermijdelijke' verliezen. De belangrijkste bronnen van aanvoer van stikstof voor het op peil houden van de ANS zijn:

- gehumificeerde dierlijke mest,
- het deel van de toegediende N-meststof dat niet door gras maar door wortels en bodemfauna wordt opgenomen,
- beweidings- en voederwinningsverliezen,
- atmosferische depositie,
- microbiële N_2 -binding.

Per grootvee-eenheid wordt jaarlijks circa 20 ton mest en urine met een gemiddeld N-gehalte van 4,9 kg per ton geproduceerd (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1988). Hiervan is ongeveer 25 procent moeilijk afbreekbaar (N_f -fractie) en draagt derhalve bij aan de aanvoer van organisch gebonden N in de grond. Op een intensief bedrijf met een veebezetting van drie grootvee-eenheden per ha is dat ongeveer 75 kg N per ha per jaar.

Jaarlijks wordt een deel van de ondergrondse biomassa afgebroken en wordt nieuwe biomassa gevormd. Voor de vorming van biomassa is minerale N nodig. Een deel van de benodigde N is zeer waarschijnlijk afkomstig van de via bemesting toegediende N. Dit is een van de redenen dat de Apparent N Recovery (ANR) van de toegediende N in de bovengrondse biomassa gemiddeld lager is dan 100 procent. Van de niet in de bovengrondse biomassa teruggevonden hoeveelheid N gaat vermoedelijk een aanzienlijk deel naar de ondergrondse biomassa. Onduidelijk is hoe

groot deze fractie is. Op intensief gebruikt grasland zal dat vermoedelijk variëren tussen 20 en 80 kg met een gemiddelde van 60 kg per ha per jaar.

Beweidings- en voederwinningsverliezen kunnen soms aanzienlijk zijn. Geschat wordt dat hierdoor 20 tot 80 kg N op het land achterblijft en in principe weer beschikbaar komt voor grasgroei. Via atmosferische depositie komt per jaar circa 40 en via microbiële N₂-binding nog eens 10 kg per ha beschikbaar.

De som van de hiervoor genoemde N-bronnen overtreft een gemiddelde ANS van 150 kg per ha per jaar. Dit betekent dat er in theorie voldoende aanvoer van N is om de ANS en het N-gehalte van de grond op peil te houden.

3.4 Indeling bodemeenheden naar ANS

Voor de bepaling van ANS van iedere bodemeenheid van de bodemkaart 1 : 250 000 is de indeling naar grondsoorten, zoals vermeld in tabel 4, omgezet in een indeling naar bodemtype. In deze studie zijn grondsoorten onderscheiden op basis van de bovengrond; de bovenste 5 à 15 cm van de grond. Bodemtypen worden daarentegen ingedeeld op basis van de samenstelling van het profiel (Steur et al., 1985). Voor de vertaling van de indeling vermeld in tabel 4 naar een indeling op basis van bodemtypen is een interpretatiesleutel opgesteld. De in het bodemprofiel aanwezige hoeveelheid organisch-gebonden N en de waterhuishouding zijn nu als belangrijkste criteria gebruikt. Daarenboven is bij twijfelgevallen geput uit de ervaring van medewerkers van het DLO-Staring Centrum.

De hoeveelheid organisch gebonden N in de grond is afhankelijk van de dikte van de moerige of humeuze laag, het organische-stofgehalte, het C/N-quotiënt en de dichtheid van die laag. Informatie over dichtheid en C/N-quotiënt is afkomstig uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van het SC (Bregt et al., 1987). De dikte van de humeuze laag is gelijkgesteld aan de gemiddelde bewortelingsdiepte voor grasland bij goede ontwatering (Soesbergen et al., 1986). De totale hoeveelheid organisch gebonden stikstof per ha is vervolgens berekend met de formule:

$$\frac{\text{dichtheid} * \text{organische-stofgehalte} * \text{laagdikte} * \text{opp.} * 0,58}{\text{C/N-quotiënt}}$$

Er zijn vijf klassen van hoeveelheden organisch gebonden N onderscheiden:

- klasse 1: >20 000 kg per ha,
- klasse 2: 15 000-20 000 kg per ha,
- klasse 3: 10 000-15 000 kg per ha,
- klasse 4: 5 000-10 000 kg per ha,
- klasse 5: < 5 000 kg per ha.

Dat de hoeveelheid organisch-gebonden N en niet de hoeveelheid organische stof, zoals in tabel 4, als criterium is gebruikt voor de indeling van de bodemtypen, is gebaseerd op een tweetal overwegingen. Ten eerste is er een aanzienlijk verschil in

het C/N-quotiënt en daardoor ook in de totale hoeveelheid organisch-gebonden stikstof in het profiel van eutrofe, mesotrofe en oligotrofe veengronden. Deze verschillen komen als zodanig ook in de praktijk duidelijk naar voren. Ten tweede is het verschil in het C/N-quotiënt van sommige zandgronden groot. Ter illustratie, beekveengronden met een laag C/N-quotiënt worden in de praktijk veel beter gewaardeerd dan podzolgronden met een gelijk organische-stofgehalte maar met een duidelijk hoger C/N-quotiënt.

Gronden met veel organisch gebonden N hebben een hoge ANS en gronden met een weinig organische gebonden N hebben een lage ANS. Deze indeling in vijf klassen levert voor de kaart met de ANS van de grond vijf legenda-eenheden op. Daarenboven zijn voor gronden van klasse 3, 4 en 5 met een gering vochtleverend vermogen aparte legenda-eenheden gemaakt. Deze eenheden zijn gemerkt met een sterretje, als zijnde potentieel beregeningsbehoefig. Bos en natuurgebieden, bebouwing, water en uiterwaarden en buitendijkse gebieden zijn apart onderscheiden. In totaal zijn er 12 legenda-eenheden onderscheiden, waarvan 8 verschillende klassen voor de ANS van de grond.

Met behulp van het Geografisch Informatie Systeem (GIS) van het SC-DLO is de ANS van de Nederlandse gronden in kaart gebracht. De geografische basis voor deze kaarten wordt gevormd door de bodemkaart van Nederland schaal 1 : 250 000 (Steur et al., 1985). Voor alle 265 bodemeenheden van deze kaart is de ANS vastgesteld op basis van bodemeigenschappen zoals humusgehalte, dikte van het humeuze dek, C/N-quotiënt, textuur, ontwatering en bewortelbare diepte. Deze bodemeigenschappen zijn, voor zover niet weergegeven in de toelichting bij de bodemkaart 1 : 250 000, afgeleid uit begeleidende kenmerken. Voor het bepalen van specifieke kenmerken per bodemeenheid als dichtheid, C/N-quotiënt, bewortelings-diepte, is gebruik gemaakt van diverse SC-rapporten. Voor alle combinaties van kenmerken van bodem en waterhuishouding is via een 'interpretatiesleutel' de ANS vastgesteld. De file met de classificatie van de ANS is gekoppeld aan een PAT-file voor een overlay met de bodemkaart 1 : 250 000. Daarna is met behulp van ARC/INFO (Capelleveen, 1988) een globale kaart van de ANS gemaakt, verdeeld over de onderscheiden 8 klassen.

1) Gronden met een ANS van 350 kg per ha.

Tot deze groep van gronden worden gerekend de goed ontwaterde veengronden met de grondwatertrap Gt II* en III*. Deze gronden hebben een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) die ligt tussen 25 en 40 cm. Omdat informatie over de ontwatering op de bodemkaart 1 : 250 000 ontbreekt is de veensoort (voedselrijkdom) als criterium voor de ANS gebruikt. Tot de voedselrijke veengronden zijn gerekend de gronden behorend tot de eenheden V1, V4 en V6 van de bodemkaart. Dit zijn gronden met een kleiige/kleiarme moerige eerdlaag ontwikkeld in eutroof bos- of broekveen. De eerdlaag is een aanwijzing dat de ontwatering tenminste redelijk goed is. In de praktijk blijken veel koopveengronden en een deel van de madeveengronden hiertoe te behoren. Uiteraard horen ook de aarveengronden tot de beter ontwaterde groep, evenals gronden met een toemaakdek.

2) Gronden met ANS van 250 kg per ha.

Hiertoe behoren de veengronden met een minder goede ontwatering cq interne

drainage veelal op Gt I en Gt II. Tot deze groep zijn gerekend alle veengronden waarin zich geen eerdlaag heeft ontwikkeld, de zgn. rauwveengronden. Ook veengronden met een kleidek al dan niet met een eerdlaag (waard-/weideveengronden) zijn vanwege het veelal hoge lutumgehalte van het kleidek bij deze klasse ondergebracht. Tot deze groep behoren ook die eerdveengronden die zich hebben ontwikkeld in meso- of oligotroof veen (riet-, zegge-, rietzegge- of mosveen). Tevens zijn bij deze groep ondergebracht alle moerige gronden. Deze gronden beschikken over een voorraad van 15 000-20 000 kg per ha aan organisch gebonden stikstof in de bewortelde zone.

3) Gronden met een ANS van 200 kg per ha.

Dit zijn humusrijke gronden met een berekend voorraad organisch-gebonden stikstof van 10 000 tot 15 000 kg/ha.

Bij de zandgronden vallen alleen de beekeerdgronden voor een groot deel onder deze legenda-eenheid. Beekeerdgronden zijn humusrijk en het C/N-quotiënt is vrij laag. Van de zee- en rivierklei-gronden zijn het de gronden met een minerale eerdlaag die bij deze eenheid zijn ondergebracht, zoals de leek- lied tuin- en woudeerdgronden. Ook humeuze zavelgronden uit de groep van de poldervaaggronden zijn bij deze eenheid ondergebracht. De reden dat humeuze zavelgronden wel en humeuze kleigronden niet bij deze eenheid zijn ondergebracht, is het feit dat zavelgronden van nature beter ontwaterd en daardoor beter geaëreerd zijn dan de kleigronden. Een goede aëratie bevordert de mineralisatie en verhoogd daardoor de ANS.

4) Gronden met een ANS van 150 kg per ha.

Dit is de groep van de humeuze gronden. Hiertoe zijn gerekend alle overige zand- en leemgronden met een minerale eerdlaag. Hiertoe behoren behalve de enkeerd- en laarpodzolgronden ook de gooreerdgronden. De reden om de gooreerdgronden niet bij eenheid 3 maar bij 4 in te delen was de grote variatie in C/N-quotiënt en daardoor grote variatie in de hoeveelheid organisch-gebonden N in deze gronden. Verder zijn tot deze klasse gerekend alle humeuze kleigronden uit de groep van de poldervaaggronden. Ook de goed ontwaterde gronden van associaties van lichte en zware gronden, waarbij het lutumgehalte in de bovengrond kan variëren van 8% tot meer dan 35%, zijn tot deze eenheid gerekend.

5) Gronden met een ANS van 125 kg per ha.

In deze eenheid zijn vanwege de geringe voorraad organisch-gebonden N, alle natte zandvaag- en podzolgronden ondergebracht. Tevens zijn tot deze groep gerekend alle humusarme poldervaaggronden in lichte, matig zware of zware klei. Hoewel deze laatste groepen gemiddeld nog over een redelijke hoeveelheid organisch-gebonden N beschikken, is de ontwatering vaak van dien aard dat de mineralisatie tegenvalt. Van kaartenheden met een breed en niet te splitsen spectrum wat betreft lutumgehalte van de bovengrond, zijn de minder goed ontwaterde associaties ook tot deze klasse gerekend.

6) Gronden met een ANS van 150 kg per ha.

De gronden in deze klasse behoren uit oogpunt van voorraad organische gebonden N tot legenda-eenheid 3. Het zijn overwegend sterk humeuze diep bewortelbare gronden (enkeerdgronden) op GtVII, indien berekend, kunnen deze gronden gelijkgesteld worden aan eenheid 3, d.w.z. die met een ANS van 200 kg per ha.

7) Gronden met een ANS van 100 kg per ha.

De gronden in deze klasse zijn droogtegevoelig. In de praktijk worden deze gronden op vrij grote schaal beregend. Bij berekening komen deze gronden wat N-leverend vermogen betreft overeen met eenheid 4. Bij deze eenheid zijn ondergebracht, de oudere ontginningen een deel van de Veenkoloniale dalgronden en een niet onbelangrijk deel van de veldpodzolgronden die, volgens de laatste inzichten, meestal aanzienlijk sterker ontwaterd zijn dan uit het beschikbare kaartmateriaal blijkt.

8) Gronden met een ANS van 75 kg per ha.

De gronden in deze klasse behoren tot de humusarme gronden en daarmee tot de groep met een geringe ANS. Deze gronden zijn zeer droogtegevoelig. In geval van kunstmatige beregening kan op een extra mineralisatie van 50 kg per ha worden gerekend. Bij deze groep van gronden zijn ondergebracht de vorstvaaggronden en de moderpodzolen van de zuidelijke en oostelijke zandgebieden.

9) Overwegend natuurterreinen, bos of heide.

10) Bebouwing.

11) Water en of moeras.

12) Gronden met een overstromingsrisico en als zodanig niet beoordeeld.

4 STIKSTOFGIFT EN STIKSTOFOPNEMING

4.1 Achtergrond

De efficiëntie waarmee een gewas de toegediende N opneemt in de bovengrondse droge stof, de 'apparent N-recovery' (ANR), wordt als volgt berekend:

$$ANR = \frac{N_{u,x} - N_{u,o}}{N_{s,x}} \times 100\%,$$

waarbij:

$N_{u,x}$ = N-opneming in bovengrondse droge stof op het object dat bemest is met x kg N per ha,

$N_{u,o}$ = N-opneming in bovengrondse droge stof op het onbemeste object,

$N_{s,x}$ = N-gift, x kg per ha.

De ANR is over het algemeen lager dan 100 procent. Dit wordt veroorzaakt door vastlegging van N in wortels, stoppel en in microbiële biomassa en door N-verliezen via denitrificatie, uitspoeling en NH_3 -vervluchtiging. Voor zover bekend is tot nu toe geen systematische onderzoek uitgevoerd naar de oorzaken van de variatie in ANR op grasland.

Er is geconstateerd dat de gemiddelde ANR in de jaren dertig tot zeventig veel lager was dan die in de jaren tachtig (Van der Meer en Uum-Van Lohuyzen, 1986). Verondersteld wordt dat deze toename in ANR mede veroorzaakt is door een verbetering van het graslandmanagement en de ontwatering van het grasland. Uit onderzoek van Baan Hofman (1988) is gebleken dat de N-recovery bij persistente rassen van Engels raaigras onder bepaalde omstandigheden hoger is dan bij minder persistente rassen. Zodekwaliteit heeft zeer waarschijnlijk ook een effect.

Het effect van de soort stikstofmeststof op de ANR is redelijk goed onderzocht. Zo is de ANR van ureum en van dierlijke mest aanmerkelijk lager dan die van kalkammonsalpeter (kas) (Van Burg, 1982; Snijders et al., 1987; Velthof et al., 1990). Kas is de meest gebruikte kunstmeststikstof in Nederland en in proeven vaak de referentiemeststof. Aangenomen is dat in alle veldproeven, waarin de reactie van het grasland op toegediende stikstof is onderzocht, kas is gebruikt.

Grondwaterstand en vochthoudend vermogen hebben zeer waarschijnlijk een groot effect op de ANR. Ook hier ontbreekt evenwel een analyse en overzichtelijke presentatie van de resultaten tot nu toe. Dit geldt eveneens voor het effect van weersomstandigheden. Verschillen tussen jaren in ANR, op dezelfde lokatie, zijn waarschijnlijk mede het gevolg van verschillen in weersomstandigheden.

Een complicerende factor is de aanwezigheid van klaver. Klaver is in staat N_2 uit de atmosfeer te binden, waardoor de N-opneming op het controle-object wordt verhoogd. Door toediening van N-meststof neemt de N_2 -binding door klaver echter

sterk af. Vanwege de substitutie van microbieel gebonden N via klaver door chemisch gebonden stikstof uit kunstmest is de ANR op proefvelden met klaver laag. Op de meeste proefvelden is er echter voor gezorgd dat geen klaver aanwezig was.

4.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten

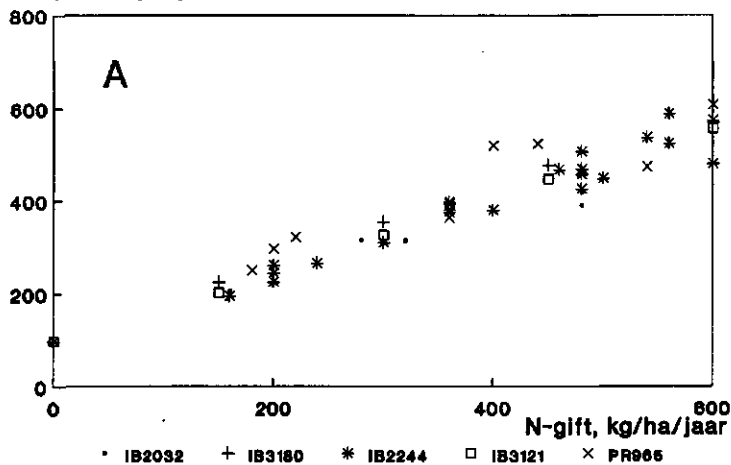
In figuur 6 is per grondwatertrap (Gt) de N-opneming tegen de N-gift uitgezet, voor alle NMI/IB-, PR- en LUW-proeven op zavel- en kleigronden. Het verband tussen N-gift en N-opneming is tot een N-gift van ongeveer 500 kg per ha per jaar lineair. Bij N-giften boven 500 kg per ha per jaar is de toename in ANR niet meer proportioneel. Sibma en Alberda (1980) en Reid (1972) hebben eveneens aangetoond dat het verband tussen N-gift en N-opneming tot een N-gift van circa 400 à 500 per ha per jaar lineair is. In deze studie is de ANR steeds berekend over het lineaire deel van de curve.

Bij een lage Gt, een hoge grondwaterstand, was de ANR in het algemeen lager dan bij een hoge Gt (diepe grondwaterstand). De verschillen tussen Gt V, V*, VI en VII in figuur 6 zijn evenwel erg klein. Uit de resultaten van de PAW-proeven blijkt het effect van de grondwaterstand duidelijker; de ANR was hoger bij Gt II* en Gt V dan bij Gt II (figuur 7). De positieve relatie tussen Gt en ANR in de PAW-proeven geeft aan dat de benutting van toegediende N-meststof hoger is op goed ontwaterd dan op slecht ontwaterd grasland. Waarschijnlijk gaat op slecht ontwaterd grasland gemiddeld meer N door denitrificatie verloren dan op goed ontwaterd grasland.

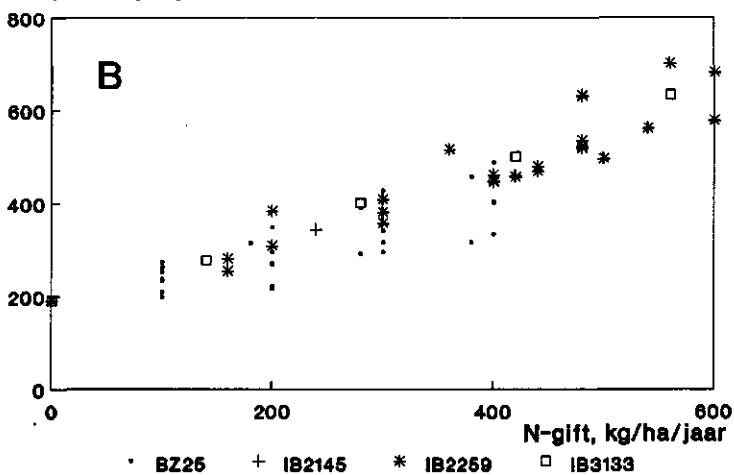
In de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven was de ANR gemiddeld 70 procent, in de PAW-proeven gemiddeld slechts 49 procent. Dit grote verschil in ANR is waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van factoren, zoals een verschil in grondwaterstand (figuren 6 en 7) en de aanwezigheid van klaver in sommige PAW-proeven. De PAW-proeven zijn uitgevoerd in de jaren 1962-1973; de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven veelal na 1973 (figuur 8). Sinds de start van de PAW-proeven begin jaren zestig is het graslandmanagement sterk verbeterd en daardoor waarschijnlijk de ANR verhoogd. Dit betekent dat het grote verschil in ANR tussen de PAW-proeven enerzijds en de NMI/IB, PR- en LUW-proeven anderszijds ook door de gestage verbetering van het graslandmanagement kan zijn veroorzaakt.

Uit de resultaten van proefvelden op zandgrond blijkt geen duidelijk effect van Gt op de hoogte van de ANR (tabel 5). De ANR op bijvoorbeeld proefveld PR804 met Gt II was vergelijkbaar met die op PR700 met Gt V* en IB2047 met Gt VII*. Bij veengronden is wel een duidelijk effect van Gt op de ANR waarneembaar. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van de resultaten van de PAW970-proefserie (tabel 6). Op de natte veengrond was de ANR gemiddeld slechts 51 procent; op de gedraineerde, goed vochthoudende veengrond 70 procent. Verlaging van het slootpeil in de PR11-proeven had daarentegen een negatief effect; de ANR was hoger bij het hoge peil (tabel 6). De jaren 1970-1975 waren echter tamelijk droog, zodat droogte op de objecten met een verlaagd slootpeil in de PR11-proeven de N-opneming negatief kan hebben beïnvloed.

N-opneming, kg/ha/jaar



N-opneming, kg/ha/jaar



N-opneming, kg/ha/jaar

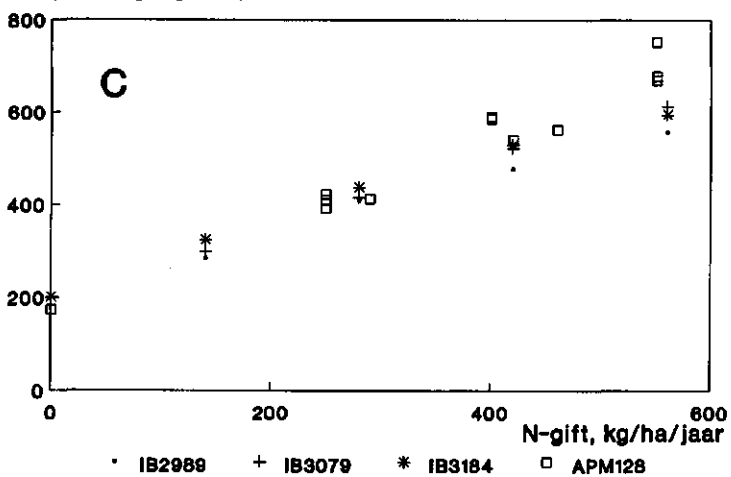


Fig. 6 Relatie tussen N-gift en N-opneming per grondwatertrap in NMI/IB-, PR- en LUW-proeven op zavel- en kleigronden; figuur (A) Gt V, figuur (B) Gt V* en figuur (C) Gt VI en VII

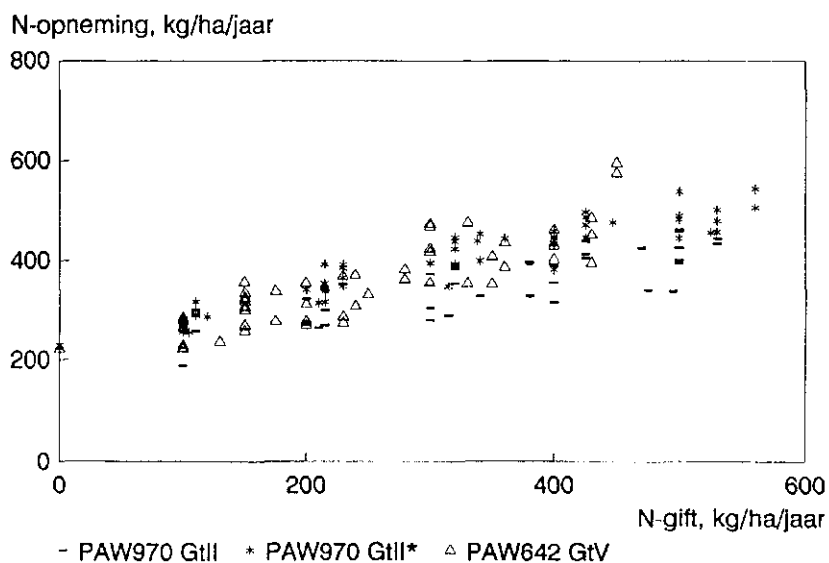


Fig. 7 Relatie tussen N-gift en N-opneming per grondwatertrap in de PAW-proeven

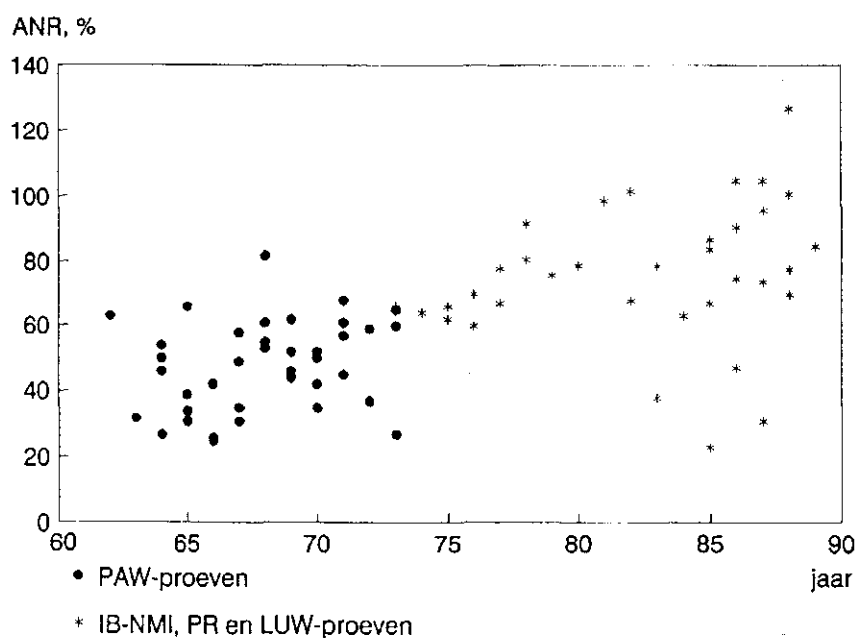


Fig. 8 Gemiddelde 'Apparent N-recovery' (ANR) in de jaren 1962-1989 in PAW-proeven en in NMI/IB-, PR- en LUW-proeven

Tabel 5 Gemiddelde Apparent N-recovery (ANR) in veeljarige proeven op zandgronden

Proef	Jaren	Grondwatertrap (Gt)	ANR, %
PAW643	62-71	Gt V	73
PR804	79-83	Gt II	81
PR700	78-81	Gt V*	86
PR844	80-84	Gt III/VI	95
IB2146	74-79	Gt IV	75
IB2047	73-83	Gt VII*	81
PR49	82-84	Gt VII*	69
		onberegend	
		beregend vanaf pF 2,3	80
		beregend vanaf pF 2,7	79
gewogen gemiddelde			80
gewogen gemiddelde in de jaren tachtig			82

Tabel 6 Gemiddelde Apparent N-recovery (ANR) in veeljarige grasland-proeven op veengronden

Proefno.	Jaar	N-gift (kg/ha)	Vochttoestand	Traject, (%)	ANR, (%)
PR891	80-85	0-200	Gt II	36-100	56
ZV30	81-85	0-200	Gt II	29- 66	52
PR11	70-75	0-300	verlaagd slootpeil	21- 53	34
			hoog slootpeil	32- 72	55
PR5533	89	0-450		55- 66	62
PAW970	63-73	optimaal	nat		51
			normaal vochthoudend		70
PAW644	62-71	80-450		35- 90	60
gewogen gemiddelde					60

De gemiddelde ANR op veengronden is lager dan die op klei- en zandgronden. De lage ANR op veengronden is waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door de hoge ANS en de slechte ontwatering waardoor de kans op N-verliezen door denitrificatie hoog is. Verschillen in ANR tussen de jaren zestig en de jaren tachtig zijn in proeven op veengrond niet duidelijk.

Van jaar tot jaar kan de ANR op één proeflokatie vaak sterk variëren. Ook tussen proeflokaties komen soms grote verschillen voor (tabellen 5 en 6). Via onder andere regressie-analyse is geprobeerd de grote variatie tussen jaren en tussen proeflokaties te verklaren. Als verklarende variabelen dienden grondwaterstand, grondsoort, N-opneming op het controle-object en droge-stofopbrengst op het object met de hoogste N-gift.

Uit de statistische verwerking van de proefresultaten blijkt dat de N-opneming op het controle-object, de ANS, 39 procent van de variantie in de ANR verklaart. De ANR nam af naarmate de ANS hoger was.

Bij hoge N-giften wordt de droge-stofopbrengst op een lokatie vrijwel alleen beperkt door weersomstandigheden. Een hoge droge-stofopbrengst wijst dan op gunstige, een lage droge-stofopbrengst op ongunstige weersomstandigheden. Verwacht mag worden dat de ANR hoger is in jaren waarin de weersomstandigheden gunstig zijn en waarin dus een hoge droge-stofopbrengst wordt behaald, omdat de toegediende N-meststof dan goed kan worden benut. Uit de statistische bewerking van de proefresultaten blijkt dat de droge-stofopbrengst op het object met de hoogste N-gift slechts 14 procent van de variantie in ANR verklaart. De ANR nam toe naarmate de droge-stofopbrengst toenam. Het geringe percentage variantie dat verklaard werd door de droge-stofopbrengst van het object met de hoogste N-gift geeft aan dat andere factoren dan weersomstandigheden een grotere invloed hebben gehad. Overigens vond in een groot aantal proeven nog een aanzienlijke opbrengststijging plaats, gaande van het object met de op één na hoogste naar het object met de hoogste N-gift. De maximale droge-stofopbrengst werd waarschijnlijk dus niet in alle proeven gerealiseerd.

In de PAW642-proef is in de jaren 1968-1971 de N-bemesting op twee manieren verdeeld over het groeiseizoen. Bij bemestingsmethode A werd een hoge N-gift in het voorjaar voor de eerste snede gegeven, bij methode B werd de derde of vierde snede relatief zwaar bemest. Bovendien was er een verschil in de zwaarte waarbij de eerste snede werd geoogst. De ANR verschilde aanzienlijk tussen methode A en B. Gemiddeld was de ANR bij methode A 16 procent hoger dan bij B. Dit verschil is niet veroorzaakt door verschillen in weersomstandigheden of grondsoort en Gt maar door verschillen in graslandmanagement. Bovendien is het mogelijk dat een combinatie van de tijdstippen van maaien en toediening van stikstof en de op die momenten heersende weersomstandigheden de ANR beïnvloed hebben. Dowdell en Webster (1984) vonden in een lysimeterproef bijvoorbeeld dat het tijdstip waarop droogte optrad een grote invloed had op de droge-stofproductie en N-opneming.

4.3 Indeling grondsoorten naar ANR

De ANR blijkt van lokatie tot lokatie en van jaar tot jaar sterk te variëren. Grondsoort, grondwaterstand (Gt), weersomstandigheden en graslandmanagement beïnvloeden op de één of andere manier de grootte van de variatie in ANR. Het percentage variatie in ANR dat werd verklaard door deze factoren was echter niet hoog. Interacties tussen grondsoort en weersomstandigheden, en weersomstandigheden en graslandmanagement spelen hierbij waarschijnlijk ook een rol.

Opvallend en duidelijk is de toeneming in gemiddelde ANR sinds de jaren zestig, het negatieve verband tussen ANS en ANR en de gemiddeld lage ANR op veengronden. Op basis van deze constatering is een indeling gemaakt in slechts twee klassen, namelijk veengronden en alle overige gronden. De gemiddelde ANR op veengronden was 60 procent (tabel 6). De gemiddelde ANR op zand- en kleigronden in de jaren tachtig was 80 procent (tabellen 5 en 7).

Tabel 7 Gemiddelde Apparent N-Recovery (ANR) in de jaren tachtig, berekend op basis van de proeven APM128, PR229, PR387, IB3180, IB3121, IB3079 en IB2989 op zavel-en kleigronden (18 proeffjaren, controle-object was klavervrij)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	gewogen gemiddelde
ANR, %	96	76	-	75	87	83	95	80

5 STIKSTOFOPNEMING EN DROGE-STOFPRODUKTIE

5.1 Achtergrond

Het verband tussen N-opneming en droge-stofopbrengst kan goed worden beschreven met een Mitscherlich-curve. In het eerste deel van de curve wordt de droge-stofproduktie in hoofdzaak beperkt door gebrek aan N. Daardoor neemt in dit deel van de curve de droge-stofopbrengst vrijwel lineair toe bij toenemende N-opneming. Bij een hoge N-opneming beperken vooral de omgevingsfactoren straling, temperatuur en beschikbaar vocht de droge-stofopbrengst van ziektevrij grasland.

Bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van 10°C en hoger is de fotosynthesesnelheid bij gras maximaal. Gedurende het groeiseizoen zullen er dan ook weinig perioden voorkomen dat de groei beperkt wordt door een te lage temperatuur. In het voorjaar speelt de temperatuur wel een belangrijke rol. In het najaar vormt de geringe hoeveelheid straling meer een beperking voor de gewasgroei dan de temperatuur. Verhoging van de hoeveelheid straling leidt tot een toename van de droge-stofproduktie, wanneer het gewas tenminste nog niet lichtverzadigd is en over voldoende nutriënten en vocht beschikt. Onder Nederlandse omstandigheden is tijdens het groeiseizoen ook vochtgebrek vaak een beperkende produktiefactor.

De opname van koolstofdioxide (CO₂) door de plant gaat gepaard met transpiratie, verlies van water. Wanneer de hoeveelheid water beperkt is zal een plant de opname van CO₂ beperken om zo het verlies van water tegen te gaan. De hoeveelheid water die een gewas kan benutten voor de produktie van droge stof hangt af van de neerslag en verdamping tijdens het groeiseizoen en van het vochtleverend vermogen van de grond.

Het vochtleverend vermogen van de grond is gedefinieerd als de hoeveelheid vocht die in het groeiseizoen van 15 april tot 15 september in een 10% droog jaar aan de plantewortels geleverd kan worden (Haans, 1979). Het is opgebouwd uit de hoeveelheid water in de bewortelbare zone vermeerderd met de hoeveelheid die vanuit het grondwater aan de bewortelbare zone geleverd kan worden via capillaire opstijging. Het vochtleverend vermogen kan variëren van minder dan 50 tot meer dan 200 mm per ha per jaar (Haans, 1979). Grondsoorten met een hoog vochtleverend vermogen kunnen meestal een hoge droge-stofopbrengst leveren, omdat groeiremming door vochtgebrek minder frequent optreedt. Uit een onderzoek op Hurley (Garwood et al., 1977) bleek bijvoorbeeld dat over een periode van 20 jaar 67 procent van de variatie in droge-stofopbrengst verklaard kon worden door het optreden van vochttekort tijdens het groeiseizoen. Ook Whitehead (1984) vond een positief verband tussen droge-stofopbrengst en vochthoudend vermogen van een grond.

5.2 Resultaten bewerking proefveldresultaten

In navolging van Noij (1989) is in eerste instantie de berekende 'maximale droge-stofopbrengst' gerelateerd aan het berekende vochttekort. Het vochttekort is berekend uit het maximaal potentieel verdampings-overschot en het vochtleverend vermogen van de grond. De 'maximale droge-stofopbrengst' is afgeleid uit de berekende Mitscherlich-vergelijking voor de relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor de afzonderlijke proefjaren. In meer dan de helft van de proeven kon de maximale droge-stofopbrengst evenwel niet nauwkeurig worden afgeleid, omdat nog een sterke opbrengstvermeerdering optrad tussen de objecten met de op één na hoogste en hoogste N-gift.

Op één en dezelfde lokatie varieerde de droge-stofopbrengst bij een hoge N-opneming soms sterk tussen jaren (figuur 9). Verschillende weersomstandigheden hebben blijkbaar een grote invloed op de efficiëntie van de droge-stofproductie.

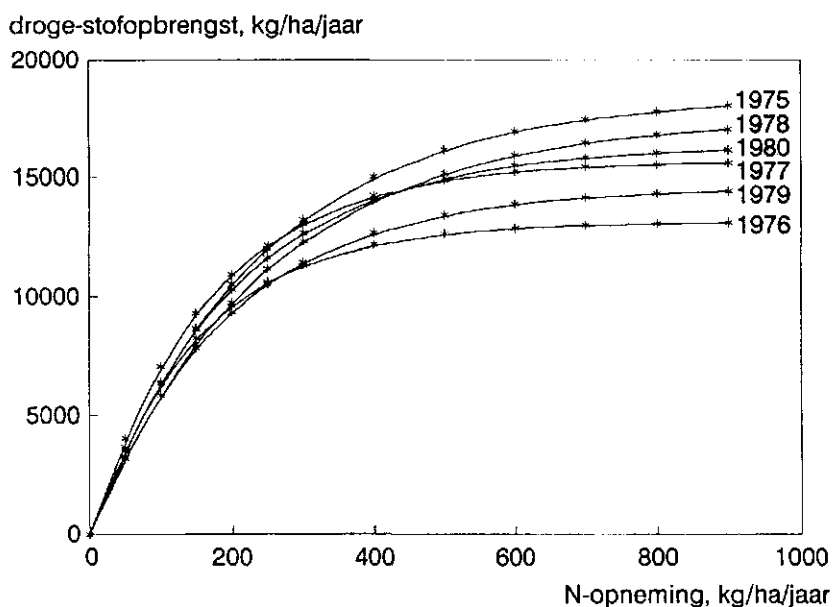


Fig. 9 Relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor verschillende jaren op proefveld IB 2244

In het droge jaar 1976 was de droge-stofopbrengst bijvoorbeeld zeer laag. Desalniettemin was het verband tussen de berekende maximale droge-stofopbrengst en het berekende vochttekort diffuus (figuur 10). Het ontbreken van een duidelijk verband tussen de berekende maximale droge-stofopbrengst en het berekende vochttekort ligt waarschijnlijk aan het feit dat geen rekening wordt gehouden met het tijdstip en de duur van het vochttekort. Bovendien kunnen verschillen in inkomende straling en temperatuur ook een deel van de variatie in droge-stofopbrengst hebben veroorzaakt. Vooral in het vroege voorjaar kunnen de groeiomstandigheden van jaar tot jaar sterk verschillen door verschillen in temperatuur.

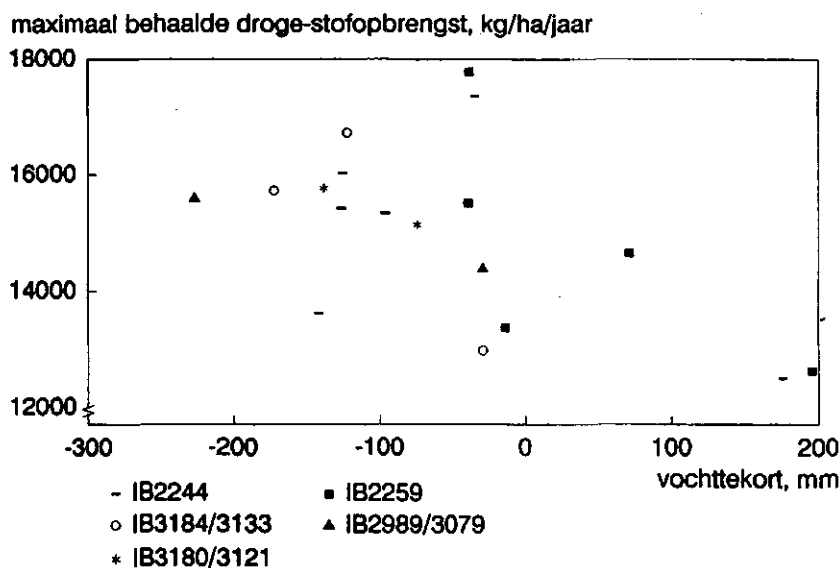


Fig. 10 Relatie tussen het berekende vochttekort tijdens het groeiseizoen en de maximaal behaalde droge-stofopbrengst in een proefjaar, voor een aantal veeljarige proefvelden

Om de effecten van straling, temperatuur en vocht(tekort) op de droge-stofopbrengst te kunnen ontrafelen en berekenen, is gebruik gemaakt van een simulatiemodel. Het model berekent op basis van actuele weergegevens in combinatie met het vochtleverend vermogen van de grond de droge-stofproductie per dag.

5.3 Structuur van simulatiemodel GRAS

Het simulatiemodel 'GRAS' berekent op dagbasis de oogstbare droge-stofopbrengst als functie van straling, temperatuur, water en stikstof. Met oogstbare droge-stofopbrengst wordt de hoeveelheid droge stof boven een stoppel van 4 à 5 cm bedoeld. GRAS is eenvoudig van opzet (figuur 11). De hoeveelheid door een gewas geabsorbeerde straling neemt toe naarmate de bebladeringsindex (LAI) hoger is. De LAI is opgebouwd uit twee delen, de LAI van de stoppel (SLAI) en de LAI van de oogstbare gewaslaag (HLAI). SLAI is afhankelijk van het stadium waarin het gras wordt geoogst. Naarmate zwaardere sneden worden geoogst, neemt de SLAI af (Lantinga, 1989). HLAI is afhankelijk van de hoeveelheid oogstbare droge stof (TASDM). Een toename van TASDM leidt, tot op zekere hoogte, tot een toename van HLAI. De betekenis van de afkortingen is samengevat in tabel 8.

De door het gewas geabsorbeerde straling wordt in GRAS berekend op basis van door de vakgroep Theoretische Produktie Ecologie van de Landbouwwuniversiteit te Wageningen ontwikkelde subroutines (Rabbinge e.a., 1989). Aangenomen wordt dat er een lineair verband bestaat tussen de door het gewas onderschepte straling en de droge-stofproductie (Gosse e.a., 1986). De efficiëntie waarmee de onderschepte straling wordt omgezet in droge stof, de 'Light Use Efficiency' (LUE), is afhankelijk van het N-gehalte in het gras. Naarmate het N-gehalte van het gewas hoger is, vindt

de omzetting van de door het gewas onderschepte straling in droge stof efficiënter plaats (Gastal en Lemaire, 1988).

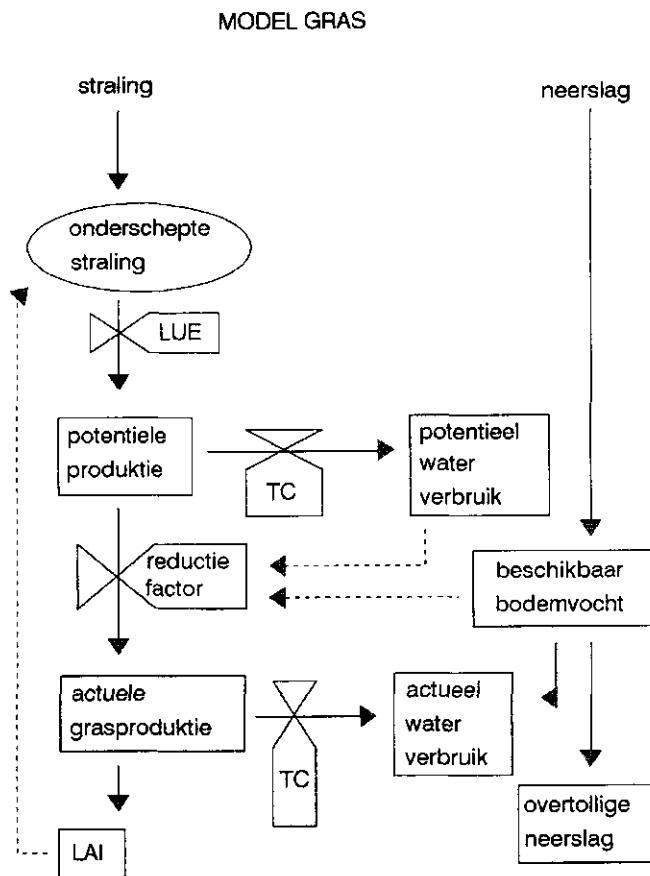


Fig. 11 Schematische weergave model GRAS

Tabel 8 Betekenis en dimensie van enkele parameters die gebruikt worden in model GRAS

parameter	verklaring	dimensie
LAI	Leaf Area Index,	m^2/m^2
HLAI	Harvestable Leaf Area Index,	m^2/m^2
SLAI	Stubble Leaf Area Index,	m^2/m^2
LUE	Light Use Efficiency,	g droge stof/MJ PAR
TASM	Total Above-Stubble Dry Matter,	kg/ha
TC	Transpiration Coefficient,	l/kg droge stof
PAR	Photosynthetic Active Radiation,	MJ

De in GRAS gebruikte LUE is afkomstig uit onderzoek van Lantinga (ongepubliceerd). Bij hoge N-gehalten komt de LUE goed overeen met die van Gastal en Lemaire (1988) voor rietzwenkgras en met die van Spiertz (1982), Gallagher en Biscoe (1978) en Howell en Musick (1984) voor winter tarwe. In de LUE zijn impliciet de verdeling van de geproduceerde droge stof tussen stoppel, wortel en de oogstbare gewaslaag, de groei van het gewas uit reserve koolhydraten en de groei-

en onderhoudsrespiratie verdisconteerd.

Het effect van temperatuur op de fotosynthese en droge-stofproductie is tamelijk complex (Johnson and Thornley, 1983; Jones and Lazenby, 1988). In GRAS wordt aangenomen dat de omzetting van onderschepte straling in droge stof maximaal is wanneer de gemiddelde etmaaltemperatuur minimaal 10°C bedraagt. Bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van 5°C of lager treedt geen gewasgroei op. In het traject van 5 tot 10°C neemt de omzetting van onderschepte straling in droge stof proportioneel toe met een stijging in temperatuur. Aangenomen is dat de temperatuur nooit zo hoog wordt dat daardoor de omzetting van onderschepte straling in droge stof wordt beperkt.

De voor gewasgroei beschikbare hoeveelheid vocht wordt in GRAS berekend als de som van het vochtleverend vermogen van de grond en de hoeveelheid neerslag. De voor de groei van het gras benodigde hoeveelheid water wordt per dag hierop in mindering gebracht. Groeireductie treedt op wanneer de hoeveelheid beschikbaar water kleiner is dan de vraag van het gewas. Aangenomen wordt dat geen verdamping van water aan het bodemoppervlak optreedt. Als de som van de neerslag en de in de grond aanwezige hoeveelheid water groter is dan het vochtbergend vermogen van de grond, dan gaat er water voor het gewas verloren.

De indeling van grondsoorten naar vochtleverend vermogen is gebaseerd op de indeling van de 1 : 250 000 bodemkaart van Nederland. Via een vertaalsleutel is de kwalitatieve klassenindeling van de 1 : 250 000 bodemkaart omgezet in een meer kwantitatieve indeling (tabel 2). De drie onderscheiden grondsoorten zijn die met een vochtleverend vermogen van minder dan 100 mm (hangwaterprofiel), een vochtleverend vermogen van 100 tot 150 mm (contactprofiel) en die met een vochtleverend vermogen van meer dan 150 mm (grondwaterprofiel).

De hoeveelheid water die nodig is per kg geproduceerde droge stof in de vorm van gras, de 'Transpiration Coefficient' (TC), is afhankelijk van de spruit/wortelverhouding van het gras. De verdeling van assimilaten tussen spruit en wortel is in een vegetatief stadium constant. Bij de oogst van het gras wordt deze verhouding verbroken. Om deze verhouding na de oogst van het gras te herstellen, stopt de wortelgroei na de oogst en vindt alleen spruitgroei plaats tot de vroegere spruit/wortelverhouding weer is bereikt. Wanneer de periode tussen twee oogsten te kort is om de vroegere spruit/wortelverhouding te herstellen stopt de wortelgroei geheel. Bij een bepaalde frequentie van oogsten stelt zich dus een evenwicht in. Uit proeven van Dirven en Wind (1980) en Ennik en Baan-Hofman (1983) blijkt dat de wortelmasa afneemt als de N-gift toeneemt. Dit heeft tot gevolg dat de TC afneemt naarmate de N-gift en dus het N-gehalte van het gewas toeneemt.

Nielsen (1963) vond in een lysimeterproef een TC die varieerde van meer dan 600 bij een N-gift van minder dan 100 kg per ha tot gemiddeld 355 liter per kg droge stof bij N-giften van 300 tot 600 kg per ha per jaar. Ook Van Boheemen (1984) vond een afnemende TC bij een toenemende N-gift en droge-stofopbrengst.

In GRAS is de TC, evenals de LUE, afhankelijk gesteld van het N-gehalte van het gewas. Het effect van het waterdampdrukverschil op de gewasverdamping is buiten

beschouwing gelaten. In GRAS is de TC dus onafhankelijk van het tijdstip in het seizoen.

5.4 Calibratie van simulatiemodel GRAS

In figuur 12 is de door Lantinga berekende LUE als functie van het N-gehalte van het gras weergegeven. Bij een N-gehalte van meer dan 30 g per kg droge stof, bij een droge-stofopbrengst van circa 2500 kg per ha, was de LUE circa 2 g droge stof per MJ PAR. Bij een N-gehalte van minder dan 30 g per kg nam de LUE vrijwel evenredig toe met een stijging van het N-gehalte.

Berekeningen met behulp van de relatie tussen N-gehalte en LUE zoals afgeleid door Lantinga, leidden tot een droge-stofopbrengst van ruim 10 ton per ha bij een N-gehalte van het gras van minder dan 20 g per kg droge stof. Dit is een onrealistisch hoge produktie; bij een droge-stofopbrengst van 10 ton per ha is het N-gehalte van het gras, bij modern graslandmanagement, veel hoger dan 20 g per kg. Bij een hoog N-gehalte was de berekende droge-stofopbrengst wel vergelijkbaar met die gemeten in veldproeven. Na overleg met Lantinga en na bestudering van de relatie tussen N-gehalte en droge-stofopbrengst van controle-objecten in de NMI/TB-, PR- en LUW-proeven is de LUE aangepast. Het verband tussen LUE en N-gehalte, is daardoor bij een N-gehalte van minder dan 30 g per kg veel steiler geworden (figuur 12). Met behulp van de aangepaste relatie tussen N-gehalte en LUE werden opbrengsten berekend die overeenkomen met die gemeten op het proefveld APM128. Op dit proefveld zijn ook de metingen verricht die nodig waren voor de berekening van de LUE als functie van de N-gift.

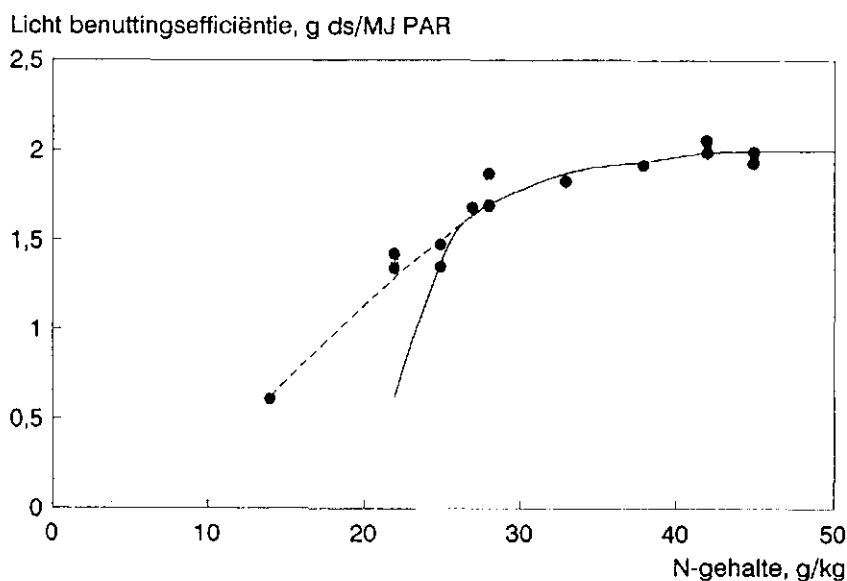


Fig. 12 Relatie tussen N-gehalte van het gras en lichtbenuttingsefficiëntie of LUE. De bollen geven de door Lantinga (ongepubliceerd) berekende waarden weer; de getrokken curve geeft de relatie weer zoals gebruikt in model GRAS

In figuur 13 is de TC van Engels raaigras als functie van het N-gehalte van het gras weergegeven, zoals gemeten door Nielsen (1963). De TC neemt af naarmate het N-gehalte van het gewas toeneemt. Berekeningen met behulp van deze relatie in het model GRAS leiden tot een sterke onderschatting van de door Lantinga gemeten droge-stofproduktie op proefveld APM128. Op basis van het vochtleverend vermogen van de grond van APM128, de hoeveelheid neerslag tijdens het groeiseizoen en de droge-stofopbrengst kan ruwweg berekend worden dat de TC gemiddeld slechts 260 l per kg was. Dit is weinig en aanmerkelijk minder dan het minimum van 360 liter per kg dat door Nielsen is gemeten.

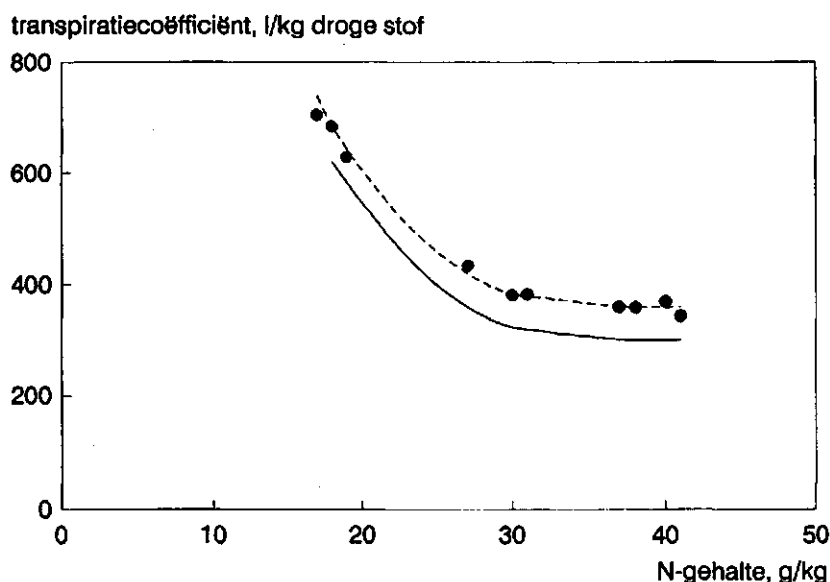


Fig. 13 Relatie tussen N-gehalte van het gras (g per kg) en 'Transpiration Coefficient' (TC, l per kg ds) volgens Nielsen (1963), aangegeven met bolletjes en de onderbroken curve. De doorgetrokken curve geeft de relatie weer zoals toegepast in het model GRAS (zie tekst)

Aanvullende berekeningen aan de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven toonden aan dat de gemiddelde TC met 320 liter per kg (tabel 9) ook veel lager was dan het minimum van Nielsen (1963). Opvallend is het grote verschil tussen jaren in berekende TC. Tussen proefvelden die in hetzelfde jaar werden uitgevoerd zijn de verschillen in TC evenwel minder dan 10 procent; bijvoorbeeld voor de jaren 1975, 1976, 1977, 1978 en 1988. Er is een tendens dat in droge jaren (bijvoorbeeld 1976) de TC lager is dan in natte jaren (bijvoorbeeld 1985). Voor een relatief droog jaar is de berekende TC niet hoger dan 300 à 320 l per kg. Ook voor proefvelden op zandgrond blijkt dat de berekende TC voor een relatief droog jaar niet hoger was dan 300 à 320 l per kg.

Omdat met de relatie tussen N-gehalte en TC volgens Nielsen (1963) de droge-stofopbrengst werd onderschat is in GRAS de TC vrij arbitrair verlaagd met 60 l per kg. Bij een N-gehalte van 30 g per kg of meer is de TC dan 300 liter per kg (figuur 13). Dit is iets minder dan de over alle jaren gemiddelde TC in de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven, doch duidelijk hoger dan de berekende TC voor droge jaren als 1975 en 1976 (tabel 9). Met de aangepaste relatie tussen N-gift en TC, zoals weergegeven

in figuur 13, is er een goede overeenstemming tussen de gesimuleerde en gemeten droge-stofopbrengst (tabel 10).

Tabel 9 Transpiration Coefficient (TC), berekend op basis van proefveldresultaten op kleigrond. Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd: (1) in maart en oktober vindt geen noemenswaardige droge-stofproductie plaats, (2) bij de start van het groeiseizoen op 1 april is de grond op veldcapaciteit, en (3) al het beschikbaar water is op 30 september door het gewas verbruikt

Proef	Jaar	Neerslag ¹⁾ (mm)	Vochtleverend vermogen grond (mm)	Droge-stof- opbrengst ²⁾ (kg/ha/jaar)	TC (l/kg ds)
IB2032	73	424	125	16150	340
IB2244	75	376	125	17350	289
IB2259	75	270	125	14670	269
IB2259	76	189	125	12640	250
IB2244	76	209	125	12510	267
IB2259	77	294	125	12770	328
IB2244	77	377	125	15340	327
IB2259	78	321	125	14910	300
IB2244	78	407	125	16030	332
IB2244	79	406	125	13730	387
IB2244	80	416	125	15620	346
PR965	81	221	75	15646	183
PR965	82	368	75	14185	312
PR965	83	414	75	12984	377
IB2989	85	557	75	15590	405
IB3079	86	384	75	14390	319
IB3121	87	410	125	15770	340
IB3184	88	456	75	16720	318
IB3180	88	358	125	15150	319
gemiddeld					320

- 1) neerslag in april t/m september op dichtst bijzijnde weerstation
2) hoogst gemeten droge-stofopbrengst in de proef

Tabel 10 Droge-stofopbrengst in kg per ha per jaar, in de APM128-proef in 1988, zoals gemeten door Lantinga (1989) en gesimuleerd met GRAS

N-gehalte	gemeten	gesimuleerd
0,017	5 348	6 013
0,025	13 692	14 048
0,029	17 143	17 066
0,036	18 607	18 290
0,040	19 247	19 014

Voor 1987 kon de droge-stofopbrengst niet gesimuleerd worden omdat de neerslaggegevens onvolledig waren. De overeenstemming tussen gesimuleerde en gemeten droge-stofopbrengst was minder goed in de jaren 1985 en 1986. Variaties in de efficiëntie waarmee het gras de straling omzet in droge stof, en in de efficiëntie waarmee gras water verbruikt, zullen hieraan waarschijnlijk hebben bijgedragen.

Over het algemeen berekent GRAS voor natte jaren een hogere en voor droge jaren een lagere droge-stofopbrengst dan in werkelijkheid is gemeten. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door variaties in de TC tijdens het groeiseizoen, mogelijk als functie van de waterdampdruk. In GRAS is de TC constant gedurende het groeiseizoen. Uit tabel 9 blijkt hoe de TC varieert tussen jaren. Hoge TC's worden berekend voor natte jaren en lage voor droge jaren. Momenteel ontbreekt de kennis om het effect van weersomstandigheden op de TC nauwkeurig te simuleren. Uitbreiding van deze kennis zal leiden tot een betere overeenstemming tussen de berekende en gemeten droge-stofopbrengst en derhalve uiteindelijk ook tot een nauwkeuriger berekening van de optimale N-gift.

De berekende droge-stofopbrengst hangt sterk af van de weersgegevens. De berekende maximale droge-stofopbrengst varieerde van ruim 10 ton in droge jaren tot ruim 20 ton per ha per jaar in jaren zonder vochttekort. Dit komt redelijk overeen met de variatie die in veldproeven is gemeten. In figuur 14 worden de resultaten van NMI/IB-, PR- en LUW-proeven vergeleken met die gesimuleerd voor een gemiddeld jaar, wat betreft weersomstandigheden. De droge-stofopbrengst is gesimuleerd voor grondsoorten met een vochtleverend vermogen van 75, 125 en 175 mm per ha per jaar. Tot een N-opneming van circa 200 kg per ha per jaar neemt de droge-stofopbrengst vrijwel lineair toe en is er vrijwel geen effect van het verschil tussen de grondsoorten in vochtleverend vermogen. Bij een N-gift van meer dan 400 kg per ha is het vochtleverend vermogen van de grond de belangrijkste opbrengstbeperkende factor.

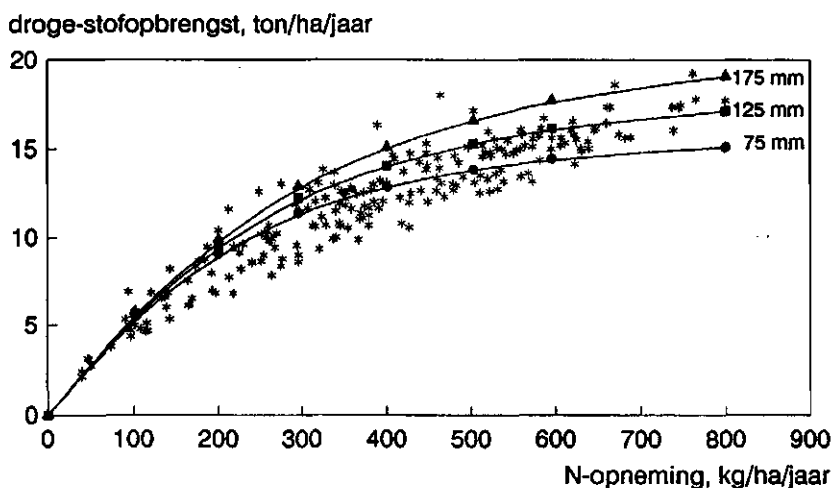


Fig. 14 Relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor de NMI/IB-, PR- en LUW-proeven op zavel- en kleigronden die in de jaren 1970-1989 zijn uitgevoerd (kruisjes). De doorgetrokken curven geven de door GRAS gesimuleerde relatie tussen N-opneming en droge-stofopbrengst voor 1970 weer, voor grondsoorten met een vochtleverend vermogen van 75, 125 en 175 mm per ha per jaar

Samenvattend kan gesteld worden dat met het simulatiemodel GRAS de effecten van weersomstandigheden op de grasgroei redelijk goed gesimuleerd kunnen worden. Zwakke schakels in de berekeningen zijn de LUE en de TC bij suboptimale N-voorziening en watervoorziening. Het verdient aanbeveling om de schaarse en deels gedateerde meetresultaten van LUE en TC aan te vullen met nieuwe. Alleen dan kan de droge-stofopbrengst als functie van het N-gehalte en N-opneming nauwkeurig en vooral betrouwbaar berekend worden.

5.5 Resultaten gevoeligheidsanalyse simulatiemodel GRAS

Omdat de precisie en betrouwbaarheid van een aantal variabelen, zoals bijvoorbeeld de LUE en TC, in het simulatiemodel GRAS tamelijk beperkt zijn, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daarmee wordt een indruk verkregen van de spreiding in en betrouwbaarheid van de resultaten van het simulatiemodel. De invloed van variaties in modelparameters op de resultaten van de modelberekeningen zijn berekend. Er is gebruik gemaakt van de 'respons surface methode' (Janssen e.a., 1990). Bij de 'respons surface methode' wordt de werking van het model, als functie van de modelparameters, nagebootst door een eenvoudiger model, het zogenaamde 'metamodel':

$$Y \approx \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j$$

waarin:

Y = optimale N-gift, kg/ha/jaar,

β_0 = optimale N-gift bij basisinstelling, kg/ha/jaar,

$x_i, \dots, x_j$ = modelparameters,

$\beta_i, \dots, \beta_j$ = toe- of afname optimale N-gift, kg/ha/jaar,

x_i en β_{ij} zijn interactieparameters.

Om met behulp van het 'metamodel' op een verantwoorde manier uitspraken te doen over de gevoeligheid van variaties in de parameters, moet het metamodel een geschikte benadering geven van het simulatiemodel over de gehele range van de te verwachten variaties in de parameters. Hiervoor is een zogenaamde kruisvalidatie uitgevoerd volgens het 'leave one out' principe. Uit de kruisvalidatie bleek dat het 'metamodel' een geschikte benadering is van het simulatiemodel.

De berekende droge-stofopbrengst met GRAS is afhankelijk van de weersomstandigheden, N-opneming en van de variabelen LUE, TC en LAI. Bij de gevoeligheidsanalyse is onderzocht hoeveel de optimale N-gift wijzigt ten gevolge van een verandering van 10 en 20 procent van de LUE, TC en LAI. Steeds is slechts één variabele tegelijk veranderd. De andere variabelen namen dan de standaardwaarde aan. Iedere verandering, voor iedere mogelijke combinatie van modelparameters, is voor een periode van 20 jaar doorgerekend (tabel 11).

Tabel 11 Resultaten gevoeligheidsanalyse; verandering in de berekende gemiddelde optimale N-gift, in kg per ha per jaar, ten gevolge van een gesimuleerde positieve afwijking van de modelparameters LAI, LUE en TC van 10 en 20 procent. De resultaten zijn gemiddeld over de jaren 1970 tot en met 1989

Parameter	Veengrond		Kleigrond	
	10%	20%	10%	20%
LAI	3	12	1	10
LUE	25	44	22	38
TC	-71	-89	-66	-78

Uit tabel 11 blijkt dat de verandering van de optimale N-gift ten gevolge van een toename van de LAI, LUE, en TC vrijwel onafhankelijk is van grondsoort. Berekeningen zijn uitgevoerd voor een veengrond met een ANS van 250 en voor een kleigrond met een ANS van 150 kg per ha per jaar, beide met een vochtleverend vermogen van 125 mm. De invloed van een gesimuleerde afwijking van de LAI van 10 of 20 procent op de berekende optimale N-gift is klein. De LUE en vooral de TC hebben een grote invloed op de optimale N-gift. Een verhoging van de TC van slechts 10 procent geeft een verlaging van de optimale N-gift van circa 70 kg per ha per jaar. De invloed van interacties tussen LAI, LUE en TC op de berekende optimale N-gift waren relatief klein, en worden hier dan ook niet verder besproken. Een verlaging van de LAI, LUE en TC met 10 of 20 procent gaf een omgekeerd, doch vrijwel identiek patroon te zien. Samenvattend kan gesteld worden dat de modeluitkomsten zeer gevoelig zijn voor wijzigingen in LUE en TC.

In tabel 12 is de totale variantie in de berekende optimale N-gift voor de periode 1970-1989 opgedeeld naar LAI, LUE, TC en naar jaar. Meer dan 80 procent van de totale variantie in optimale N-gift is toegeschreven aan de variaties tussen jaren. De berekende grote verschillen tussen jaren in optimale N-gift benadrukken nog eens het grote effect van variaties in weersomstandigheden.

Tabel 12 Totale variantie in berekende optimale N-gift opgedeeld naar LAI, LUE, TC en jaren, in procenten

	LAI	LUE	TC	jaar	Interacties	Totaal
variantie, %	<1	1	14	83	2	100

Ook het effect van regionale verschillen in weersomstandigheden is groot. In tabel 13 is weergegeven dat de optimale N-gift op een zandgrond met een ANR van 80 procent en een vochtleverend vermogen van 125 mm in sommige jaren wel 50 procent kan variëren tussen bijvoorbeeld de lokaties Wageningen en De Kooy. Berekeningen zijn uitgevoerd met gemeten weersomstandigheden voor de jaren 1982-1985.

Tabel 13 *Berekende relatieve verschillen in optimale N-gift voor een zandgrond met een ANS van 200 kg per ha per jaar, een ANR van 80 procent en een vochtleverend vermogen van 125 mm tussen de lokaties Wageningen, Swifterbant en De Kooy. Berekende optimale N-gift voor de lokatie Wageningen is voor ieder jaar op 100 gesteld*

	Swifterbant	De Kooy
1982	73	122
1983	85	85
1984	79	91
1985	143	150

6 STIKSTOFGIFT EN DROGE-STOFOPBRENGST

6.1 Achtergrond

De optimale N-gift wordt afgeleid uit het verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst. Bij het berekenen van de economisch optimale N-gift moet de door bemesting toegenomen opbrengst aan ruwvoeder worden afgewogen tegen de bewerkingskosten en kosten aan meststoffen. De marginale opbrengst wordt wel gesteld op 7,5 kg droge stof per kg N (Prins, 1983). Ook worden marginale droge-stofopbrengsten van 9 en soms 10 kg drogestof per kg N genoemd. Ter illustratie van het effect van de marginale droge-stofopbrengst is de optimale N-gift berekend bij een marginale droge-stofopbrengst van zowel 7,5 als 10 kg per kg N. Overigens kan met relatief weinig moeite de optimale N-gift ook voor iedere andere marginale droge-stofopbrengst berekend worden. Er is een gemiddelde berekend over de jaren 1970 tot en met 1989.

6.2 Berekende optimale stikstofgift per grondsoort

Voor de jaren 1970-1989 is met behulp van GRAS het verband tussen N-opneming en droge-stofopbrengst gesimuleerd. Om de optimale N-gift te kunnen berekenen is het gesimuleerde verband tussen N-opneming en droge-stofopbrengst omgerekend naar een verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst via:

$$\text{N-gift} = (\text{N-opneming} - \text{ANS bodem})/\text{ANR}$$

Voor ieder jaar en grondsoort, onderscheiden op basis van ANS, ANR en vochtleverend vermogen, is een Mitscherlich-curve berekend voor het verband tussen N-gift en droge-stofopbrengst. De berekende curves varieerden soms sterk tussen jaren. Per jaar en per onderscheiden grondsoort is vervolgens de optimale N-gift berekend. De berekende optimale N-gift per jaar voor 1970 tot en met 1989 is vervolgens per onderscheiden grondsoort gemiddeld (tabellen 14 en 15).

Tabel 14 Berekende gemiddelde optimale N-gift in kg per ha per jaar voor grondsoorten die op basis van verschillen in ANS, ANR en vochtleverend vermogen zijn onderscheiden. De optimale N-gift is berekend bij een marginale opbrengst van 7,5 kg droge stof per kg N

Grondsoort		ANS (kg/ha)	ANR (%)	Vochtleverend vermogen, (mm)		
				75	125	175
zand-, leem-, zavel- en kleigronden	humusarm	125	80	380	460	540
	humeus	150	80	340 ¹⁾	430	500
	humusrijk	200	80	230 ¹⁾	370	440
moerige gronden		250	60		310	
veengronden	Gt II en III	250	60		390	
"	Gt II* en III*	350	60			280

1) situatie komt in de praktijk niet of nauwelijks voor

Tabel 15 Berekende gemiddelde optimale N-gift in kg per ha per jaar voor grondsoorten, die op basis van verschillen in ANS, ANR en vochtleverend vermogen zijn onderscheiden. De optimale N-gift is berekend bij een marginale opbrengst van 10 kg droge stof per kg N

Grondsoort		ANS (kg/ha)	ANR (%)	Vochtleverend vermogen, (mm)		
				75	125	175
zand-, leem-, zavel- en kleigronden	humusarm	125	80	315	385	455
	humeus	150	80	285 ¹⁾	355	420
	humusrijk	200	80	220 ¹⁾	295	360
moerige gronden				205		
veengronden	Gt II en III	250	60			280
„	Gt II* en III*	350	60			120

1) situatie komt in de praktijk niet of nauwelijks voor

Bij een marginale droge-stofopbrengst van 7,5 kg per kg N varieert de berekende optimale N-gift van 230 kg op goed ontwaterd veen met een vochtleverend vermogen van 175 mm per jaar tot 540 kg per ha per jaar op humusarme leem-, zavel- en kleigronden met een hoog vochtleverend vermogen (tabel 14). Sommige combinaties komen in de praktijk niet of slechts sporadisch voor, zoals humusarme zandgronden met een vochtleverend vermogen van 175 mm per jaar en veengronden met een vochtleverend vermogen van 125 mm of minder.

Bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N is de optimale N-gift gemiddeld circa 100 kg per ha lager (tabel 15). De verschillen in berekende optimale N-gift tussen grondsoorten komen goed overeen met de verschillen die Noij (1989) berekende.

6.3 Berekende optimale N-gift per bodemeenheid

Op basis van de hiervoor beschreven criteria en resultaten is van de bodemkaart 1 : 250 000 een kaart afgeleid met de berekende optimale N-gift voor cultuurgrasland. Voor de samenstelling van de kaart is gebruik gemaakt van de indeling die is weergegeven in tabel 15, dus bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N.

Met behulp van het Automated Land Evaluation System (ALES) (Rossiter, 1990) is aan elke eenheid van de bodemkaart 1 : 250 000 een code toegekend. Deze code is gerelateerd aan een aantal voorgeschreven criteria, waarop het ALES de beslissingen baseert. Eerst zijn alle kaarteenheden gesplitst in minerale gronden, veengronden en moerige gronden. Daarna is een onderverdeling gemaakt naar ANS; bij de moerige of veengronden via de aard van het veen en de ontwateringstoestand en bij de minerale gronden via het organische-stofgehalte. Tenslotte zijn de gronden onderverdeeld naar vochtleverend vermogen.

Een directe onderverdeling van veengronden en moerige gronden naar ontwateringstoestand, volgens tabel 4, bleek bij de gehanteerde kaartschaal niet te realiseren. Deze gronden zijn daarom ingedeeld naar veensoort, namelijk rijke of eutrofe venen en andersoortige of meso- en oligotrofe venen. De terminologie van eutrofe veengronden wijst er al op dat in deze veengronden veel stikstof in omloop is. Enerzijds heeft dit te maken met de rijke samenstelling van dit veen, anderszijds met de vrij goede interne drainage en aëratie. Voor de groep van de mesotrofe venen, de zegge- en rietveengronden, ligt het ingewikkelder. Naarmate het lutumgehalte van het veen toeneemt, wordt de aëratie minder en daardoor de mineralisatiesnelheid kleiner. Vanwege de in het algemeen vrij slechte ontwateringstoestand van de mesotrofe en oligotrofe veengronden, zijn deze veengronden daarom ondergebracht in de klasse met een hoog vochtleverend vermogen en een beperkte ANS. De berekende optimale N-gift, bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N, is voor deze gronden 280 kg per ha per jaar. De moerige gronden op zand, eventueel met een zand- of kleidek met inbegrip van associaties van zand- en veengronden, hebben een matig vochtleverend vermogen en lopen daardoor enig droogterisico. De berekende optimale N-gift voor deze gronden is 205 kg per ha per jaar. Veengronden met een gering vochtleverend vermogen komen niet voor. Bij de veen- en moerige gronden zijn uiteindelijk slechts drie klassen van belang (zie tabellen 14 en 15).

De minerale gronden zijn eerst onderverdeeld naar organische-stofgehalte, namelijk in humusarme, humeuze en humusrijke gronden volgens de criteria weergegeven in tabel 4. Vervolgens is elke groep verder onderverdeeld naar vochtleverend vermogen. Dit levert in totaal 8 klassen van minerale gronden. Samen met de drie klassen bij de veengronden brengt dit het totaal op 11.

Een groot deel van het zuidelijk en oostelijk zandgrasland heeft een vochtleverend vermogen van ongeveer 100 mm. Ze bevinden zich daarmee in het grensgebied van de klassen met matig en gering vochtleverend vermogen. Omdat in deze regio's op grote schaal wordt berekend zijn bedoelde gronden (overwegend veldpodzol- en gooreerdgronden) tot de klasse met een gering vochtleverend vermogen gerekend. Per onderscheiden klasse is het totale of bruto-graslandareaal volgens LGN vastgesteld (tabel 16).

De klasse 10 komt in de praktijk nauwelijks voor. Ruim 51 procent van het graslandareaal ligt op gronden met een groot vochtleverend vermogen (>150 mm). Ongeveer 36 procent ligt op gronden met een matig vochtleverend vermogen (100-150 mm) en bijna 13 procent op gronden met een gering vochtleverend vermogen (<100 mm).

De procentuele verdeling van de 11 onderscheiden klassen van optimale N-giften is ook per regio berekend. Daartoe is eerst uit de mei-inventarisatie van 1986 (CBS, 1987) het procentuele aandeel van elk van de 14 gebieden in het landelijk graslandareaal vastgesteld. Vervolgens is via een overlay van de graslandkaart met de kaart van de berekende optimale N-giften de verdeling van het graslandareaal over de verschillende klassen berekend. Daarna is per gebied het graslandareaal van elke klasse vermenigvuldigd met het procentuele aandeel van dat gebied in het landelijk totaal (tabel 17).

Tabel 16 Bruto oppervlakte grasland in ha en in procenten per onderscheiden klasse van berekende optimale N-gift

Klasse	Optimale N-gift (kg/ha)	Grondsoort	Ontwatering/ vochtleverend vermogen	Oppervlakte		
				(ha)	(%)	
1	120	eutroofveen	Gt II*, IV	86 748	5,9	18,7%
2	280	meso/oligotroofveen	Gt I, II	170 027	11,7	
3	205	moerige associaties	Gt II, III	16 173	1,1	
4	360	humusrijk	175 mm	117 624	8	31,4
5	420	humeus	175 mm	245 541	16,7	
6	455	humusarm	175 mm	98 511	6,7	
7	295	humusrijk	125 mm	30 876	2,1	37,2
8	355	humeus	125 mm	305 824	20,8	
9	385	humusarm	125 mm	210 254	14,3	
10	285	humeus	75 mm	1470	0,1	12,7
12	315	humusarm	75 mm	185 259	12,7	
totaal				1 571 750	100	

Tabel 17 Procentuele verdeling van de 11 onderscheiden klassen van berekende optimale N-giften over het graslandareaal per regio en landelijk

Klasse	Noordelijk zeekleigebied		Hollandse en IJsselmeerpolders		Zuidwestelijk zeekleigebied		Rivier- kleigebied		Löss	
	regio	land.	regio	land.	regio	land.	regio	land.	regio	land.
1	0,5	0,0	2,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0
2	3	0,2	7,5	0,2	2,6	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0
3	0,6	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,8	0,0	3,3	0,1	3,1	0,1	1,6	0,1	1,0	0,0
5	51,7	2,7	18,8	0,4	50,7	1,4	37,6	3,3	10,9	0,1
6	8,2	0,4	42,8	0,9	20,3	0,6	5,9	0,5	55,8	0,7
7	5,2	0,3	7,6	0,2	0,4	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0
8	5,1	0,3	13,9	0,3	15,4	0,4	24,7	2,1	9,6	0,1
9	22,8	1,2	3,6	0,1	5,8	0,2	25,4	2,2	16,3	0,2
10	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	2,0	0,0	0,6	0,0	1,7	0,0	3,5	0,3	5,8	0,1
totaal	99,9	5,2	100,1	2,0	100,1	2,8	100	8,7	100	1,3

Klasse	Noordelijk weidegebied		Westelijk weidegebied		Noordelijk zandgebied		Oostelijk zandgebied		centraal zandgebied	
	regio	land.	regio	land.	regio	land.	regio	land.	regio	land.
1	4,5	0,6	9,8	1,5	18,1	2,8	3,9	0,5	2,0	0,1
2	27,6	3,9	33,0	4,9	9,3	1,4	0,4	0,1	6,4	0,4
3	2,3	0,3	0,4	0,1	1,5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
4	3,2	0,6	5,1	0,8	5,7	0,9	19,3	2,5	25,9	1,5
5	16,7	2,4	9,2	1,4	5,3	0,8	11,1	1,4	13,9	0,8
6	9,2	1,3	10,2	1,5	1,3	0,2	1,7	0,2	5,6	0,3
7	0,8	0,1	6,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,2
8	14,0	2,0	8,8	1,3	25,1	3,9	21,5	2,8	29,9	1,7
9	16,0	2,3	16,6	2,6	23,8	3,7	5,9	0,8	2,1	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	5,8	0,8	0,8	0,1	10,0	1,5	36,1	4,7	10,0	0,6
totaal	100,1	14,3	100,3	14,8	100,1	15,4	100,1	12,9	100,1	5,7

Klasse	Zuidelijk zandgebied		Veenkoloniën		Overig Noord-Holland		Overig Zuid-Holland	
	regio	land.	regio	land.	regio	land.	regio	land.
1	1,2	0,2	12,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,4	0,2	16,8	0,2	8,4	0,1	3,1	0,0
3	0,1	0,0	9,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
4	6,4	0,9	0,2	0,0	28,6	0,4	19,0	0,1
5	12,0	1,6	3,8	0,0	22,6	0,3	44,4	0,1
6	1,0	0,1	0,9	0,0	26,5	0,4	19,0	0,1
7	1,2	0,2	0,0	0,0	9,8	0,1	4,4	0,0
8	40,2	5,5	31,1	0,4	0,0	0,0	9,2	0,0
9	5,4	0,7	10,5	0,1	4,1	0,1	0,0	0,0
10	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	30,6	4,2	14,7	0,2	0,0	0,0	1,0	0,0
totaal	100,1	13,6	100	1,3	100,1	1,5	100,1	0,3

In het Noordelijk zeekleigebied komen vooral de klassen 5 en 9 voor; in het Zuidwestelijk zeekleigebied klasse 5. Op rivierklei zijn de klassen 5, 8 en 9 van belang. In het noordelijk en westelijk veenweidegebied zijn de klassen 2, 5, 6, 8 en 9 belangrijk. Klassen 1, 2, 4, 5, 8, 9 en 11 komen vrij veel voor in de zandgebieden.

Om een gemiddelde optimale N-gift te berekenen voor al het (CBS-)cultuurgrasland per gebied moet rekening worden gehouden met de verhouding tussen het oppervlak CBS-grasland en het oppervlak LGN-grasland per gebied (tabel 18). In het algemeen is de verhouding tussen CBS-grasland en LGN-grasland van een gebied hoog als het een typisch veehouderijgebied is, zoals het Noordelijk weidegebied en het rivierengebied. Daarentegen is de verhouding laag in typische akkerbouwgebieden als de Veenkoloniën, de IJsselmeerpolders en het Zuidwestelijk zeekleigebied.

Tabel 18 *Oppervlakten aan grasland in de 14 gebieden van Nederland volgens de Landelijke Grondgebruiksdatabank van Nederland (LGN) en volgens het Centraal Bureau van de Statistiek (CBS). Gegevens van 1986*

Gebieden	LGN (ha)	CBS (ha)	CBS/LGN (%)	Landelijk aandeel (%)
Noordelijke Zeekleigebied	75 208	59 661	79,3	5,2
Holl.- en IJsselmeerpolders	46 924	22 815	48,6	2,0
Zuidw. zeekleigebied	62 253	32 131	50,8	2,8
Rivierkleigebied	102 451	99 494	97,1	8,7
Lössgebied	18 096	15 013	83,0	1,3
Noordelijk weidegebied	195 080	163 329	83,7	14,3
Westelijk weidegebied	212 109	169 501	79,9	14,8
Noordelijk zandgebied	235 331	176 027	74,8	15,4
Oostelijk zandgebied	175 385	147 476	84,0	12,9
Centraal zandgebied	79 729	65 284	81,8	5,7
Zuidelijk zandgebied	208 180	154 803	74,4	13,6
Veenkoloniën	30 951	15 020	48,5	1,3
Overig Noord-Holland	22 981	17 487	76,1	1,5
Overig Zuid-Holland	5 628	3 936	69,9	0,3
Totaal	1 470 306	1 141 977	77,7	100

De gewogen gemiddelde optimale N-gift is 421 kg per ha per jaar, bij een marginale droge-stofopbrengst van 7,5 kg per kg N. Bij een marginale droge-stofopbrengst van 10 kg per kg N is de gemiddelde optimale N-gift 337 kg per ha. Deze gemiddelden gelden alleen voor een gemiddeld jaar, wat weersomstandigheden betreft, en bij een optimaal graslandmanagement.

Het gemiddelde van 421 kg per ha per jaar bij een marginale droge-stofopbrengst van 7,5 kg per ha per jaar is slechts iets hoger dan het gewogen gemiddelde van de huidige globale richtlijn voor N-bemesting van grasland op goed ontwaterd veen en alle andere grondsoorten. Dit geringe verschil is niet verbazend, omdat zowel de huidige globale richtlijn als de in deze studie berekende optimale N-gift grotendeels gebaseerd zijn op dezelfde proefresultaten. Het grote pluspunt van de in deze studie afgeleide optimale N-gift is, dat nu rekening wordt gehouden met verschillen in N-behoefte per grondsoort. Bij bemesting volgens deze berekende optimale N-giften is derhalve de benutting van de toegediende N door het gras goed op alle minerale gronden en op alle veengronden en moerige gronden.

Voordat de in deze studie afgeleide optimale N-giften kunnen worden toegepast in de praktijk, dient eerst de invloed van beweiding op de optimale N-gift te worden bepaald. Bovendien moeten de in deze studie voor een geheel jaar afgeleide optimale N-giften worden vertaald naar snedebasis. Momenteel zijn studies gaande om deze lacunes op te vullen.

7 LITERATUUR

BAAN HOFMAN, T., 1988. *Effecten van stikstofgift en maaifrequentie op de drogestofopbrengst van Engels raaigrassen die verschillen in persistentie*. Wageningen. CABO-verslag 86.

BOHEEMEN, P.J.M. VAN, 1984. "Additional water use and production of grassland under irrigation." In: Riley H and Skjelvag AO (edt) *The impact of climat on grass production and quality, Proceedings of the 10th meeting of the European Grassland Federation*, 307-311. Ås, Noorwegen.

BREGT, A.K., J. DENNEBOOM, Y. VAN RANDEN en E. ROSÉ, (1987) *Gebruikers-handleiding bodemkundig informatiesysteem*. Rapport nr. 1945, Stiboka, Wageningen.

BURG, P.F.J. VAN, K. DILZ en W.H. PRINS, 1982. "Landbouwkundige waarde van verschillende stikstofmeststoffen." *Stikstof* 100, 518-540.

CAPELLEVEEN, P.A. VAN, 1988. *Aspecten van informatieverwerking 62*; Thema-kaarten voor de Cultuurtechnische Inventarisatie met behulp van ARC/INFO. Nota 1881, ICW, Wageningen.

CBS, 1987. *Landbouwcijfers Voorburg*. Centraal Bureau voor de Statistiek.

DIRVEN, J.G.P. en K. WIND, 1980. "De beworteling van enige grassoorten bij verschillende bodemvruchtbaarheid". *Stikstof* 95, 354-359.

DOWDELL, R.J. and C.P. WEBSTER, 1984. "Effect of drought and irrigation on het fate of nitrogen applied to cut permanent grass swards in lysimeters: experimental design and crop uptake." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35 II, 1093-1104.

ENNIK, G.C. and T. BAAN HOFMAN, 1983. "Variation in the root mass of ryegrass types and its ecological consequences." *Netherlands Journal of Agricultural Science* 31, 325-334.

GALLAGHER, J.N. and P.V. BISCOE, 1978. "Radiation absorption, growth and yield of cereals." *Journal of Agricultural Science* 91, 47-60.

GARWOOD, E.A., K.C. TYSON and C.R. CLEMENTS, 1977. *A comparision of yield and soil conditions during 20 years of grazed grass and arable cropping*. Hurley (Groot Britannië) Technical report no. 2, Grassland Research Institute, 89 pp.

GASTAL, F. and G. LEMAIRE, 1988. *Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions*. Proceedings of the 12th meeting of the European Grassland Federation, Dublin, 323-327.

GOSSE, G., C. VARLET-GRANCHER, R. BONHAMME, M. CHARTIER, J. ALLIRAND and G. LEMAIRE, 1986. "Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal." *Agronomie* 6 (1), 47-56.

HAANS, J.C.F.M., 1979. *De interpretatie van Bodemkaarten*. Rapport van de werkgroep Interpretatie Bodemkaarten Stadium C, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

HOWELL, T.A. and J.T. MUSICK, 1984. *Relationship of dry matter production of field crops to water*. Les besoins en eau des cultures, Conf. int. CIID, Paris, 11-14 sept.

JANSSEN, P.H.M., W. SLOB en J. ROTMANS, 1990. *Gevoeligheidsanalyse en onzekerheids-analyse: een inventarisatie van ideeën methoden en technieken*. Rapport 958805001, RIVM, Bilthoven.

JENKINSON, D.S., 1988. "Soil organic matter and its dynamics." In: Wild A (edt) *Russell's soil conditions and plant growth*, Longman, Harlow, 564-607.

JOHNSON, I.R. and J.H.M. THORNLEY, 1983. "Vegetative crop growth model incorporating leaf area expansion and senescence, and applied to grass." *Plant, cell and environment* 6, 721-729.

JOHNSON, A.E., S.P. MCGRATH, P.R. POULTON and P.W. LANE, 1989. "Accumulation and loss of nitrogen from manure, sludge and compost: long-term experiments at Rothamsted and Woburn." In: Hansen JA and Hendriksen K (edt) *Nitrogen in organic wastes applied to soils*, Academic Press, Londen, 129-139.

JONES, M.B. and A. LAZENBY (edt), 1988. *The grass crop. The physiological basis of production*. Chapman and Hall, Londen, 369 pp.

LANTINGA, E.A., 1989. *Simulatie van grasproductie*. Gebundelde verslagen Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw nr 30.

MEER, H.G. VAN DER and M.G. UUM-VAN LOHUYZEN, 1986. "The relationship between inputs and outputs of nitrogen in intensive grassland systems." In: Meer HG van der, Ryden JC and Ennik GC (edt) *Nitrogen fluxes in intensive grassland systems*, Dordrecht, 1-18.

MINISTERIE VAN LANDBOUW EN VISSERIJ, 1987. *Dierlijke mest*. Wageningen. Vlugschrift voor de Landbouw nr. 406.

NIELSEN, B.F., 1963. *Transpiration Ratio and nutrient ratios as influenced by interaction between water and nitrogen*. Andelsbogtrykkeriet Odense, Denemarken.

NOIJ, I.G.A.M., 1989. *Verfijning N-advies voor grasland naar bodemtype en grondwatertrap*. Lelystad. Consulentenschap in Algemene Dienst voor Bodem-, Water- en Bemestingszaken in de veehouderij.

PRINS, W.H. (1983) *Limits to nitrogen fertilizer on grassland*. Doctoral thesis, Wageningen.

PRINS, W.H., P.F.J. VAN BURG and H. WIELING, 1980. "The seasonal response of grassland to nitrogen at different intensities of nitrogen fertilization, with special reference to methods of response measurement." In: Prins WH and Arnold GH (edt) *The role of nitrogen in intensive grassland production, Proceeding of the International Symposium of the European Grassland Federation, 25-29 August 1980*, Wageningen.

RABBINGE, R., S.A. WARD and H.H. VAN LAAR, 1989. *Simulation and systems management in crop protection*. Simulation Monograph 32, PUDOC, Wageningen.

REID, D., 1972. "The effect of long-term application of a wide range of nitrogen rates on the yields from perennial ryegrass swards with and without clover." *Journal of Agricultural Science* 79, 291-301.

ROSSITER, D.G., 1990. "AIES: a framework for land evaluation using a micro-computer." *Soil use and management* 6, 7-20.

SIBMA, L. and TH. ALBERDA, 1980. "The effect of cutting frequency and nitrogen fertilizer rates on dry matter production, nitrogen uptake and herbage nitrate content." *Netherlands Journal of Agricultural Science* 28, 243-251.

SNIJDERS, P.J.M., J.J. WOLDRING, J.H. GEURINK en H.G. VAN DER MEER, 1987. *Stikstofwerking van geïnjecteerde runderdrijfmest op grasland*. Rapport 103, PR-Lelystad/CABO-Wageningen.

SOESBERGEN, G.A. VAN, C. VAN WALLENBURG, K.R. VAN LYNDEN en H.A.J. VAN LANEN, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Systeem voor de geschiktheids-bevordering van gronden voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw. Rapport nr. 1967, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

SPIERTZ, J.H.J., 1982. *Physiological and environmental determinants of potential crop productivity*. Proc. 12th Int. Patasse Inst. Cong. Goslar (RFA), 27-45.

STEUR, G.G.L., F. DE VRIES en C. VAN WALLENBURG, 1985. *Bodemkaart van Nederland 1 : 250 000*. Stichting voor bodemkartering. Wageningen.

THUNNISSEN, H., R. OLTHOF, P. GETZ en L. VELT, 1991. *Grondgebruiksdatabank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen*. Rapport 168, Staring Centrum, Wageningen.

VELTHOF, G.L., O. OENEMA, J. POSTMUS and W.H. PRINS, 1990. "In-situ field measurements of ammonia volatilization from urea and calcium ammonium nitrate applied to grassland." *Meststoffen* 1/2, 41-45.

WHITEHEAD, D.C., 1984. "Interactions between soil and fertilizer in the supply of nitrogen to ryegrass grown on 21 soils." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35, 1076-1075.

WIELING, H., 1981. *Het optimale melkveebedrijf*. PR-rapport 18, Lelystad.

WOPEREIS, F., 1991. *Bodemgeschiktheid voor emissie-arme mesttoedieningstechnieken van grasland in zandgebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 159.

NIET GEPUBLICEERDE BRONNEN

HASSINK, J. (in prep.). *Mineralization of organic matter in various grassland soils*. Proefschrift Wageningen.

VELLINGA, TH. V., 1991. *Aanzetten voor een nieuw bemestingsadvies voor grasland* (werktitel). Proefstation voor de rundveehouderij. Rapport.

VOCHTLEVEREND VERMOGEN VAN HET NEDERLANDSE GRASLANDAREAAL

SCHAAL 1 : 1 500 000

Vochtleverend vermogen (mm)



> 150



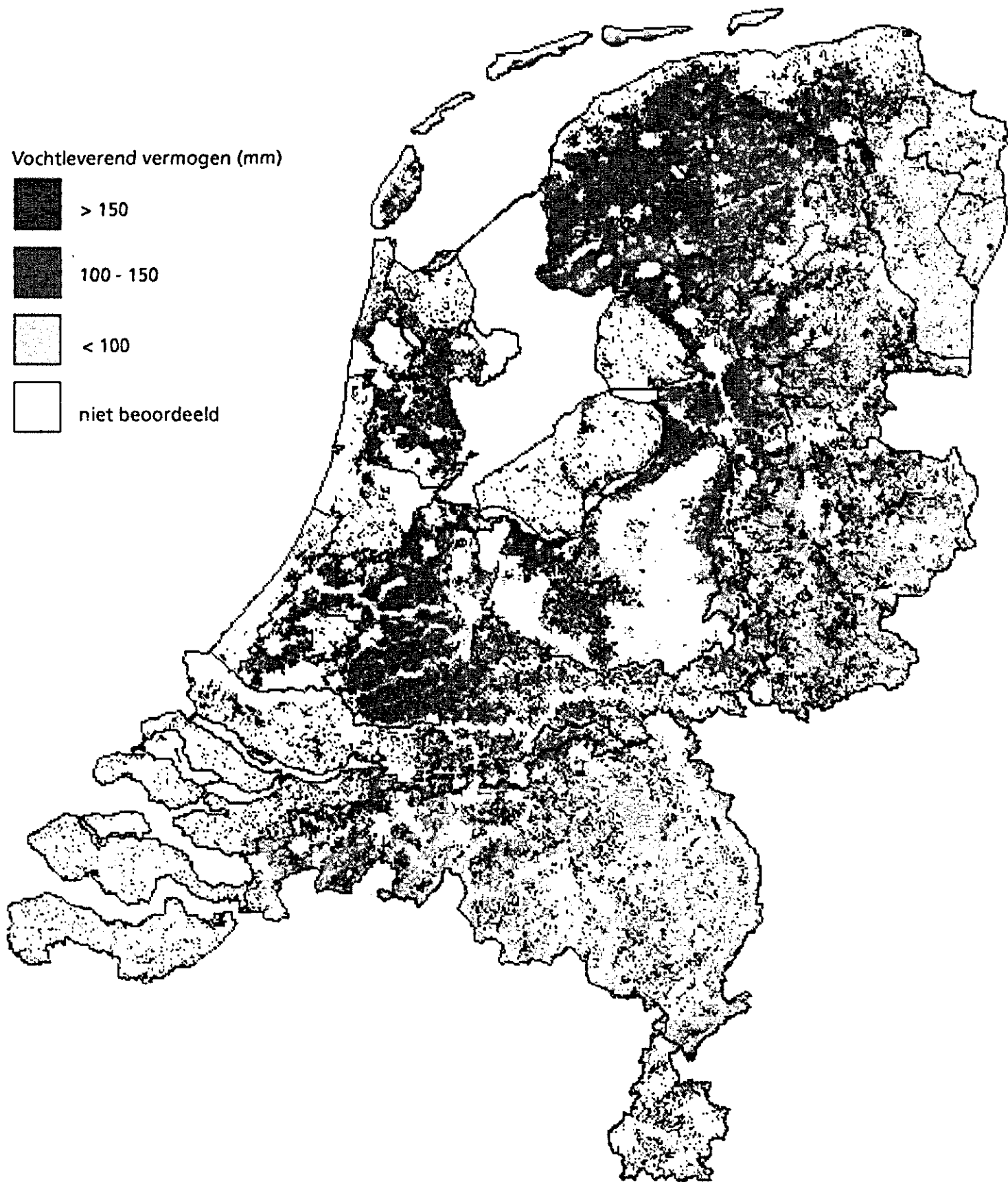
100 - 150



< 100



niet beoordeeld



DLO-STARING CENTRUM

Samenstelling: Ing. F. A. Wopereis - afd. Landevaluatiemethoden

Visualisering: Ing. H. Kramer - afd. Remote Sensing

Uitgave 1991

Basis: Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland (LGN)

Alle Rechten Voorbehouden

GLOBALE INDELING VAN DE NEDERLANDSE BODEMEENHEDEN NAAR
HET SCHIJNBAAR STIKSTOFLEVEREND VERMOGEN (ANS)

SCHAAL 1 : 750 000

LEGENDA

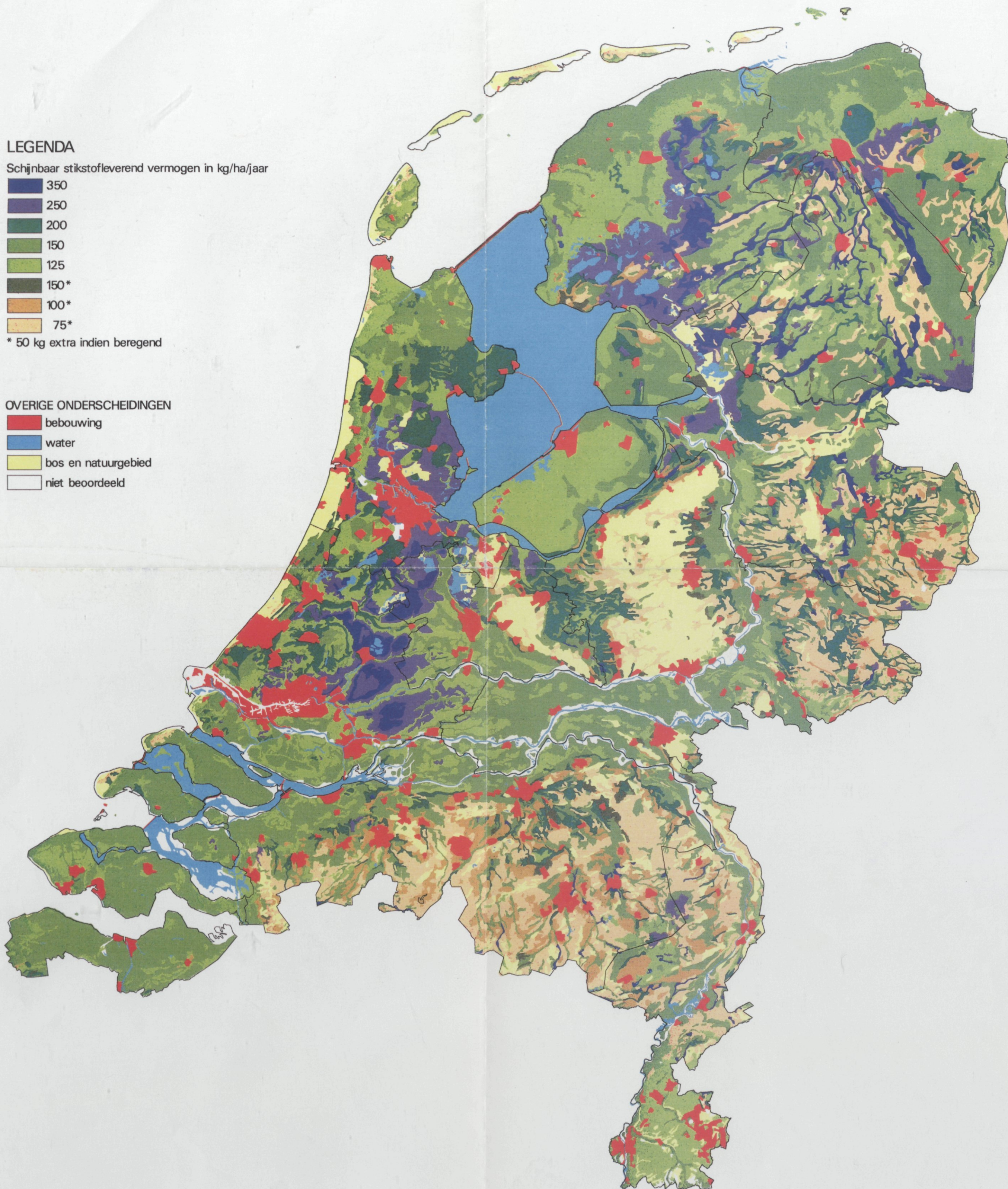
Schijnbaar stikstofleverend vermogen in kg/ha/jaar

350
250
200
150
125
150*
100*
75*

* 50 kg extra indien berekend

OVERIGE ONDERSCHEIDINGEN

bebouwing
water
bos en natuurgebied
niet beoordeeld

DLO - STARING CENTRUM, WAGENINGEN
Instituut voor Onderzoek van het Landelijk GebiedSamenstelling: Ing. F.A. Wopereis - afd. Landevaluatiemethoden
Kartografie: C. Schuiling Projectnr. 451 - 910099
Uitgave: 1991 Basis: Bodemkaart van Nederland, 1 : 250000
ALLE RECHTEN VOORBEHOUDEN

0 15 30 km

BEREKENDE OPTIMALE STIKSTOFGIFT VOOR GRASLAND ALS FUNCTIE VAN HET
VOCHT- EN SCHIJNBAAR STIKSTOFLEVEREND VERMOGEN VAN DE GROND

SCHAAL 1 : 750 000

LEGENDA

Optimale stikstofgift in kg/ha/jaar

Veengronden Voedselrijkdom

120	eutroof
280	meso-/oligotroof

Moerige gronden

205

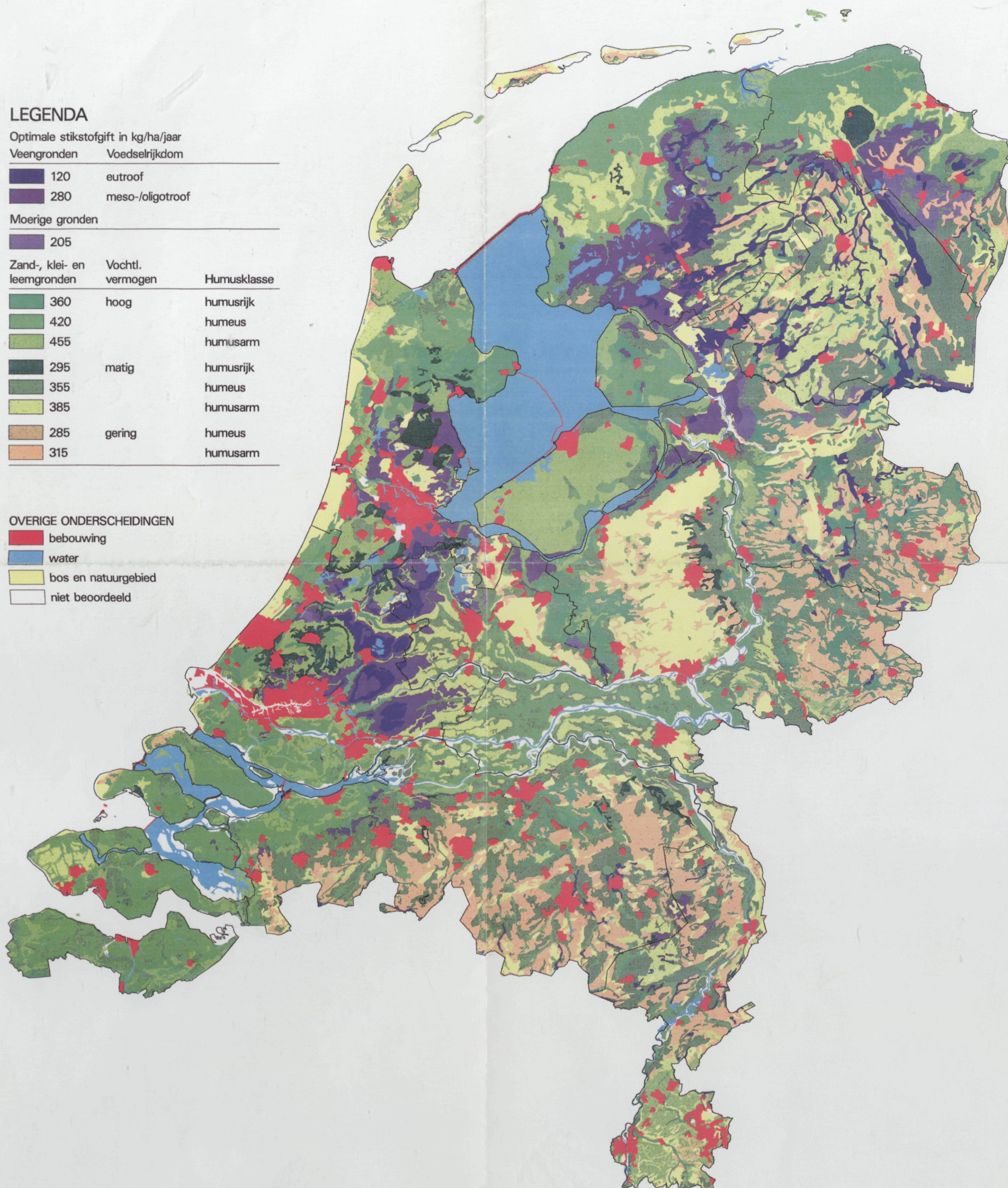
Zand-, klei- en
leemgrondenVochtl.
vermogen

Humusklasse

360	hoog	humusrijk
420		humeus
455		humusarm
295	matig	humusrijk
355		humeus
385		humusarm
285	gering	humeus
315		humusarm

OVERIGE ONDERSCHIEDINGEN

bebouwing
water
bos en natuurgebied
niet beoordeeld

DLO - STARING CENTRUM, WAGENINGEN
Instituut voor Onderzoek van het Landelijk GebiedSamenstelling: Ing. F.A. Wopereis - afd. Landevaluatiemethoden
Kartografie: C. Schuiling Projectnr. 451 - 9100100
Uitgave: 1991 Basis: Bodemkaart van Nederland, 1 : 250000
ALLE RECHTEN VOORBEHOUDEN

0 15 30 km