

STIKSTOFMINERALISATIE IN ONBEMESTE
HALF-NATUURLIJKE GRASLANDEN

R.H. Kemmers en P.C. Jansen

RAPPORT 14

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING (ICW)
POSTBUS 35, 6700 AA WAGENINGEN

1985

237 373

Tussen de jaren 1957 en 1964 zijn 23 Rapporten (eerste serie) verschenen. In 1982 is de reeks in een andere vorm hervat als RAPPORTEN (nieuwe serie).

Te verkrijgen RAPPORTEN (nieuwe serie)

1. Sprik, J.B. en G.H. Horst. 1982. Onderzoek naar capaciteitsnormen voor diepploegen, bulldozers en hydraulische graafmachines.
2. Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland. 1982. Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing.
3. Hoeks, J. en G.J. Agelink. 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen.
4. Alderwegen, H.A. van. 1982. Planning van openlucht-recreatievoorzieningen bij voorbereiding van land-inrichtingsprojecten.
5. Rijtema, P.E. et al. 1982. Bemesting, waterhuishouding, perceelscheidingen en landbouw. Commentaar op een RIN-rapport.
6. Harmsen, J. en H. van Drumpt. 1982. Conservering van watermonsters.
7. Ernst, L.F. 1983. Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden.
8. Steenvoorden, J.H.A.M. en M.J. de Heus. 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen.
9. Wijk, A.L.M. van. 1984. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden. Commentaar op een literatuuranalyse.
10. Beuving, J. 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden.
11. Weerd, B. van der en L.F. Ernst. 1984. Een prognose van het effect van een peilverhoging in het Philippinekanaal (Zeeland) op de grondwaterstand in de aangrenzende polders.
12. Werkgroep Nitraatuitspoeling in waterwingebieden. 1985. Nitraatproblematiek bij grondwaterwinning in Nederland. Onderzoek naar alternatieve maatregelen.
13. Wilde, J.G.S. de. 1984. Dammen van riet, heide of boonschors als perceelverbinding in veenweidegebieden.
14. Kemmers, R.H. en P.C. Jansen. 1985. Stikstofmineralisatie in onbemeste half-natuurlijke graslanden.

De RAPPORTEN (nieuwe serie) zijn te bestellen door storting van het verschuldigde bedrag op giro 817672 t.n.v. ICW, Wageningen, onder vermelding van de gewenste publikatie en het aantal exemplaren. Toezending geschiedt na ontvangst van het bedrag.

Prijs Rapport 1 f 15; Rapport 2 f 10; Rapport 3 f 5; Rapport 4 f 5; Rapport 5 f 5; Rapport 6 f 5; Rapport 7 f 7,50; Rapport 8 f 7,50; Rapport 9 f 5; Rapport 10 f 7,50; Rapport 11 f 7,50; Rapport 12 f 12,50; Rapport 13 f 10; Rapport 14 f 7,50

I N H O U D

	blz.
IN KORT BESTEK	1
1. INLEIDING	1
2. THEORETISCHE BESCHOUWING	2
2.1. Omzettingen organische stof	2
2.2. Invloed van stuurvariabelen	3
3. STIKSTOFMINERALISATIE ONDER VELDOMSTANDIGHEDEN	3
3.1. Proefopzet	3
3.2. Methode	4
3.3. Resultaten en discussie	5
4. STUURVARIABLEN	6
4.1. Algemeen	6
4.2. Vochtgehalte en ammonificatie	6
4.3. Bodemtemperatuur en ammonificatie	8
4.4. Bodenzuurgraad en ammonificatie	9
5. BEPALING VAN DE MINERALISATIESNELHEIDSCONSTANTE	10
5.1. Methode	10
5.2. Resultaten	11
5.3. Discussie	12
5.4. Conclusie	12
6. SIMULATIE VAN DE STIKSTOFLEVERANTIE	12
6.1. Modelbenadering	12
6.2. Uitgangspunten	13
6.3. Veldomstandigheden	13
6.4. Resultaten en discussie	14
6.5. Conclusie	14
LITERATUUR	14
LIJST VAN BEGRIPPEN	16
Bijlage 1	18
Bijlage 2	19

IN KORT BESTEK

Stikstofmineralisatie vormt een belangrijke stikstofbron voor onbemeste (half)natuurlijke graslanden. De stikstofmineralisatie wordt via bodemtemperatuur en vochtgehalte gestuurd door de waterhuishouding. Er is weinig kennis aanwezig over de gevoeligheid van dit mineralisatieproces voor veranderingen in de waterhuishouding. Om de stikstofleverantie voor (half)natuurlijke graslanden te kunnen kwantificeren in afhankelijkheid van de waterhuishouding is een simulatiemodel ontwikkeld.

In drie half-natuurlijke graslanden met uiteenlopende milieucondities is de stikstofmineralisatie gemeten. Hiervoor zijn onder veldomstandigheden in opéenvolgende perioden van het zomerseizoen grondmonsters gefincubeerd.

Uit het onderzoek blijkt dat de stabiele humusfractie de belangrijkste leverancier is van minerale stikstof voor de vegetatie. Uit de veldmetingen is een mineralisatiesnelheidsconstante afgeleid voor de stabiele fractie. Voor de verschillende proefobjecten ligt deze constante in dezelfde grootte-orde met een gemiddelde waarde $K = 13,3 \times 10^{-4}$ mg N-min per mg N-totaal per dag.

Onder invloed van maaien wordt een gemakkelijk afbreekbare labiele fractie organisch materiaal gevormd door het afsterven van wortelbiomassa, die humificeert. Tijdens deze humificatie treedt gedurende een aantal weken een immobilisatie van minerale stikstof op waardoor nauwelijks of geen stikstof beschikbaar komt voor de vegetatie.

Met een eenvoudig simulatiemodel is de stikstofmineralisatie bepaald voor de wortelzone van vier verschillende vegetatietypen. De stikstofmineralisatie is afhankelijk gesteld van vochtgehalte, bodemtemperatuur en zuurgraad. Voor verschillende diepten werd het verloop in de tijd van het vochtgehalte en de bodemtemperatuur gesimuleerd met fysische modellen.

Voor een dotterbloemweide is een minerale stikstof leverantie berekend van $214 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ voor het groeiseizoen. Voor een blauwgrasland, een rudimentair blauwgrasland en een rudimentair veldrusschraalland is een stikstofleverantie berekend van respectievelijk 81, 107 en $68 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$. In de dotterbloemweide en het blauwgrasland komt de minerale stikstof vrijwel uitsluitend beschikbaar in de vorm van ammonium. In de rudimentaire vegetatietypen vormt ook nitraat een aandeel in de minerale stikstof.

1. INLEIDING

Mineralisatie van organische stof kan worden beschouwd als de belangrijkste bron voor de stikstofvoorziening van onbemeste half-natuurlijke graslanden. De hoeveelheid stikstof die daarbij beschikbaar komt, is niet alleen afhankelijk van het humus- en stikstofgehalte van de bodem maar ook van de invloed die de stuurvariabelen, waarvan het vochtgehalte, de bodemtemperatuur en de zuurgraad de belangrijkste zijn, op de stikstofmineralisatie hebben (BUCKMAN and BRADY, 1960; BARTHOLOMEW, 1965; ALEXANDER, 1977; RUNGE, 1983). De waterhuishouding en in het geval van de zuurgraad ook de waterkwaliteit zijn in hoge mate bepalend voor het verloop van de stuurvariabe-

len en daarmee ook voor de stikstofmineralisatie.

De samenstelling van de vegetatie wordt mede bepaald door de stikstofhuishouding in de bodem. Optimale ontwikkeling van verschillende plantesoorten in half-natuurlijke vegetaties vindt plaats onder uiteenlopende niveaus van de stikstofvoorziening. Dit heeft geleid tot het toekennen aan plantesoorten van indicatiewaarden voor de stikstofvoorziening volgens een 9-delige ordinale schaal (ELLENBERG, 1974). Deze indicatiewaarden missen doorgaans een kwantitatieve grondslag.

Veranderingen in de waterhuishouding leiden veelal tot een blijvende verandering in de stikstofleverantie van de bodem en hebben in veel gevallen een ingrijpende wijziging in de natuurlijke samenstelling van de vegetatie tot gevolg (MEYER, 1957; WILLIAMS,

1969; GROOTJANS et al., 1985a; GROOTJANS et al., 1985b).

Daarentegen is weinig kennis aanwezig over de gevoeligheid van de stikstofmineralisatie voor veranderingen in de waterhuishouding onder bodemkundig uiteenlopende omstandigheden. Vergroting van deze kennis vormt een belangrijke bijdrage aan het inzicht in de effecten van veranderingen in de waterhuishouding op de stikstofleverantie voor (half)-natuurlijke vegetaties. Tevens kan dit een aanzet vormen tot een meer kwantitatieve onderbouwing van de stikstofindicatiewaarden van plantesoorten.

Dit rapport is een beschrijving van het onderzoek, waarin een methode is ontwikkeld om de stikstofleverantie voor half-natuurlijke vegetaties te kunnen kwantificeren in afhankelijkheid van het vochtgehalte, de temperatuur en de zuurgraad van de bodem. Het onderzoek is uitgevoerd in 1981, 1982 en 1983 in enkele onbemeste half-natuurlijke graslanden die deel uitmaken van natuurterreinen in de Gelderse Vallei en het stroomdal van de Aa in Noord-Brabant.

Na een theoretische beschouwing in hoofdstuk 2 wordt in de hoofdstukken daarna ingegaan op de stikstofmineralisatie onder veldomstandigheden en op de invloed van het vochtgehalte, de bodemtemperatuur en de bodemzuurgraad op de stikstofmineralisatie. In hoofdstuk 5 wordt de mineralisatiesnelheidsconstante afgeleid uit de resultaten van de veldwaarnemingen. In het laatste hoofdstuk ten slotte wordt de stikstofleverantie berekend voor enkele vegetatietypen onder invloed van het verloop in het seizoen van het vochtgehalte en de bodemtemperatuur.

2. THEORETISCHE BESCHOUWING

2.1. OMZETTINGEN ORGANISCHE STOF

Humificatie

In onbemeste half-natuurlijke graslanden vallen de bovengronds en ondergronds afgestorven resten van plantaardig materiaal ten prooi aan biochemische omzettingsprocessen in de bodem. Makkelijk afbreekbare componenten van het uitgangsmateriaal zoals suikers en eiwitten worden snel afgebroken. Deze primaire afbraakproducten worden voor een niet onaanzienlijk deel gebruikt voor de synthese van complexe organische verbindingen in het celmateriaal van de tijdens de humificatie sterk groeiende microbenpopulatie. Humus kan tot voor de helft uit microbiologisch weefsel bestaan (BUCKMAN and BRADY, 1960).

Moeilijk afbreekbare componenten zoals cellulose en lignine worden niet afgebroken of zeer langzaam omgezet in een gemodificeerde vorm. Humus, het eindproduct van deze biochemische omzettingen, bestaat uit de gemodificeerde moeilijk afbreekbare restanten van het plantaardig uitgangsmateriaal en de levende danwel dode microbiologische syntheseproducten. Dit eindproduct wordt als een moeilijk afbreekbare stabiele substantie beschouwd: de stabiele humus (zie ook lijst met begrippen).

Microbiologisch weefsel is aanzienlijk rijker aan N-componenten dan plantaardig weefsel. Dit uit zich in een lage C/N-verhouding (C/N) voor microbiologisch weefsel, in de orde van 4 tot 9. Plantaardig weefsel heeft een C/N variërend tussen 20 en 90 (BUCKMAN and BRADY, 1960). Tijdens de humificatie zal daarom een sterke concurrentie optreden om de stikstof uit het relatief N-arme plantaardige materiaal, met als gevolg dat de stikstof wordt vastgelegd in het microbiologisch materiaal. Men spreekt in dit geval van stikstofimmobilisatie. Naast inbouw van N-componenten worden ook de in het plantaardige materiaal rijkelijk aanwezige C-componenten ingebouwd. Een gedeelte van de koolstof ($\pm 60\%$) wordt echter als energiebron gebruikt en gaat als CO_2 verloren (VAN VEEN, 1977). Resultante van deze processen is dat tijdens de humificatie een daling optreedt in de C/N van het plantaardig uitgangsmateriaal. Na volledige humificatie zal een stabiele humusvorm ontstaan zijn met een C/N variërend tussen 9 en 12.

Mineralisatie

De humificerende organismen vervallen tot een aanzienlijk lagere activiteit indien de energiebronnen afkomstig van de makkelijk afbreekbare componenten in het plantaardig uitgangsmateriaal zijn verbruikt. Het oorspronkelijke plantaardige materiaal is dan geïncorporeerd in de stabiele humusfractie met een lage C/N-verhouding. De relatieve vraag naar minerale N-componenten valt in deze fase terug omdat de C/N-verhouding van de stabiele fractie zeer dicht genaderd zal zijn tot die van het microbiologisch materiaal. Per eenheid omgezet koolstof is minder N-mineraal benodigd voor synthesesdoeleinden. Hierdoor komt er minerale stikstof beschikbaar. Men spreekt dan van mobilisatie van minerale stikstof. De mobilisatie van minerale stikstof tijdens de omzetting van organisch materiaal wordt ook wel mineralisatie genoemd.

De stikstofrijkdome van het oorspronkelijke plantaardige materiaal en de beschikbaarheid van minerale stikstof bepalen of mobilisatie danwel immobilisatie

van N-componenten optreedt. Verondersteld wordt (VAN VEEN, 1977; REDDY et al., 1979; HUET, 1983) dat bij stikstofgehalten <1,2% de microbiologische vraag voor synthesesdoeleinden groter is dan het plantaardig aanbod. Netto immobilisatie is daarvan het gevolg. Bij stikstofgehalten >1,8% is het aanbod groter dan de vraag en komen N-componenten beschikbaar: netto mobilisatie. Door de nauwe relatie tussen koolstof- en stikstofhuishouding is er ook sprake van grenswaarden voor de C/N-ratio. Bij een C/N-ratio <20 wordt verondersteld dat er netto mobilisatie van N-componenten optreedt. Bij een C/N-ratio >30 zal netto immobilisatie van N-componenten in de humus plaatsvinden.

Ammonificatie en nitrificatie

Van belang in dit onderzoek is de mineralisatie van stikstofhoudende componenten waarbij ammonium beschikbaar komt: ammonificatie. Zodra ammonium niet langer wordt gebruikt door micro-organismen voor synthesesdoeleinden komt het beschikbaar voor planten. Ammonificerende bacteriën zijn heterotrofe organismen. Als de omstandigheden gunstig zijn (voldoende zuurstof) wordt ammonium gebruikt als energiebron voor nitrificerende bacteriën. Als eindproduct komt nitraat beschikbaar: nitrificatie. Nitrificerende bacteriën zijn autotrofe organismen. Strikt genomen zijn stikstofmineralisatie en ammonificatie synoniem. Nitrificatie is een proces dat volgt op de ammonificatie en kan strikt genomen niet als mineralisatieproces worden beschouwd. Omdat ammonium als bron voor de nitrificatie wordt gebruikt is de som van ammonium en nitraat een maat voor de stikstofmineralisatie.

2.2. INVLOED VAN STUURVARIABLEN

Stuurvariabelen zijn factoren die de snelheid waarmee een proces verloopt, kunnen beïnvloeden. Algemeen wordt verondersteld dat de snelheid waarmee microbiologische processen verlopen sterk afhankelijk is van de stuurvariabelen temperatuur, vochtgehalte en zuurgraad.

Bij lage temperaturen is de biologische activiteit gering. Veel micro-organismen hebben een optimum temperatuur waarbij hun activiteit maximaal is. Hogere temperaturen dan het optimum leiden tot een lagere activiteit. Het vochtgehalte en de bodemdichtheid zijn bepalend voor de warmtecapaciteit van de bodem. De bodemtemperatuur is daarom gerelateerd aan het hydrologisch regime.

Ten aanzien van het vochtgehalte kennen de meeste micro-organismen eveneens een optimum. Onder het optimum is het hoge vochtgehalte oorzaak van zuurstofarmoede, boven het optimum wordt het lage vochtgehalte zelf beperkend door het verloop van fysiologische processen.

Als derde belangrijke stuurvariabele wordt de zuurgraad van de bodem beschouwd. In zijn algemeenheid wordt verondersteld dat bij pH > 5,5 mineralisatieprocessen optimaal verlopen. Bij lagere waarden van de pH neemt de snelheid van de mineralisatie af.

3. STIKSTOFMINERALISATIE ONDER VELDOMSTANDIGHEDEN

3.1. PROEFOPZET

In enkele onbemeste half-natuurlijke graslanden

Tabel 1. Overzicht van een aantal relevante milieuomstandigheden in de wortelzone (0-15 cm -mv) van de locaties waar mineralisatieproeven zijn uitgevoerd. Voor locatie D is de stikstofleverantie gesimuleerd op basis van ter plaatse gemeten grondwaterstanden en N-totaal gehalten (zie verder par. 6.3)

Locatie	A	B	C	D
Terrein	Oetert	Oetert	Groot Zandbrink	Groot Zandbrink
Vegetatietype	Veldrusschraalland rudimentair	Dotterbloemweide	Blauwgrasland	Blauwgrasland rudimentair
Bodentype	Meerveen	Vlierveen	Beekeerd	Beekeerd
Grondwatertrap	IV	II	III	III
Hoofdbestanddelen:				
- organische stof %	14,0	43,4	5,9	8,3
- afslibbare delen %	8	25	11	4
- totaal zand %	78	32	83	88
M50 (µm)	160-180	-	105-150	105-150
Droogvolumegewicht (g.cm ⁻³)	0,67	0,37	0,84	0,84
pH _{H₂O}	5,0	6,0	6,1	5,5
C-elementair (g/100 g stoofdroog)	8,44	22,75	2,63	3,31
N-totaal (g/100 g stoofdroog)	0,40	1,70	0,21	0,31

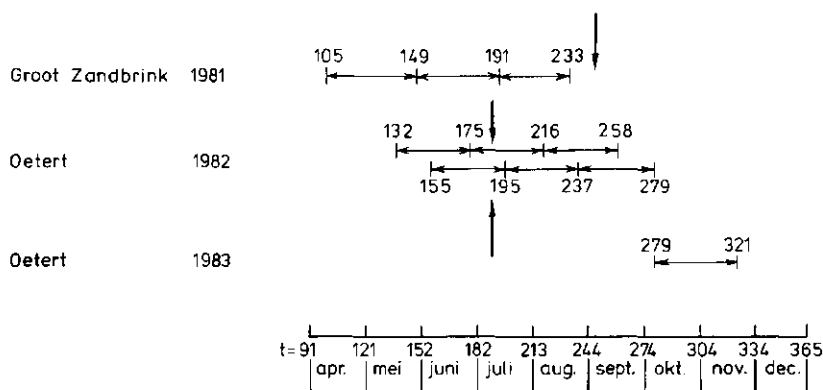


Fig. 1. Tijdschema van de mineralisatieproeven uitgedrukt in dagnummers (t) voor de Oetert en voor Groot Zandbrink. Met een verticale pijl is het maaitijdstip aangegeven

zijn in 1981, 1982 en 1983 proeven uitgevoerd om de stikstofmineralisatie te meten onder uiteenlopende veldomstandigheden. De graslanden zijn gelegen in natuurterreinen in de Gelderse Vallei (Groot Zandbrink; locatie C en D) en in het dal van de Aa in het zuidelijke Peelgebied (De Oetert; locatie A en B). In alle gevallen worden de graslanden als hooiland beheerd. Oogstverliezen zijn daarbij gering. Maaitijdstippen tijdens de proeven zijn aangegeven in Fig. 1. De veldomstandigheden zijn zodanig gekozen dat ten aanzien van de stuurvariabelen van het mineralisatieproces duidelijke verschillen aanwezig zouden zijn. In Tabel 1 zijn deze veldomstandigheden voor de wortelzone van de verschillende locaties aangegeven.

De mineralisatieproeven zijn per locatie in duplo uitgevoerd. Elke proef beslaat een periode van 42 dagen. Door herhaling van de proef in de loop van het groeiseizoen werd het effect van oplopende bodemtemperaturen en veranderende vochtgehalten op de stikstofmineralisatie gemeten. In Groot-Zandbrink werden in 1981 drie mineralisatieproeven verricht met tussenpozen van zes weken. In de Oetert werden in 1982 zes proeven per locatie verricht met tussenpozen van drie weken. In de herfst van 1983 werd voor elke locatie in de Oetert nog een aanvullende proef uitgevoerd. Het tijdschema van de mineralisatieproeven is weergegeven in Fig. 1.

3.2. METHODE

Voor het meten van de stikstofmineralisatie wordt in ecologisch onderzoek veel gebruik gemaakt van een methode waarbij grondmonsters worden geïncubeerd onder veldomstandigheden. Hierbij wordt de toename van de minerale stikstof tijdens de incubatieperiode bepaald. Een incubatieperiode van 42 dagen leidt tot de meest bevredigende resultaten (ZÜTTL, 1960; GERLACH, 1973).

De methode is als volgt: at random gestoken grondmonsters (0-10 cm -mv) worden van grove worteldelen ontdaan en intensief gemengd. Een fractie van het monster wordt binnen 24 uur geanalyseerd op N-totaal, $N-NH_4^+$ en $N-NO_3^-$. Tevens wordt de massaverhouding vocht bepaald. De andere fractie wordt in duplo overgebracht in polyethyleen zakjes. De zakjes worden licht aangedrukt, afgesloten en via een boorgat (\emptyset 8 cm) ingegraven op een diepte van 5-15 cm -mv. Het boorgaat wordt afgedekt met materiaal uit de graszode. Polyetheleenzaakjes zijn permeabel voor O_2 , CO_2 en N_2 , maar ondoorlatend voor water, zodat het vochtgehalte verondersteld wordt constant te blijven gedurende de incubatieperiode. Uitsluitend de temperatuur van het monster varieert. Aangenomen wordt dat het grondmonster de temperatuur aanneemt van het omringende medium.

Na de incubatieperiode worden de grondmonsters zo snel mogelijk geanalyseerd op N-totaal, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ en de massaverhouding vocht. Indien niet direct kan worden overgegaan tot analyse worden de monsters ingevroren en vóór analyse geleidelijk ontdooid bij koelkasttemperatuur ($5^\circ C$). Transport van grondmonsters naar het laboratorium vindt plaats onder gekoelde omstandigheden. De analyses werden verricht volgens de standaardmethoden van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek.

De toename in minerale stikstof tijdens de proef wordt uitgedrukt per eenheid totaalstikstof per tijdseenheid van 42 dagen. Aldus kan de mineralisatiesnelheid op dagbasis worden weergegeven als:

$$k = \frac{N-min_{42} - N-min_0}{0,5(N-tot_{42} + N-tot_0) \times 42} \quad (1)$$

waarin k = mineralisatiesnelheid ($mg \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$)
 $N-min_{42}$ = $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ op dag 42 ($mg \cdot kg^{-1}$ droge grond)

$N\text{-tot}_{42}$ = N-totaal op dag 42 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ droge grond)

De waarden van de mineralisatiesnelheid van de duplo series zijn gemiddeld. Deze gemiddelde waarde werd als representatief beschouwd voor de mineralisatiesnelheid gedurende de incubatieperiode.

3.3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

De resultaten van de incubatieproeven onder veldomstandigheden gedurende perioden van 42 dagen zijn voor de locaties A, B en C weergegeven in Tabel 2. Opvallend aan de resultaten is de vrij grote spreiding in de mineralisatiesnelheid van de duplo's. Mogelijke oorzaken van deze spreiding zijn:

Tabel 2. Stikstofmineralisatie (mg N-min per mg N-tot per kg droge grond) gedurende een incubatieperiode van 42 dagen in verschillende perioden van het jaar voor de locaties A, B en C. $N\text{-min}_t$: minerale stikstof op dag t; $N\text{-NO}_3_t$: nitraatstikstof op dag t; $N\text{-tot}_t$: totaal stikstof op dag t; k: mineralisatiesnelheid; \bar{k} : gemiddelde mineralisatiesnelheid (metingen verricht in duplo)

Locatie	Aanvang	Dag nr.	Vóór incubatie			Na incubatie			$k = \frac{(N\text{-min}_{42} - N\text{-min}_0)}{0,5(N\text{-tot}_{42} + N\text{-tot}_0)}$	\bar{k}
			$N\text{-tot}_0$	$N\text{-min}_0$	$N\text{-NO}_3_0$	$N\text{-tot}_{42}$	$N\text{-min}_{42}$	$N\text{-NO}_3_{42}$		
			(mg/kg droge grond)			(mg/kg droge grond)			($\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}(42 \text{ d})^{-1}$)	($\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}(42 \text{ d})^{-1}$)
A	12/ 5/82	132	3 800	24	19	4 800	40	2	$3,72 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$
						5 200	130	?	$3,56 \times 10^{-3}$	
	4/ 6/82	155	3 900	11	1	3 500	46	26	$9,5 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$
						3 500	26	13	$4,1 \times 10^{-3}$	
	24/ 6/82	175	3 700	8	2	3 200	25	11	$4,9 \times 10^{-3}$	$5,4 \times 10^{-3}$
						3 500	29	16	$5,8 \times 10^{-3}$	
	14/ 7/82	195	3 600	32	8	4 700	38	10	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-3}$
						4 100	41	33	$2,3 \times 10^{-3}$	
	4/ 8/82	216	4 000	23	7	4 000	42	31	$4,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
						4 500	11	2	$-2,8 \times 10^{-3}$	
25/ 8/82	237	3 600	13	3	3 600	25	19	$3,3 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-3}$	
					3 500	30	22	$4,8 \times 10^{-3}$		
6/10/83	279	3 600	13	13	3 900	29	29	$4,3 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-3}$	
					4 000	30	28	$4,5 \times 10^{-3}$		
B	12/ 5/82	132	17 400	97	2	17 900	197	2	$5,67 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$
						16 900	144	1	$2,74 \times 10^{-3}$	
	4/ 6/82	155	15 100	45	2	17 200	161	25	$7,18 \times 10^{-3}$	$7,6 \times 10^{-3}$
						17 300	175	21	$8,02 \times 10^{-3}$	
	24/ 6/82	175	16 600	32	6	17 300	146	0	$6,73 \times 10^{-3}$	$8,55 \times 10^{-3}$
						17 500	209	5	$10,38 \times 10^{-3}$	
	14/ 7/82	195	15 600	137	11	17 800	220	13	$4,97 \times 10^{-3}$	$2,27 \times 10^{-3}$
						16 500	130	2	$-4,40 \times 10^{-4}$	
	4/ 8/82	216	17 600	84	4	16 500	107	0	$1,35 \times 10^{-3}$	$0,53 \times 10^{-3}$
						16 100	79	0	$-0,3 \times 10^{-3}$	
25/ 8/82	237	17 700	47	1	16 000	79	0	$1,9 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-3}$	
					19 200	63	0	$0,87 \times 10^{-3}$		
6/10/83	279	15 800	28	28	16 600	75	0	$2,9 \times 10^{-3}$	$3,55 \times 10^{-3}$	
					15 600	94	0	$4,2 \times 10^{-3}$		
C	15/ 4/81	105	2 700	16	0	3 200	35	0	$6,44 \times 10^{-3}$	$6,50 \times 10^{-3}$
						2 800	34	1	$6,55 \times 10^{-3}$	
	29/ 5/81	149	3 700	6	0	2 900	16	1	$3,03 \times 10^{-3}$	$7,04 \times 10^{-3}$
						3 000	43	0	$11,04 \times 10^{-3}$	
10/ 7/81	191	2 900	7	1	3 700	24	6	$5,15 \times 10^{-3}$	$7,14 \times 10^{-3}$	
					3 100	32	0	$9,12 \times 10^{-3}$		

- inhomogeniteit uitgangsmateriaal;
- effect invriezen monster (GERLACH, 1973);
- chemische analysefouten.

De gevormde minerale stikstof bestaat op de locaties B en C op een enkele uitzondering na uitsluitend of voornamelijk uit $N-NH_4^+$. Het moet worden uitgesloten dat dit een gevolg zou zijn van een systematische fout in de proefopzet omdat de resultaten op locatie A immers laten zien dat ook $N-NO_3$ in flinke mate kan worden gevormd. Waarschijnlijker is het dat tijdens de incubatieproeven op locatie B en C nitrificatie niet optreedt door natte veldomstandigheden als gevolg waarvan anaërobe situaties aanwezig zijn.

Bij vergelijking van de proefresultaten van de verschillende locaties blijkt in de loop van het voorjaar een toename in de mineralisatiesnelheid onder veldomstandigheden op te treden. Na een optimumwaarde tussen ongeveer $t = 180$ en $t = 200$ is een zeer sterke terugval waar te nemen op de locaties A en B. In enkele gevallen is zelfs sprake van een negatieve waarde voor de mineralisatiesnelheid: na incubatie is minder N-mineraal aanwezig dan aan het begin. Geen terugval treedt op bij locatie C.

Na het dal in de mineralisatiesnelheid treedt in de loop van de nazomer weer een herstel op tot waarden die op een vergelijkbaar niveau liggen als tijdens het voorjaarsoptimum. Opvallend is dat de sterke terugval op de locaties A en B voor het eerst optreedt tijdens de incubatieproef die is ingezet op $t = 195$ kort na de eerste maaibeurt ($t = 189$).

4. STUURVARIABLEN

4.1. ALGEMEEN

Stuurvariabelen zijn factoren die de snelheid waarmee een proces verloopt kunnen beïnvloeden. Algemeen wordt verondersteld dat de snelheid waarmee mineralisatieprocessen verlopen, wordt bepaald door de invloed die de stuurvariabelen hebben op de mineralisatiesnelheidsconstante. Van deze stuurvariabelen worden de temperatuur (T), het vochtgehalte (θ) en de zuurgraad (pH) als de belangrijkste beschouwd. Door de stuurvariabelen te beschouwen als reductiefactoren van de mineralisatiesnelheidsconstante kan de mineralisatiesnelheid als volgt worden beschreven:

$$k = K F_{\theta} F_T F_{pH} \quad (2)$$

waarin k = mineralisatiesnelheid ($mg \cdot mg^{-1}$ per tijdseenheid)

K = mineralisatiesnelheidsconstante ($mg \cdot mg^{-1}$ per tijdseenheid) (= mineralisatiesnelheid onder optimale condities voor θ , T, pH)

$F_{\theta, T, pH}$ = reductiefactor

In de volgende paragrafen wordt voor de ammonificatie aangegeven welke relaties tussen de stuurvariabelen en hun respectievelijke reductiefactoren in dit rapport zijn gebruikt.

4.2. VOCHTGEHALTE EN AMMONIFICATIE

Reductiefactor voor het vochtgehalte

Door Van HUET (1983) is een overzicht gemaakt van een aantal literatuurgegevens over de relatie tussen het vochtgehalte en de reductie van het ammonificatieproces. De door de verschillende auteurs gegeven relaties vertonen enige verschillen. De optimum vocht-

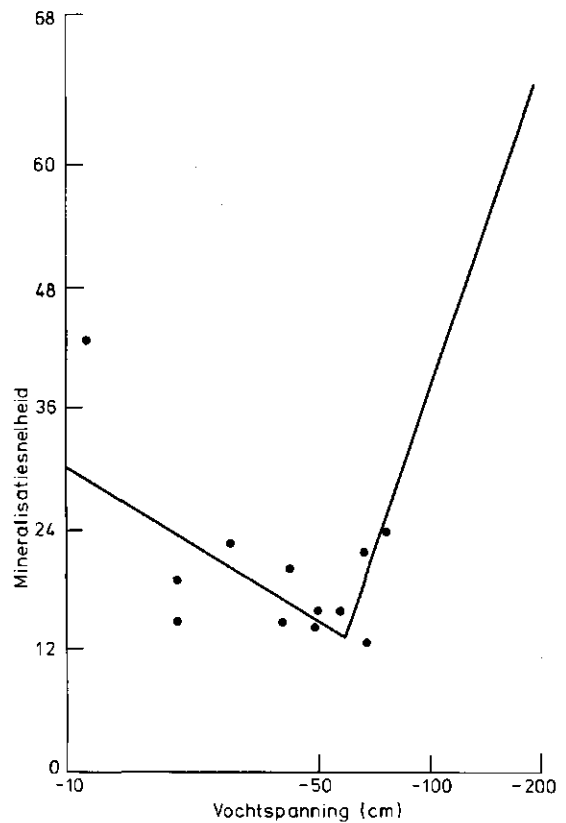


Fig. 2. Mineralisatiesnelheid (k) uitgedrukt in mg N-min per 1000 mg N-totaal over een periode van 42 dagen, gestandaardiseerd naar optimale temperatuur en zuurgraad in relatie tot de vochtspanning (h). De getrokken lijnen zijn op het oog ingetekend

gehalten voor ammonificatie liggen omgerekend naar vochtspanning tussen -100 en -500 cm (MILLER and JOHNSON, 1964; zie ook RUNGE, 1983). Een uitzondering hierop vormt het onderzoek van HUNT (1978) die optimale mineralisatie veronderstelt bij een vochtspanning van -50 cm. Hunt baseerde zijn gegevens op de mineralisatie van C-componenten. Voor ons onderzoek hebben we gekozen voor de benaderingswijze volgens DAVIDSON et al. (1978). De door hen gegeven relatie tussen de reductiefactor en de vochtspanning is gebaseerd op onderzoek naar het ammonificatieproces door MILLER and JOHNSON (1964). Zij vonden bij een vochtspanning van 0 cm een piek in de ammoniumproductie. Vanaf een vochtspanning van -150 cm of hoger vonden zij een tweede piek, die zij toeschreven aan de activiteit van ammonificerende bacteriën. De ammoniumproductie bij een zeer lage vochtspanning, die ook door andere onderzoekers werd gevonden (BHAUMIK and CLARK, 1948), schreven zij niet toe aan ammonificatie maar aan een ander onbekend proces.

In Fig. 2 is de mineralisatiesnelheid zoals deze is berekend uit veldgegevens (na gestandaardiseerd te zijn voor optimale temperatuur (zie par. 4.3) en zuurgraad (zie par. 4.4), uitgezet tegen de vochtspanning. De vochtspanning is gebaseerd op berekeningen met het model SWATRE (BELMANS et al., 1981). Uit Fig. 2 blijkt dat de benaderingswijze volgens Davidson goed voldoet. Hoewel gegevens over de mineralisatiesnelheid bij hogere vochtspanning ontbreken, lijkt rond een vochtspanning van $h = -50$ cm een minimale mineralisatiesnelheid op te treden. Uit de gegevens kan slechts een aanzet tot hogere mineralisatiesnelheden bij hogere vochtspanningen worden afgeleid.

DAVIDSON et al. (1978) onderscheidden drie vochttrajecten voor de relatie tussen de vochtreductiefactor (F_{θ}) en de vochtspanning (h):

Tabel 3. Geschematiseerde profielopbouw van de proeflocaties. A: Oetert, meerveen; B: Oetert, vlieerveen; C, D: Groot-Zandbrink, beekerd

Diepte (cm -mv)	Locatie		
	A	B	C, D
0	humeus zand		lemig humeus zand
20			
40		veen	
.			
.			
200	veen		lemig fijn zand

$$h \geq -50 \text{ cm: } F_{\theta} = 0,25 + 0,0064 (50 + h) \quad (3)$$

$$-200 \leq h < -50 \text{ cm: } F_{\theta} = 0,25 + 0,005 (-50 - h) \quad (4)$$

$$h < -200 \text{ cm: } F_{\theta} = 1 \quad (5)$$

Vochtgehalten

Voor de beschrijving van de vochtthuishouding in de onverzadigde zone op de proeflocaties is gebruik gemaakt van een aan natte omstandigheden aangepaste versie van het rekenmodel SWATRE (BELMANS et al., 1981). Dit model berekent de termen van de waterbalans van de onverzadigde zone en onder andere de vochtspanning per bodemlaag per dag.

Als invoergegevens werden dagelijks gemeten neerslaghoeveelheden en tweemaal per maand geregistreerde grondwaterstanden op dagbasis ingevoerd. Aan nabijgelegen weerstations werden op dagbasis gegevens ontleend over straling, temperatuur en luchtvochtigheid. Op grond van textuur en organisch stofgehalten zijn voor de proeflocaties (zie Tabel 1) bodemfysische eigenschappen vastgesteld, die zijn ontleend aan standaardgronden (RIJTEMA, 1969; KRABBENBORG et al., 1983). De geschematiseerde profielopbouw van de locaties is weer-

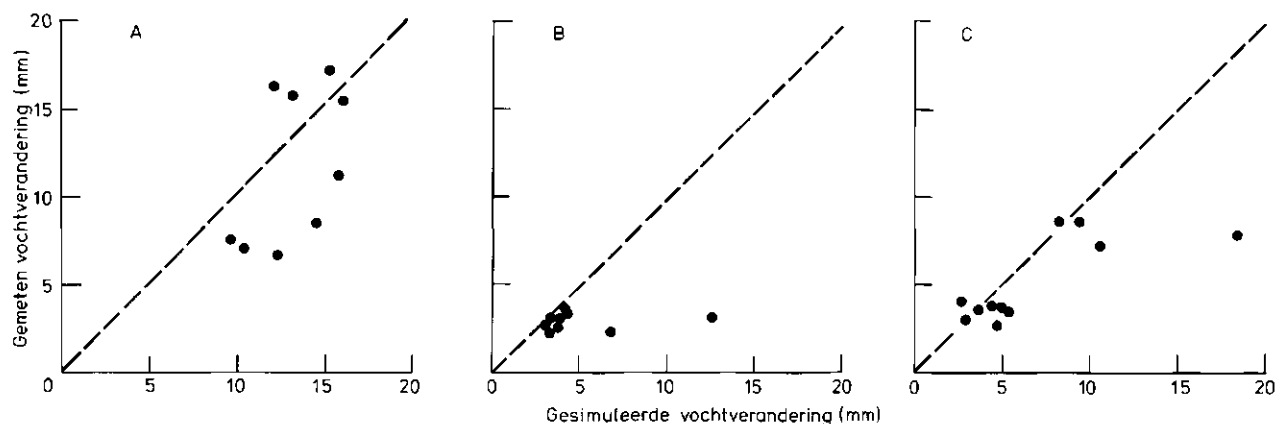


Fig. 3. Vergelijking van gesimuleerde vochtveranderingen (Δv) volgens SWATRE (Belmans et al., 1981) en gemeten vochtveranderingen met de γ -transmissiemethode in de bodemlaag van 0-10 cm -mv van de proeflocaties (A, B = Oetert; C = Groot Zandbrink)

gegeven in Tabel 3 (JANSEN en KEMMERS, 1980; JANSEN, 1984). De bodemfysische eigenschappen voor boven- en ondergrond zijn als θ -h en k-h relaties in het model opgenomen. Voor de proeflocaties is een wortelzone van 15 cm aangenomen. Voor elke laag van 5 cm zijn de vochtspanning en het vochtgehalte berekend met tijdstappen van 10 dagen. De vochtspanning werd gebruikt om in de verschillende lagen van de wortelzone de vochtreductiefactor te berekenen. De vochtgehalten zijn gebruikt om de verandering van het vochtgehalte in de laag 0-10 cm mv te berekenen en te toetsen aan de gemeten vochtverandering in die laag met behulp van de γ -transmissiemethode (RYHINER en PANKOW, 1969). De resultaten van deze toetsing zijn weergegeven in Fig. 3.

Uit Fig. 3 kan worden afgeleid dat onder droge- omstandigheden SWATRE voor locatie B en C sterkere vochtveranderingen simuleert dan worden gemeten. De vrij grote spreiding van de punten lijkt te moeten worden toegeschreven aan de op dagbasis geïnterpolerde waarden van de tweemaal per maand gemeten grondwaterstanden. Door deze interpolatie kunnen niet realistische waarden van de grondwaterstand zijn geïntroduceerd. Dit kan leiden tot gesimuleerde vochtveranderingen die niet overeenkomen met gemeten vochtveranderingen. Niettemin werden op grond van deze toetsing de gesimuleerde waarden voorlopig als acceptabel beschouwd.

4.3. BODEMTEMPERATUUR EN AMMONIFICATIE

Reductiefactor voor de temperatuur

Door Van HUET (1983) is een overzicht gemaakt van een aantal literatuurgegevens over de relatie tussen de bodemtemperatuur en de reductie van het ammonificatieproces. Veel auteurs (STANFORD et al., 1973; HAGIN and AMBERGER, 1974; HUNT, 1978; BIAT et al., 1980) hanteren circa 35°C als optimale temperatuur voor ammonificatie. Daarnaast wijst RUNGE (1983) op verschillen in temperatuuroptima in afhankelijkheid van klimaatzones. Gronden uit gematigde klimaatregio's vertonen optima voor de ammonificatie tussen 20 en 25°C, terwijl gronden in meer zuidelijke regio's optima hebben van rond de 35°C (MAHENDRAPPA et al., 1966).

Voor ons onderzoek hebben we aangenomen dat de activiteit van de relevante biologische processen een maximale waarde bereikt bij een temperatuur van 26°C. Tevens wordt verondersteld dat bij 0°C nog een geringe biologische activiteit aanwezig is (RUNGE, 1983).

Voor het temperatuurstraject van 0 tot 26°C is het reducerend effect van de temperatuur op de ammo-

nificatie beschreven met behulp van een Arrhenius-vergelijking (Van HUET, 1983):

$$F_T = e^{-9000\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\max}}\right)} \quad (6)$$

waarin F_T = reductiefactor voor de temperatuur
 T = bodemtemperatuur (K)
 T_{\max} = maximale bodemtemperatuur = 299 K

Bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur tijdens de incubatieproeven is afgeleid uit de temperatuur aan het bodemoppervlak. Als benadering van de temperatuur aan het oppervlak in de loop van het jaar is uitgegaan van een sinusvormig verloop. De bodemtemperatuur (T) op een diepte z en tijdstip t kan worden berekend volgens CARSLAW and JAEGER (1959) en FEDDES (1971) (zie ook HUET, 1982):

$$T_{z,t} = T_a + A_0 e^{-z/D} \cos(\Omega t - \psi - z/D) \quad (7)$$

waarin T_a = gemiddelde jaartemperatuur aan het oppervlak (°C)
 A_0 = jaaramplitude aan het oppervlak (°C)
 D = dempingsdiepte (cm)
 Ω = frequentie (rad·d⁻¹)
 z = diepte (cm)
 ψ = faseverschuiving
 t = dagnummer

De faseverschuiving is opgenomen omdat de temperatuur golf 1½ maand (47 dagen) in fase achterloopt bij de warmte golf die op 21 juni ($t = 172$) een maximum bereikt (Van DUIN, 1956). De temperatuur golf bereikt in dit geval een maximum op 7 augustus ($t = 219$).

Aansluitend op deze vereenvoudigde benaderingswijze zijn de volgende veronderstellingen gemaakt: $T_a = 10^\circ\text{C}$, $A_0 = 10^\circ\text{C}$, $\psi = 3,7721$ en $\Omega = 0,01721$ rad·d⁻¹.

De dempingsdiepte D bepaalt de mate waarmee de temperatuuramplitude naar de diepte toe afneemt. Deze dempingsdiepte is afhankelijk van het warmtegeleidingsvermogen en de warmtecapaciteit van de bodem (FEDDES, 1971):

$$D = \frac{2\lambda}{C\Omega} \quad (8)$$

waarin λ = warmtegeleidingsvermogen (W·m⁻¹·K⁻¹)
 C = volumetrische warmtecapaciteit (J·m⁻³·K⁻¹)
 Ω = frequentie (rad·d⁻¹)

Het warmtegeleidingsvermogen (λ) is afhankelijk

Tabel 4. Waarden van parameters die gebruikt zijn voor het berekenen van de bodemtemperatuur op verschillende diepten in de bodem van de locaties A, B, C en D: volumefracties minerale delen (x_{sm}), organische delen (x_{so}) en water (x_w); de volumetrische warmtecapaciteit (C), het warmtegeleidingsvermogen (λ) en de dempingsdiepte (D). Voor locatie D zie par. 6.3

Locatie	x_{sm}	x_{so}	x_w	C ($J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	D (cm)
A	0,348	0,050	0,489	$2,86 \times 10^6$	1,15	201,0
B	0,080	0,082	0,791	$3,70 \times 10^6$	0,42	106,5
C,D	0,599	0,027	0,574	$3,25 \times 10^6$	1,25	196,9

van het droog volumegewicht van de vaste stof en de volumefractie vocht van de bodem (FEDDES, 1971).

Daar in alle gevallen sprake is van vrij constant natte gronden met een verandering in volumefractie vocht van 0,10-0,15 in het groeiseizoen, is een constante waarde van λ in de loop van het jaar aangehouden. De volumetrische warmtecapaciteit (C) is afhankelijk van de volumefracties minerale delen (x_{sm}), organische delen (x_{so}) en water (x_w) volgens:

$$C = (1,92x_{sm} + 2,88x_{so} + 4,18x_w)10^6 \quad (9)$$

In Tabel 4 zijn voor de proeflocaties de waarden van de voor de dempingsdiepte relevante parameters gegeven.

4.4. BODEMZUURGRAAD EN AMMONIFICATIE

Reductiefactor voor de bodemzuurgraad

In het overzicht van Van HUET (1983) wordt naar verschillende literatuurbronnen verwezen ten aanzien van de invloed van de zuurgraad op de ammonificatie. BHAT et al. (1980) veronderstelden een minimale ammonificatie bij een pH = 3,5 en beschreven de invloed van de zuurgraad op de reductiefactor volgens:

$$F_{pH} = pH - 3,5 \quad (3,5 \leq pH < 4,5) \quad (10)$$

HAGIN and AMBERGER (1974) vonden maximale ammonificatie daarentegen pas vanaf een pH = 6 volgens:

$$F_{pH} = 0,2pH - 0,2 \quad (3 \leq pH \leq 6) \quad (11)$$

In dit onderzoek is gekozen voor een beschrijving van de invloed van de zuurgraad op de ammonificatie volgens een combinatie van de vergelijkingen (10) en (11). Deze benadering lijkt het beste aan te sluiten bij de veldwaarnemingen over de omzettingprocessen van de organische stof (Fig. 4). Aldus is voor het effect van de zuurgraad op de reductiefactor aangehouden:

$$F_{pH} = pH - 3,5 \quad (3,5 \leq pH \leq 4,12) \quad (12)$$

$$F_{pH} = 0,2pH - 0,2 \quad (4,13 \leq pH \leq 6,0) \quad (13)$$

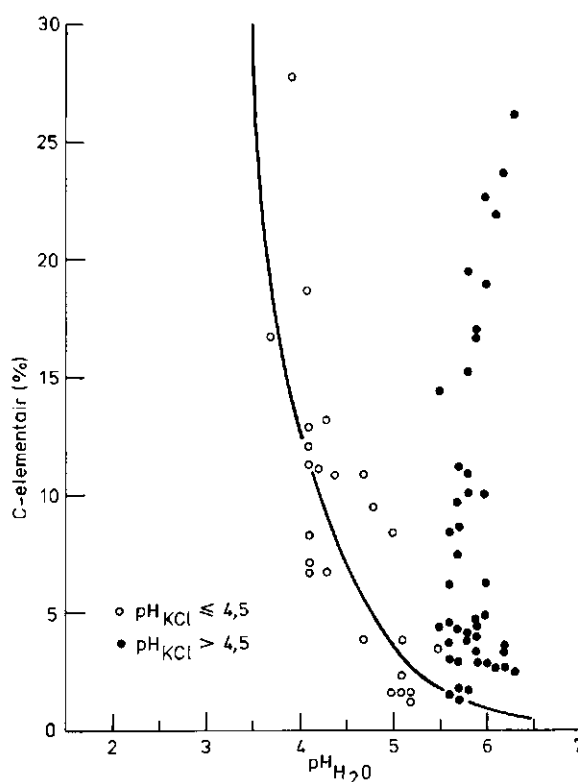


Fig. 4. Relatie tussen C-elementair (%) van de bovengrond (0-5 cm -mv) en de pH_{H_2O}
 $C_{elem.} = 3428,14e^{-1,38pH_{H_2O}}$
 $(r = 0,81)$

Bij waarden van $pH > 6$ wordt geen reductie meer verondersteld.

Bodemzuurgraad

Hoge percentages C-elementair, als maat voor het organisch stofgehalte, worden in de bodem onder uiteenlopende waarden van de zuurgraad gevonden. In Fig. 4 is het percentage C-elementair gerelateerd aan de bodemzuurgraad. De monsterpunten, die voor een gedeelte afkomstig zijn uit onderzoek van BOIH en Van WIRDUM (1981), zijn opgesplitst over twee groepen op basis van pH_{KCl} -waarden. In Fig. 5 is van beide groepen monsters de relatie aangegeven tussen C-elementair en N-totaalgehalten.

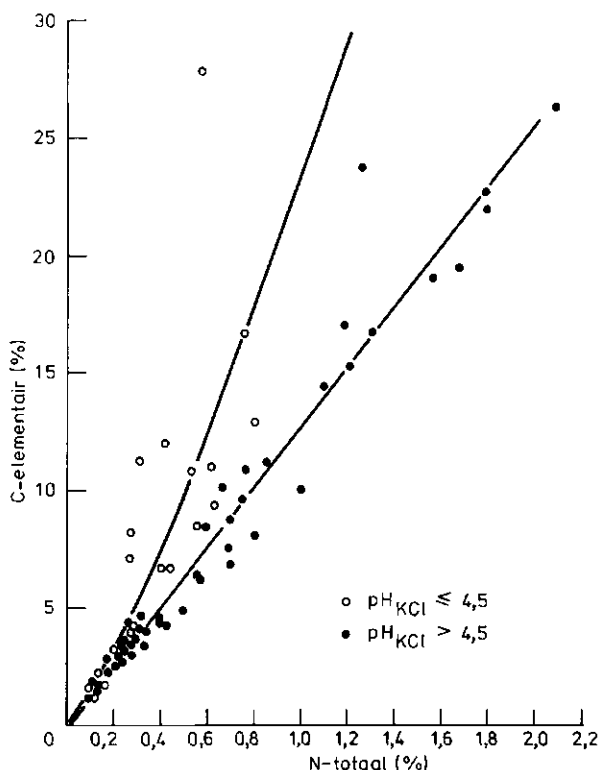


Fig. 5. Relatie tussen C-elementair (%) en het N-totaalgehalte van de bovengrond (0-5 cm -mv)

- monsters met $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,5$: C-elem. = 23,6
N-tot 1,23 ($r = 0,91$)
- monsters met $\text{pH}_{\text{KCl}} > 4,5$: C-elem. = 12,8
N-tot = 0,03 ($r = 0,98$)

Uit Fig. 5 kan worden afgeleid dat de C/N verhouding van de groep monsters met $\text{pH}_{\text{KCl}} > 4,5$ een constante waarde heeft van $\pm 12,8$. Dit wijst erop dat de organische stof uit stabiele humus bestaat die duidelijk is beïnvloed door microbiologische omzettingprocessen. De groep monsters met $\text{pH}_{\text{KCl}} \leq 4,5$ heeft een niet-constante waarde voor de C/N verhouding. Naarmate de monsters een zuurder karakter hebben, wordt de C/N verhouding groter en gaat hij meer gelijkens vertonen met die van plantaardig materiaal wat niet is beïnvloed door microbiologische omzettingprocessen.

Daar omzetting van het plantaardig materiaal vooral wordt uitgevoerd door heterotrofe organismen en daar ammonificerende organismen eveneens heterotroof zijn, kan worden geconcludeerd dat ammonificatie slechter verloopt naarmate het milieu zuurder is. De hoogste waarden voor C-elementair en de C/N verhouding worden aangetroffen bij een pH van 3,5 (zie Fig. 4 en 5). Lage waarden voor C-elementair en de C/N verhouding worden aangetroffen rond een pH van 5,5 à 6,0.

5. BEPALING VAN DE MINERALISATIESNELHEIDS-CONSTANTE

5.1. METHODE

Zoals uiteengezet in Hoofdstuk 4 is de mineralisatiesnelheid afhankelijk van stuurvariabelen. Door de mineralisatiesnelheid (k), gemeten onder veldomstandigheden, te standaardiseren naar optimale omstandigheden voor temperatuur, vocht en zuurgraad met behulp van de in Hoofdstuk 4 beschreven relaties moet in principe uit de verschillende incubatieproeven één mineralisatiesnelheidsconstante (K) kunnen worden afgeleid (zie vergelijking 2) volgens

$$K = \frac{k}{F_{\theta} F_T F_{\text{pH}}} \quad (14)$$

waarin $F_{\theta, T, \text{pH}}$ = reductiefactor

Voorwaarde daarbij is dat geen andere factoren van invloed zijn op het mineralisatieproces.

Voor het afleiden van de mineralisatiesnelheidsconstante uit de veldproeven zijn de waarden van de verschillende reductiefactoren tijdens de incubatieproeven als volgt vastgesteld.

Vochtreductiefactor

De vochtreductiefactor tijdens de incubatie is afgeleid uit de vochtspanning op 5 cm -mv. Dit is de gemiddelde diepte van de laag waaruit de grondmonsters zijn genomen (0-10 cm -mv). Met het model SWATRE is de vochtspanning berekend voor de dag (t) waarop de monsters zijn verzameld.

Temperatuur reductiefactor

De temperatuur reductiefactor is afgeleid uit de bodentemperatuur op de gemiddelde diepte van het ingegraven monster (10 cm -mv) op het tijdstip $t + 22$ (22 dagen na het begin van de incubatieproef). De bodentemperatuur werd gesimuleerd met behulp van vergelijking (7). Tijdens de incubatieproef is de temperatuur reductiefactor constant verondersteld. Dit leidt tot een overschatting van de reductiefactor tijdens de eerste helft en een onderschatting tijdens de tweede helft van de incubatieproef, wanneer de temperatuur tijdens de incubatieproef oploopt.

Zuurgraad reductiefactor

De waarde van de zuurgraad reductiefactor is afgeleid uit de gemeten $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -waarden op de locaties in

Tabel 5. Waarden voor de mineralisatiesnelheidsconstante (K) gedurende opeenvolgende perioden in het groeiseizoen, die zijn afgeleid uit de gemiddelde mineralisatiesnelheid onder veldomstandigheden (k) en de reductiefactoren voor vocht (F_{θ}), temperatuur (F_T) en zuurgraad (F_{pH}). De reductiefactoren werden berekend uit de vochtspanning (h), de temperatuur (T) en de zuurgraad (pH). Locatie A = Oetert, meerveen; B = Oetert, vlierveen; C = Groot-Zandbrink, beekeerd

Locatie	t (dag nr.)	h (cm)	F_{θ}	T (°C)	F_T	pH	F_{pH}	k (42 d) ⁻¹	K (42 d) ⁻¹
A	132	-57	0,285	13,8	0,28	5,0	0,80	36 x 10 ⁻⁴	56,4 x 10 ⁻³
	155	-66,6	0,333	17,0	0,39	5,0	0,80	68 x 10 ⁻⁴	65,5 x 10 ⁻³
	175	-49	0,256	18,7	0,48	5,0	0,80	54 x 10 ⁻⁴	55,5 x 10 ⁻³
	195	-90,4	0,452	19,4	0,50	5,0	0,80	19 x 10 ⁻⁴	10,5 x 10 ⁻³
	216	-95,2	0,476	19,2	0,49	5,0	0,80	10 x 10 ⁻⁴	5,4 x 10 ⁻³
	237	-66,6	0,333	17,6	0,42	5,0	0,80	41 x 10 ⁻⁴	36,6 x 10 ⁻³
	279	-77	0,385	12,2	0,23	5,0	0,80	44 x 10 ⁻⁴	62,1 x 10 ⁻³
B	132	-20,4	0,439	13,3	0,28	6,0	1	42 x 10 ⁻⁴	34,2 x 10 ⁻³
	155	-42	0,314	16,5	0,37	6,0	1	76 x 10 ⁻⁴	65,4 x 10 ⁻³
	175	-20,4	0,439	18,2	0,45	6,0	1	85,5 x 10 ⁻⁴	43,3 x 10 ⁻³
	195	-46	0,276	19,0	0,49	6,0	1	22,7 x 10 ⁻⁴	16,8 x 10 ⁻³
	216	-35	0,346	18,7	0,48	6,0	1	5,3 x 10 ⁻⁴	3,2 x 10 ⁻³
	237	-25,2	0,408	17,5	0,41	6,0	1	13,8 x 10 ⁻⁴	8,3 x 10 ⁻³
	279	-40	0,314	12,5	0,24	6,0	1	35,5 x 10 ⁻⁴	47,1 x 10 ⁻³
C	105	11,6	0,496	9,5	0,17	5,5	0,9	65,0 x 10 ⁻⁴	85,7 x 10 ⁻³
	149	28,4	0,388	15,9	0,35	5,5	0,9	70,4 x 10 ⁻⁴	57,6 x 10 ⁻³
	191	49,6	0,253	19,4	0,50	5,5	0,9	71,4 x 10 ⁻⁴	62,7 x 10 ⁻³

de voorjaarsperiode. Hoewel de bodemzuurgraad in de loop van het seizoen enige variatie vertoont (KEMMERS en JANSEN, 1982) werd de reductiefactor gedurende het gehele groeiseizoen constant verondersteld.

5.2. RESULTATEN

In Tabel 5 zijn voor de verschillende locaties de waarden weergegeven van de mineralisatiesnelheidsconstante K onder optimale condities voor de vochtspanning, temperatuur en zuurgraad. In Fig. 6 is de variatie in de tijd van de mineralisatiesnelheidsconstanten, omgerekend naar de mineralisatiesnelheid per dag, weergegeven.

Opvallend is dat na standaardisatie geen constante mineralisatiesnelheid wordt gevonden. Met name in het midden van de zomer (t = 190 tot t = 210 à 240) treedt bij A en B een zeer sterke terugval in de mineralisatiesnelheidsconstante op. De terugval bij locatie A en B treedt voor de eerste maal op in de incubatieproef die één week na de maaidatum werd ingezet. Op locatie C werd tijdens de proeven geen terugval in de mineralisatiesnelheidsconstante waargenomen. Ook werd in deze periode niet gemaaid.

De grootte-orde van de mineralisatiesnelheidsconstanten in voor- en nazomer lijkt voor de drie proef-

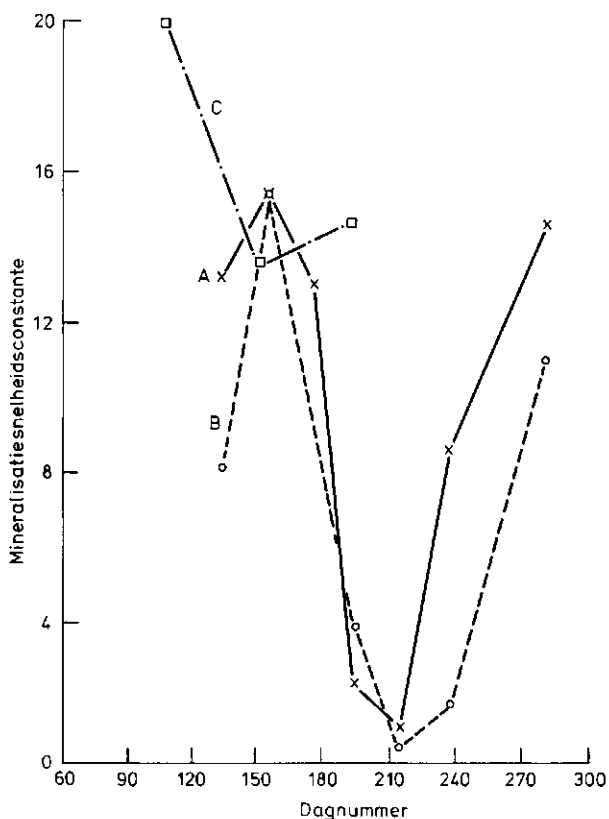


Fig. 6. Verloop in de tijd van de mineralisatiesnelheidsconstante (K), uitgedrukt in mg N-min per 10⁴ mg N-totaal per dag op de locaties A, B en C (voor locatie D zie par. 6.3)

locaties gelijk te zijn. In vergelijking tot de zeer lage waarden midden in de zomer mag worden geconcludeerd dat de mineralisatiesnelheid in de voor- en nazomer inderdaad het karakter van een constante heeft. De waarde van deze constante is te benaderen door de voor- en nazomerwaarden van de drie locaties te middelen. De constante krijgt dan een waarde $K = 13,3 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ met een standaardafwijking van $3,2 \times 10^{-4}$.

5.3. DISCUSSIE

De sterke terugval van de mineralisatiesnelheidsconstante in de middenzomerperiode lijkt te moeten worden toegeschreven aan het optreden van humificatie. Midden in de zomer zou in dat geval een sterke toename van de humificatie optreden, gekenmerkt door immobilisatie van stikstofcomponenten. Deze toename lijkt vrij plotseling op te treden en wel kort na de eerste maaidatum ($t = 189$) van locatie A en B. Gedurende deze periode, die 1 à 2 maanden aanhoudt, komen slechts zeer geringe hoeveelheden N-mineraal beschikbaar voor de vegetatie. Niet alleen door maaiverliezen, maar vooral ook door het afsterven van wortelbiomassa na het maaien, kan een aanbod van vers organisch materiaal optreden. Maaien leidt tot een verandering in de spruit/wortel verhouding van de plant. Na het maaien wijzigt het groeipatroon zodanig dat de oorspronkelijke verhouding wordt hersteld (BROUWER, 1983).

De door het maaien sterk terugvallende transpiratiestroom kan als neveneffect een verminderde stikstofopname door de wortels tot gevolg hebben. De grote stikstofbehoefte voor de hergroei van de spruit kan in dat geval leiden tot het aanspreken van interne stikstofvoorraden in het wortelstelsel. De C/N verhouding van de wortel kan hierdoor hoog oplopen en stikstofgebrek in de wortel kan leiden tot afsterving (LAMBERS, 1983; BROUWER, 1983).

De hoge C/N verhouding van de afgestorven wortelbiomassa is een randvoorwaarde die leidt tot een sterke immobilisatie van stikstof tijdens het humificatieproces, waarmee de zeer lage netto-mineralisatie in de incubatieseries na het maaien verklaard zou kunnen zijn.

Een ander probleem bij de interpretatie van de resultaten van de incubatieproeven is inherent aan de incubatiemethode. De verwijdering van de spruit, bij het ingraven van het te incuberen monster, zou een effect kunnen hebben dat gelijk is aan het effect van maaien. In alle incubatieseries is dan afsterven van wortelbiomassa, gevolgd door immobilisatie van N-mineraal te verwachten. Er kan echter worden aangenomen dat aan het scheiden van spruit en wortel in geval er

niet gemaaid is geen transport van stikstof vanuit de wortel naar de spruit is voorafgegaan. De wortelbiomassa behoudt daardoor een relatief lage C/N verhouding, waardoor mobilisatie van stikstof zal optreden bij het afbraakproces.

Op locatie C treedt de terugval van de mineralisatiesnelheidsconstante niet op. Tot na het afsluiten van de veldexperimenten werd hier niet gemaaid. De verschillen tussen A en B enerzijds en C anderzijds geven aan dat maaien een zeer duidelijke invloed heeft op de stikstofhuishouding.

Uit experimenten van REDDY et al. (1980) met verschillend organisch uitgangsmateriaal volgde dat de mineralisatiesnelheidsconstante voor de stabiele fractie van humus weinig variatie vertoont. Hieruit leiden zij af dat de stabiele humusfractie steeds uit organisch verwante stoffen bestaat, waarvoor zij een mineralisatiesnelheidsconstante $K = 15 \cdot 10^{-4} \cdot \text{d}^{-1}$ bepaalden. De mineralisatiesnelheidsconstante die uit de veldexperimenten in het onderhavige onderzoek werd afgeleid is van dezelfde grootte-orde.

5.4. CONCLUSIE

Uit onderzoek in de onbemeste hooilanden van de Oetert en Groot-Zandbrink kan geconcludeerd worden dat de stabiele humusfractie de belangrijkste leverancier van minerale stikstof is voor wilde planten. De mineralisatiesnelheidsconstante van de stabiele humusfractie heeft ongeacht de herkomst van het organisch materiaal een waarde $K = 13,3 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ ($\pm 3,2 \times 10^{-4}$). Dit onderzoeksresultaat sluit goed aan bij resultaten van REDDY et al. (1980) die voor de stabiele humusfractie een mineralisatiesnelheidsconstante $K = 15 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ vaststelden.

De labiele fractie van het organisch materiaal lijkt hoofdzakelijk uit wortelresten te bestaan die onder invloed van maaien tot afsterven komen. Deze wortelresten worden gehumificeerd. Tijdens deze humificatie treedt een immobilisatie van minerale stikstof op waardoor nauwelijks of geen stikstof beschikbaar komt voor de planten.

6. SIMULATIE VAN DE STIKSTOFLEVERANTIE

6.1. MODELBENADERING

Over het algemeen worden in een modelmatige aanpak de mineralisatieprocessen beschreven als processen van de 1e orde (Van VEEN, 1977; DAVIDSON et al.,

1978; HUNT, 1978):

$$-d.N\text{-tot}/dt = k.N\text{-tot} \quad (15)$$

waarin $N\text{-tot}$ = totaalstikstofgehalte
 k = mineralisatiesnelheid

De grootte van de mineralisatiesnelheid wordt bepaald door de aard van het organisch materiaal en de invloed van de reductiefactoren voor het vochtgehalte (θ), de temperatuur (T) en de zuurgraad (pH) op de mineralisatie:

$$k = K F_{\theta} F_T F_{pH} \quad (16)$$

waarin K = mineralisatiesnelheidsconstante
 $F_{\theta, T, pH}$ = reductiefactor

Vergelijking (16) kan nu geschreven worden als:

$$\frac{-d.N\text{-tot}}{dt} = K F_{\theta} F_T F_{pH} N\text{-tot} \quad (17)$$

waarbij de afneming van $N\text{-tot}$ gelijk is aan de toename van $N\text{-mineraal}$:

$$\frac{-d.N\text{-tot}}{dt} = \frac{d.N\text{-min}}{dt} \quad (18)$$

De simulatie van de stikstofleverantie is gebaseerd op de hierboven gegeven modelbenadering.

6.2. UITGANGSPUNTEN

Voor de simulatie van de stikstofleverantie zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- de reductiefactoren voor het vochtgehalte en de bodentemperatuur werden per bodemlaag van 5 cm berekend volgens de methoden die zijn beschreven in Hoofdstuk 4;
- de reductiefactor voor de zuurgraad is zowel in de tijd als naar de diepte constant verondersteld;
- voor de mineralisatiesnelheidsconstante is een waarde $K = 13,3 \times 10^{-4} \text{ d}^{-1}$ aangehouden (Hoofdstuk 5);
- het humificatie-effect na maaien is ondervangen door met een lagere waarde voor de mineralisatiesnelheidsconstante te rekenen. Voor deze waarde is van de lo-

caties A en B het gemiddelde genomen van de waarden die voor het midden van de zomer na het maaien werden afgeleid uit de veldexperimenten (zie Fig. 6);

- in Tabel 6 zijn de waarden aangegeven van de mineralisatiesnelheidsconstanten waarmee voor de verschillende tijdsperiodes is gerekend;
- de geleverde minerale stikstof werd per bodemlaag van 5 cm berekend met tijdstappen van 10 dagen en gesommeerd over de periode 1 april tot 7 oktober ($t = 90\text{-}280$);
- met behulp van het droog volumegewicht W_d ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$) werd de stikstofleverantie, die wordt uitgedrukt in mg per kg droge grond, omgerekend naar kilogrammen $N\text{-mineraal}$ per hectare. Verondersteld is dat tot een diepte van 20 cm -mv zowel het droog volumegewicht als het $N\text{-totaal}$ gehalte constant zijn.

6.3. VELDOMSTANDIGHEDEN

De simulatie is uitgevoerd voor de drie locaties A, B en C waar de mineralisatie-experimenten zijn uitgevoerd. Voor een vierde locatie (D) met een overeenkomend bodemtype als locatie C werd de stikstofleverantie gesimuleerd op basis van ter plaatse gemeten grondwaterstanden en $N\text{-totaal}$ gehalten. De overige van belang zijnde bodemeigenschappen werden gelijk gesteld aan die van locatie C (zie Tabellen 1 en 4).

In Bijlage 1 zijn overzichtstabellen weergegeven van de soorten in de vegetatietypen die voorkomen op de vier locaties. Samengevat kunnen de vegetatietypen als volgt worden omschreven en benoemd (WESTHOFF en DEN HELD, 1969; EVERTS et al., 1980):

- locatie A ontwaterde vorm van een veldrusschraalland met elementen van een kamgrasweide:
Rudimentair *Juncetum acutiflori*
- locatie B dotterbloemweide met soorten uit het Grote zeggen verbond:
Senecioni-Brometum racemosi caricetosum gracilis
- locatie C blauwgraslandvegetatie met soorten uit de kalkrijke kleine zeggen gemeenschappen:
Cirsio-Molinietum/Parnassio-Caricetum pulicaris

Tabel 6. Waarden van de mineralisatiesnelheidsconstanten K (d^{-1}) waarmee in de perioden tussen de aangegeven dagnummers (t) werd gerekend voor de simulatie van de stikstofleverantie op de verschillende locaties

Locatie A		Locatie B		Locatie C, D	
t	K	t	K	t	K
90-189	$13,3 \times 10^{-4}$	90-189	$13,3 \times 10^{-4}$	90-250	$13,3 \times 10^{-4}$
190-230	$1,3 \times 10^{-4}$	190-250	$1,3 \times 10^{-4}$	251-280	$1,3 \times 10^{-4}$
231-280	$13,3 \times 10^{-4}$	251-280	$13,3 \times 10^{-4}$		

locatie D blauwgraslandvegetatie met invloeden van lichte ontwatering:
Rudimentair Cirsio-Molinietum

6.4. RESULTATEN EN DISCUSSIE

In Bijlage 2 is voor de vier locaties het verloop in de tijd weergegeven van de stuurvariabelen, de bijbehorende reductiefactoren en de cumulatieve stikstofleverantie per bodemlaag van 5 cm.

In Tabel 7 zijn voor de verschillende vegetatietypen de resultaten van de simulatie weergegeven per bodemlaag van 5 cm. Onduidelijk is tot op welke diepte de minerale stikstof door de planten kan worden opgenomen. De stikstofleverantie is derhalve afhankelijk van de beschouwde bodemdiepte.

Tabel 7. Stikstofleverantie in $N-NH_4^+$ ($kg \cdot ha^{-1}$) per bodemlaag van 5 cm voor vier half-natuurlijke vegetatietypen (locaties A, B, C en D) gedurende het groeiseizoen

Diepte (cm -mv)	Veldrus-schraal-land rudimentair	Dotterbloemweide	Blauwgrasland	Blauwgrasland rudimentair
0-5	24,0	69,7	27,1	35,2
5-10	22,3	70,2	27,0	35,7
10-15	21,2	73,7	26,9	35,4
15-20	20,2	76,0	26,5	35,0

GROOTJANS et al. (1985a) vonden voor een blauwgrasland een stikstofleverantie van $65 kg \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$ N-min voor de bodemlaag 5-15 cm -mv. Dit sluit goed aan bij de resultaten van ons onderzoek.

Voor niet-ontwaterde dotterbloemweiden vonden GROOTJANS et al. (1985b) een stikstofleverantie variërend tussen 20 en $90 kg \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$ N-min. Voor ontwaterde dotterbloemweiden vonden zij een stikstofleverantie van 290-450 $kg \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$ N-min. Van belang bij de stikstofleverantie van vooral de rijke standplaatsen met o.a. dotterbloemgemeenschappen is het N-totaal gehalte van het substraat. Verschillen in N-totaal onder overigens gelijke condities voor vocht, temperatuur en dergelijke leiden tot sterke verschillen in stikstofleverantie.

6.5. CONCLUSIE

De minerale stikstofleverantie in onbemeste half-natuurlijke graslanden is in hoge mate afhankelijk van de stikstofrijkdom van het organisch materiaal. In een dotterbloemweide werd voor de wortelzone

(0-15 cm -mv) een minerale stikstofleverantie berekend van $214 kg N \cdot min \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$. In de wortelzone (0-15 cm -mv) van een blauwgrasland, een rudimentair blauwgrasland en een rudimentair veldrus-schraal-land werd een stikstofleverantie berekend van respectievelijk 81, 107 en $68 kg N \cdot min \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$.

LITERATUUR

- ALEXANDER, M. 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney. 467 pp.
- BARTHOLOMEW, W.V. 1965. Mineralisation and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: W.W. Bartholomew and F.E. Clark (eds.). Soil nitrogen. Series Agronomy no. 10: 287-302. Amer. Soc. of Agronomy, Madison.
- BEIMANS, C., J.G. WESSELING and R.A. FEDDES. 1981. Simulation model of the water balance of a cropped soil providing different types of boundary conditions (SWATRE). Nota 1257 ICW, Wageningen. 61 pp.
- BHAT, K.K., T.H. FLOWERS and J.R. O'CALLAGHAN. 1980. A model for the simulation of the fate of nitrogen in farm wastes on land application. J. Agric. Sci. 94,1: 183-193.
- BHAUMIK, H.D. and F.E. CLARK. 1948. Soil moisture tension and microbial activity. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 12: 234-238.
- BOTH, J.C. en G. VAN WIRDOUM. 1981. Waterhuishouding, bodem en vegetatie van enkele Gelderse natuurgebieden. RIN-rapport 81/18. 288 pp.
- BROUWER, R. 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? Neth. J. Agric. Sci. 31: 335-348.
- BUCKMAN, H.O. and N.C. BRADY. 1960. The nature and properties of soils. The Macmillan Company, New York. 567 pp.
- CARSLAW, H.S. and J.C. JAEGER. 1959. Conduction of heat in solids. Oxford Univ. Press, London. 509 pp.
- DAVIDSON, J.M., D.A. GRAETZ, P. SURESH, C. RAO and H. MAGDI SELIM. 1978. Simulation of nitrogen movement, transformation and uptake in plant root zone. Ecological research series 600/3-78-029. Environmental Protection Agency, Athens. 105 pp.
- DUIN, R.H.A. VAN. 1956. Over de invloed van grondbewerking op het transport van warmte, lucht en water in de grond. Versl. Landbk. Onderz. 62.7. Pudoc, Wageningen. 82 pp.

- ELLENBERG, H. 1974. Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9. Erich Goltze, Göttingen. 31 pp.
- EVERTS, H., A.P. GROOTJANS en N.P.J. DE VRIES. 1980. De vegetatie van de madelanden in het stroomdal van de Drentsche Aa. Deel 2. Laboratorium voor Plantenoecologie, Haren; Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 116 pp.
- FEDDES, R.A. 1971. Water, heat and crop growth. Proefschrift Landbouwhogeschool. Veenman & Zn. NV, Wageningen. 184 pp.
- GERLACH, A. 1973. Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffnettomineralisation. Scr. Geobot. 5, Göttingen.
- GROOTJANS, A.P., P.C. SCHIPPER and H.J. VAN DER WINDT. 1985a. Influence of drainage on N-mineralization and standing crop in wet meadows. I. *Calthion palustris* stands. Oecol. Plant.
- , P.C. SCHIPPER and H.J. VAN DER WINDT. 1985b. Influence of drainage on N-mineralization and standing crop in wet meadows. II. *Cirsio-Molinietum* stands. Oecol. Plant.
- HAGIN, J. and A. AMBERGER. 1974. Contribution of fertilizers and manures to the N- and P-load of waters. Final report to the Deutsche Forschungsgemeinschaft, Haifa, Bonn.
- HUET, H. VAN. 1982. Simulaties van temperatuurvariaties in de bodem. Rapport 12 Projectgroep Zuidelijk Peelgebied. Nota 1389 ICW, Wageningen. 35 pp.
- 1983. Kwantificering en modellering van de stikstofhuishouding in de bodem na bemesting. Rapport 26 Projectgroep Zuidelijk Peelgebied. Nota 1426 ICW, Wageningen. 189 pp.
- HUNT, H.W. 1978. A simulation model for decomposition in grasslands. In: G.S. Innis (ed.). Ecological Studies 26. Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- JANSEN, P.C. 1984. De waterhuishouding in de natuurreservaten De Oude Gooren, De Oetert en De Berken in het Zuidelijk Peelgebied. Rapport 30 Projectgroep Zuidelijk Peelgebied. Nota 1493 ICW, Wageningen. 24 pp.
- en R.H. KEMMERS. 1980. Relaties tussen hydrologische parameters en enkele vegetatietypen van het CRM reservaat Groot-Zandbrink. Nota 1180 ICW, Wageningen. 50 pp.
- KEMMERS, R.H. en P.C. JANSEN. 1982. Redoxpotentialen en calcium in relatie tot de stikstof- en fosfaathuishouding van de schraalgraslandjes in het CRM reservaat Groot-Zandbrink. Nota 1330 ICW, Wageningen. 46 pp.
- KRABBENBORG, A.J., J.N.B. POELMAN en E.J. VAN ZUILLEN. 1983. Standaard vocht karakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden. Deel 1. Rapport 1680 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. 132 pp.
- LAMBERS, H. 1983. 'The functional equilibrium', nibbling on the edges of a paradigm. Neth. J. Agric. Sci. 31: 305-311.
- MAHENDRAPPA, M.K., R.L. SMITH and A.T. CHRISTIANSEN. 1966. Nitrifying organisms affected by climatic region in western United States. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30: 60-62.
- MEYER, F.M. 1957. Über Wasser und Stikstoffhaushalt der Rohrriecher und Wiesen im Elbe Alluvium bei Hamburg. Mitt. Staatsinst. Allg. Bot. Hamb. 11: 139-203.
- MILLER, R.D. and D.D. JOHNSON. 1964. The effect of soil moisture tension on carbon dioxide evolution, nitrification, and nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28,5: 644-647.
- REDDY, K.R., R. KHALEEL, M.R. OVERCASH and P.W. WESTERMAN. 1979. A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes. I. Mineralization of organic nitrogen. Transactions ASAE 22,4: 863-874.
- , R. KHALEEL and M.R. OVERCASH. 1980. Carbon transformations in the land areas receiving organic wastes in relation to nonpoint source pollution: a conceptual model. J. Environ. Qual. 9,3: 434-443.
- RIJTEMA, P.E. 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513 ICW, Wageningen. 28 pp.
- RUNGE, M. 1983. Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.). Encyclopedia of plant physiology. New series vol. 12C: 163-200. Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- RYHINER, A.H. and J. PANKOW. 1969. Soil moisture measurement by the gamma transmission method. Techn. Bull. 66 ICW, Wageningen.
- STANFORD, G., M.H. FRERE and D.H. SCHANINGER. 1973. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. Soil Sc. 115,4: 321-323.
- VEEN, J.A. VAN. 1977. The behaviour of nitrogen in soil. A computer simulation model. Proefschrift Landbouwhogeschool, Wageningen.
- WESTHOFF, V. en A.J. DEN HELD. 1969. Plantengemeenschappen in Nederland. Uitg. Thieme, Zutphen. 324 pp.
- WILLIAMS, J.T. 1969. The nitrogen and water relations of wet meadows. Veröff. geobot. Inst., ETH Stift. Rübel, Zürich 41: 69-193.

ZÖTTL, H. 1960. Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung des Waldbodens. Forstwiss. Centralbl. 79: 72-90.

LIJST VAN BEGRIPPEN

- Ammonificatie - Afbraak van organische stof door microben waarbij ammonium (NH_4^+) gevormd wordt. Is synoniem aan stikstofmineralisatie
- C/N-verhouding - Verhouding tussen koolstof (C) en totaal stikstof (N) in organisch materiaal. Lage verhoudingen wijzen op organisch materiaal dat in belangrijke mate door microben is omgezet
- Humificatie - Omzettingsproces van organische stof door microben waarbij minerale stikstof wordt vastgelegd. Proces dat leidt tot de vorming van stabiele humus
- Humus - Meer of minder door microben omgezet organisch materiaal
- Humusfractie (labiele -) - Deel van het organisch materiaal dat gemakkelijk afbreekbaar is.
- Humusfractie (stabiele -) - Eindprodukt van microbiologische omzettingsprocessen bestaande uit gemodificeerde moeilijk afbreekbare restanten van plantaardig uitgangsmateriaal en microbiologisch weefsel. Wordt gekenmerkt door een lage C/N-verhouding
- Mineralisatiesnelheid (stikstof-) - De hoeveelheid minerale stikstof die per eenheid totaal stikstof per tijdseenheid beschikbaar komt tijdens de stikstofmineralisatie onder veldomstandigheden ($\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}$ per tijdseenheid)
- Mineralisatiesnelheidsconstante - De hoeveelheid minerale stikstof die per eenheid totaal stikstof en per tijdseenheid beschikbaar komt tijdens de stikstofmineralisatie onder optimale omstandigheden voor vocht, temperatuur en zuurgraad ($\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}$ per tijdseenheid)
- Nitrificatie - Proces waarbij ammonium in een zuurstofrijk milieu door microben wordt omgezet in nitraat
- Reductiefactor - Het quotient van de snelheid van een proces onder suboptimale omstandigheden en de snelheid van dat proces onder optimale omstandigheden
- Stikstofimmobilisatie - Verschijnsel dat optreedt indien stikstof bij omzettingen van dood organisch materiaal wordt ingebouwd in microbiologisch weefsel en daardoor niet beschikbaar komt voor de vegetatie. Is afhankelijk van het N-totaal gehalte van het organisch materiaal

- Stikstofleverantie - De hoeveelheid minerale stikstof die per volume-eenheid grond beschikbaar komt per tijdseenheid ($\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ per tijdseenheid)
- Stikstofmineralisatie - Omzettingsproces van organische stof door microben waarbij stikstof in de vorm van ammonium (NH_4^+) beschikbaar komt. Is synoniem aan ammonificatie
- Stikstofmobilisatie - Verschijnsel dat optreedt indien stikstof bij omzetting van dood organisch materiaal vrijkomt en kan worden opgenomen door planten
- Stuurvariabele - Factor die de toestand van een andere variabele kan beïnvloeden

Bijlage 1. Presentatie van plantesoorten in de vegetatietypen die voorkomen op de locaties A t.m D
 Frequentie: I. 0-20%; II. 21-40%; III. 41-60%; IV. 61-80%; V. 81-100%

Locatie	A	B	Locatie	C	D
Vegetatietype	rudimentair Juncetum acutiflori	Senecioni- Brometum racemosi caricetosum gracilis	Vegetatietype	Cirsio- Molinietum/ Parnassio- Caricetum pulicaris	Rudimentair Cirsio- Molinietum
Aantal opnamen	4	7	Aantal opnamen	17	15
GROTE ZEGGEN VERBOND			Gentiana pneumonante		
Phragmites australis	III	IV	Cirsium dissectum	II	I
Carex acuta	-	V	Succissa pratensis	II	-
Glyceria maxima	-	V	Sieglingia decumbens	III	I
Carex disticha	-	III	Erica tetralix	IV	II
Poa palustris	-	V	Festuca ovina	III	I
Stellaria palustris	-	III	Orchis maculata	IV	III
Equisetum fluviatile	II	II	Carex panicea	V	III
DOTTER VERBOND			Carex hostiana	V	II
Caltha palustris	-	III	Carex pulicaris	V	III
Myosotis scorpioides	II	V	Parnassia palustris	II	-
Lychnis flos-cuculi	II	V	Schoenus nigricans	I	-
Filipendula ulmaria	II	V	Valeriana dioica	I	-
Primula elatior	-	III	Juncus subuliflorus	II	IV
Scirpus sylvaticus	III	-	Juncus acutiflorus	II	V
Polygonum bistorta	III	-	Ranunculus flammula	I	III
BIEZENKNOPPEN PIJPESTROOTJESVERBOND			Agrostis canina	IV	V
Juncus acutiflorus	III	-	Molinia caerulea	V	V
Juncus subuliflorus	III	-	Potentilla erecta	V	V
Valeriana dioica	-	III	Luzula multiflora	IV	III
Carex panicea	-	-	Galium uliginosum	IV	IV
KAMGRASVERBOND			Calamagrostis canescens	V	V
Carex ovalis	IV	-	Cirsium palustris	V	V
Anemone nemorosa	V	-	Peucedanum palustre	V	III
Athyrium filix-femina	V	-	Filipendula ulmaria	III	-
PIJPESTROOTJES ORDE			Phragmites australis	V	V
Anthoxanthum odoratum	V	I	Equisetum fluviatile	II	IV
Cerastium holosteoides	-	V			
Ranunculus acris	-	IV			
Cirsium palustris	IV	I			
Symphytum officinale	-	V			
Achillea ptarmica	-	IV			
Galium palustris	-	V			
Equisetum palustris	III	V			
VOCHTIGE GRASLANDEN					
Cardamine pratensis	V	V			
Rumex acetosa	V	V			
Holcus lanatus	IV	V			
Taraxacum officinale	III	V			
Stellaria alsine	-	III			
ZILVERSCHOONVERBOND					
Lolium perenne	-	V			
Glyceria fluitans	-	III			
Poa trivialis	-	V			

Bijlage 2. Resultaten van de simulatie van het verloop in de tijd van de stuurvariabelen, de bijbehorende reductiefactoren en de cumulatieve minerale stikstofleverantie EN-min ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ droge grond) per bodemlaag van 5 cm. T = temperatuur; h = vochtspanning; F_T , F_θ , F_{PH} = reductiefactoren; Wd = droog volumegewicht; N-tot = totaal stikstofgehalte

Locatie A. Wd: $0,67 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$; N-tot: $4000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; F_{PH} : 0,8

B. Wd: $0,37 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$; N-tot: $17\ 000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; F_{PH} : 1

Dag nr.	Laag 0-5 cm				Laag 5-10 cm				Laag 10-15 cm				Laag 15-20 cm			
	T	-h	$F_T \times F_\theta$	EN-min	T	-h	$F_T \times F_\theta$	EN-min	T	-h	$F_T \times F_\theta$	EN-min	T	-h	$F_T \times F_\theta$	EN-min
	(°C)	(cm)		($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	(°C)	(cm)		($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	(°C)	(cm)		($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	(°C)	(cm)		($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Locatie A																
90	3,91	38,5	0,0293	1,56	3,87	33,5	0,0321	1,71	3,84	28,5	0,0348	1,85	3,82	23,5	0,0376	2,00
100	5,33	39,5	0,0339	3,36	5,23	34,5	0,0369	3,67	5,15	29,5	0,0399	3,97	5,07	24,5	0,0429	4,28
110	6,89	48,0	0,0336	5,15	6,74	43,0	0,0371	5,67	6,60	37,9	0,0406	6,13	6,47	32,9	0,0439	6,62
120	8,54	60,0	0,0464	7,62	8,34	55,0	0,0416	7,86	8,15	50,0	0,0370	8,10	7,97	45,0	0,0409	8,79
130	10,23	64,1	0,0600	10,81	9,99	59,0	0,0537	10,71	9,75	54,0	0,0479	10,65	9,53	49,0	0,0444	11,16
140	11,92	55,6	0,0628	14,15	11,64	50,7	0,0555	13,67	11,37	45,8	0,0589	13,78	11,11	40,9	0,0637	14,54
150	13,55	64,6	0,0874	18,80	13,24	59,5	0,0778	17,81	12,94	54,5	0,0690	17,45	12,65	49,3	0,0624	17,86
160	15,08	65,2	0,1041	24,34	14,74	60,1	0,0926	22,73	14,42	55,0	0,0819	21,81	14,11	49,9	0,0722	21,71
170	16,45	49,7	0,0934	29,31	16,11	45,0	0,1008	28,09	15,78	40,2	0,1087	27,55	15,45	35,4	0,1144	27,79
180	17,64	54,3	0,1142	35,38	17,30	49,4	0,1030	33,57	16,96	44,5	0,1117	33,49	16,64	39,6	0,1190	34,17
190	18,60	76,5	0,1782	44,86	18,27	71,4	0,1606	42,12	17,94	66,3	0,1441	41,16	17,62	61,2	0,1286	41,01
200	18,30	89,4	0,2243	46,03	18,99	84,4	0,2050	43,18	18,68	79,3	0,1865	42,13	18,38	74,1	0,1688	41,88
210	19,73	86,6	0,2274	47,21	19,45	81,8	0,2085	44,27	19,17	76,8	0,1901	43,12	18,89	71,8	0,1727	42,78
220	19,88	92,9	0,3030	48,79	19,63	87,9	0,2284	45,46	19,39	82,8	0,2097	44,21	19,14	77,7	0,1918	43,78
230	19,73	67,6	0,1774	49,71	19,53	62,9	0,1616	46,30	19,32	58,1	0,1462	44,97	19,12	53,2	0,1310	44,46
240	19,29	70,0	0,1754	59,04	19,14	65,0	0,1604	54,83	18,99	59,9	0,1454	52,71	18,83	54,9	0,1311	51,44
250	18,68	65,3	0,1518	67,12	18,49	60,4	0,1390	62,22	18,39	55,5	0,1264	59,43	18,28	50,2	0,1131	57,45
260	17,62	80,8	0,1695	76,13	17,58	75,7	0,1582	70,64	17,54	70,7	0,1471	67,26	17,48	65,0	0,1358	64,68
270	16,43	73,3	0,1354	83,34	16,45	68,3	0,1265	77,37	16,46	63,4	0,1176	73,51	16,47	58,4	0,1084	70,44
280	15,05	72,3	0,1151	89,46	15,13	67,5	0,1084	83,14	15,20	62,7	0,1014	78,91	15,26	57,8	0,0941	75,45
Locatie B																
90	3,89	8,5	0,0038	0,86	3,83	3,0	0,0495	11,19	3,81	0	0,0511	11,55	3,82	0	0,0511	11,55
100	5,28	10,5	0,0535	12,96	5,12	5,5	0,0558	23,81	5,00	1,5	0,0577	24,60	4,90	0	0,0580	24,67
110	6,82	13,2	0,0617	26,91	6,55	7,9	0,0640	38,28	6,33	2,5	0,0665	39,64	6,14	0	0,0670	39,82
120	8,45	14,2	0,0733	43,48	8,09	9,3	0,0750	55,24	7,77	3,5	0,0776	57,18	7,49	0	0,0782	57,50
130	10,12	23,4	0,0777	61,05	9,68	10,2	0,0798	73,28	9,28	12,9	0,0820	75,72	8,91	7,5	0,0843	76,56
140	11,79	17,9	0,1015	84,00	11,28	15,3	0,0994	95,75	10,81	12,1	0,0984	97,97	10,37	8,4	0,0982	98,76
150	13,41	36,2	0,0901	104,37	12,84	27,9	0,0980	117,91	12,31	20,5	0,1036	121,39	11,82	13,4	0,1082	123,22
160	14,93	64,1	0,1007	127,14	14,32	45,2	0,0826	136,59	13,75	30,9	0,1029	144,66	13,21	22,0	0,1119	148,53
170	16,30	13,1	0,1772	167,20	15,67	12,0	0,1680	174,57	15,07	10,6	0,1604	180,93	14,51	8,7	0,1545	183,46
180	17,48	20,3	0,1821	208,37	16,85	18,5	0,1747	214,07	16,25	16,1	0,1694	219,23	15,67	13,0	0,1660	220,99
190	18,45	68,8	0,1577	244,03	17,83	43,2	0,1261	242,58	17,27	28,9	0,1553	254,41	16,67	20,2	0,1673	258,82
200	19,16	155,0	0,3832	252,50	18,58	95,6	0,2223	247,50	18,02	45,8	0,1213	257,09	17,47	29,0	0,1598	262,33
210	19,61	30,2	0,1952	256,81	19,08	29,2	0,1859	251,60	18,56	25,9	0,1876	261,23	18,05	20,4	0,1932	266,60
220	19,77	35,2	0,1816	260,33	19,31	28,4	0,1949	255,91	18,85	22,0	0,2053	265,77	18,39	16,0	0,2132	271,31
230	19,64	13,6	0,2511	266,38	19,26	12,2	0,2457	261,34	18,87	10,2	0,2421	271,12	18,48	7,5	0,2403	276,62
240	19,23	25,1	0,2037	270,88	18,94	19,5	0,2150	266,09	18,64	1,6	0,2618	276,91	18,33	7,9	0,2352	281,82
250	18,54	32,2	0,1685	274,60	18,35	25,7	0,1840	270,16	18,14	19,5	0,1977	281,28	17,92	13,5	0,2097	286,45
260	17,60	29,8	0,1529	310,53	17,52	24,0	0,1730	309,27	17,41	18,2	0,1863	323,46	17,29	12,4	0,1988	331,40
270	16,44	26,8	0,1474	343,86	16,47	22,3	0,1585	345,11	16,46	17,3	0,1704	361,93	16,43	11,9	0,1826	372,69
280	15,09	18,1	0,1452	376,68	15,22	15,5	0,1527	379,64	15,32	12,6	0,1605	398,22	15,39	9,4	0,1685	410,79

Vervolg Bijlage 2

Locatie C. Wd: 0,84 kg·dm⁻³; N-tot: 2100 mg·kg⁻¹; F_{pH}: 1
 D. Wd: 0,84 kg·dm⁻³; N-tot: 3100 mg·kg⁻¹; F_{pH}: 0,9

Dag nr.	Laag 0-5 cm				Laag 5-10 cm				Laag 10-15 cm				Laag 15-20 cm			
	T (°C)	-h (cm)	F _T x F _θ	EN-min (mg·kg ⁻¹)	T (°C)	-h (cm)	F _T x F _θ	EN-min (mg·kg ⁻¹)	T (°C)	-h (cm)	F _T x F _θ	EN-min (mg·kg ⁻¹)	T (°C)	-h (cm)	F _T x F _θ	EN-min (mg·kg ⁻¹)
Locatie C																
90	3,91	0	0,0516	1,44	3,87	0	0,0514	1,44	3,84	0	0,0512	1,43	3,82	0	0,0511	1,43
100	5,33	0	0,0609	3,14	5,23	0	0,0603	3,12	5,14	0	0,0597	3,10	5,07	0	0,0591	3,08
110	6,39	3,7	0,0699	5,09	6,73	2,0	0,0701	5,08	6,59	0	0,0705	5,07	6,47	0	0,0695	5,02
120	8,54	15,5	0,0728	7,13	8,33	10,5	0,0759	7,20	8,14	5,5	0,0790	7,27	7,96	1,5	0,0811	7,28
130	10,23	17,5	0,0857	9,52	9,98	12,5	0,0892	9,69	9,74	7,5	0,0925	9,86	9,52	2,5	0,0957	9,96
140	11,92	14,5	0,1078	12,53	11,63	9,5	0,1114	12,80	11,55	3,5	0,1162	13,10	11,09	0	0,1174	13,24
150	13,55	17,5	0,1258	15,99	13,23	12,5	0,1279	16,37	12,92	7,4	0,1319	16,79	12,63	2,5	0,1354	17,02
160	15,07	34,5	0,1115	19,10	14,73	29,5	0,1173	19,65	14,41	24,5	0,1227	20,21	14,09	19,5	0,1277	20,58
170	16,45	33,6	0,1315	22,78	16,10	28,6	0,1381	23,51	15,76	33,6	0,1441	24,24	15,43	18,6	0,1497	24,77
180	17,63	11,5	0,2087	28,61	17,29	6,5	0,2141	29,49	16,94	0,2	0,2222	30,44	16,69	0	0,2149	30,77
190	18,59	44,9	0,1316	32,28	18,26	40,4	0,1399	33,39	17,92	35,4	0,1489	34,60	17,60	30,4	0,1573	35,16
200	19,30	31,6	0,1845	37,43	18,98	26,6	0,1939	38,81	18,67	21,6	0,2026	40,26	18,36	16,5	0,2109	41,05
210	19,73	31,5	0,1934	42,84	19,44	26,5	0,2039	44,50	19,16	21,5	0,2136	46,23	18,87	16,5	0,2227	47,27
220	19,87	80,0	0,2131	48,79	19,62	74,2	0,1925	49,88	19,37	68,0	0,1719	51,03	19,12	61,7	0,1519	51,51
230	19,73	91,5	0,2400	55,49	19,52	84,6	0,2172	55,95	19,39	76,5	0,1922	56,40	19,11	68,0	0,1671	56,18
240	19,29	97,7	0,2448	62,33	19,14	91,5	0,2256	62,25	18,98	84,3	0,2044	62,11	18,82	76,7	0,1829	61,29
250	18,58	135,0	0,3138	63,19	18,48	127,0	0,2922	63,05	18,38	117,0	0,2663	62,83	18,27	106,0	0,2385	61,94
260	17,62	79,5	0,1668	63,64	17,58	74,5	0,1557	63,47	17,53	69,4	0,1443	63,23	17,48	64,2	0,1328	62,30
270	16,43	97,2	0,1796	64,13	16,45	92,8	0,1719	63,94	16,46	87,3	0,1619	63,67	16,47	80,9	0,1501	62,71
280	15,05	108,0	0,1720	64,60	15,13	102,0	0,1638	64,39	15,20	94,9	0,1536	64,09	15,26	87,4	0,1424	63,10
Locatie D																
90	3,91	0	0,0516	2,13	3,87	0	0,0514	2,12	3,84	0	0,0512	2,11	3,82	0	0,0511	2,11
100	5,33	0	0,0609	4,64	5,23	0	0,0603	4,61	5,14	0	0,0597	4,57	5,07	0	0,0591	4,54
110	6,89	11,5	0,0635	7,26	6,37	6,5	0,0665	7,35	6,59	2,0	0,0690	7,42	6,46	0	0,0695	7,41
120	8,54	14,5	0,0738	10,30	8,33	9,5	0,0769	10,52	8,14	3,5	0,0809	10,75	7,96	0	0,0825	10,81
130	10,23	16,5	0,0869	13,88	9,98	11,5	0,0903	14,24	9,74	6,5	0,0936	14,61	9,52	2,0	0,0962	14,78
140	11,92	18,5	0,1020	18,09	11,63	13,5	0,1058	18,60	11,55	8,5	0,1094	19,12	11,09	3,0	0,1135	19,46
150	13,55	28,5	0,1048	22,41	13,23	23,5	0,1096	23,12	12,92	18,5	0,1140	23,82	12,63	13,5	0,1182	24,33
160	15,07	43,6	0,0929	26,29	14,73	38,6	0,0994	27,22	14,41	33,5	0,1056	28,18	14,09	28,5	0,1112	28,91
170	16,45	42,7	0,1099	30,77	16,10	37,6	0,1157	32,06	15,76	32,6	0,1243	33,30	15,43	27,6	0,1306	34,30
180	17,63	20,5	0,1845	38,38	17,29	15,5	0,1907	39,93	16,94	10,5	0,1964	41,40	16,61	5,5	0,2016	42,61
190	18,59	49,6	0,1176	43,23	18,26	46,0	0,1238	43,03	17,92	41,3	0,1326	46,87	17,60	36,3	0,1414	48,44
200	19,30	39,7	0,1585	49,76	18,98	34,6	0,1691	52,00	18,67	29,6	0,1786	54,23	18,36	24,6	0,1874	56,17
210	19,73	42,6	0,1561	56,20	19,44	37,6	0,1677	58,92	19,16	32,5	0,1789	61,61	18,87	27,5	0,1889	63,96
220	19,87	98,9	0,2627	67,03	19,62	92,6	0,2403	68,83	19,37	85,0	0,2149	70,47	19,12	77,2	0,1901	71,79
230	19,73	117,0	0,3069	79,68	19,52	109,0	0,2798	80,36	19,31	99,1	0,2489	80,73	19,11	88,4	0,2173	80,75
240	19,29	110,0	0,2756	91,05	19,14	104,0	0,2564	90,93	18,98	96,8	0,2347	90,41	18,82	88,7	0,2115	89,47
250	18,58	157,0	0,3649	92,52	18,48	148,0	0,3405	92,30	18,38	136,0	0,3095	91,65	18,27	123,0	0,2767	90,59
260	17,62	93,0	0,1951	93,30	17,58	88,1	0,1849	93,04	17,53	83,0	0,1726	92,35	17,48	77,9	0,1611	91,24
270	16,43	103,0	0,1903	94,07	16,45	99,2	0,1837	93,78	16,46	93,9	0,1742	93,05	16,47	87,7	0,1627	91,89
280	15,05	116,0	0,1847	94,81	15,13	110,0	0,1767	94,50	15,20	103,0	0,1667	93,72	15,26	95,5	0,1556	92,52