ALTERRA
PRAKTIJKONDERZOEK VEEHOUDERIJ

Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland

Een systeemanalyse

Th.V. Vellinga, P.J. Kuikman & A. van den Pol-van Dasselaar









Alterra-rapport 114.5, ROB-herinzaai

WAGENINGEN UR

Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland

In de serie 'Reductie Lachgasemissie door ontwikkeling van Best Management Practices' zijn tevens verschenen:

114.1 Beperking van lachgasemissie uit beweid grasland: een systeemanalyse
114.2 Beperking van lachgasemissie uit bemeste landbouwgronden: een systeemanalyse
114.3 Beperking van lachgasemissie uit gewasresten: een systeemanalyse
114.4 Beperking van lachgasemissie door gebruik van klaver in grasland: een systeemanalyse
114.5 Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland: een systeemanalyse
114.6 Beperking van lachgasemissie door waterbeheer; een systeemanalyse

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van NOVEM, Utrecht

Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland

Een systeemanalyse

Th.V. Vellinga[1]
P.J. Kuikman[2]
A. van den Pol-van Dasselaar[1]

[1] Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad
[2] Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen

Alterra-rapport 114-5

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

Vellinga, Th.V., P.J. Kuikman en A. van den Pol-van Dasselaar, 2000. *Beperking van lachgasemissie bij het scheuren van grasland; een systeemanalyse*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114-5. 60 blz. 12 fig.; 13 tab.; 48 ref.

In het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen project 1.5 "Ontwikkeling van richtlijnen voor beheer, omzetting en herinzaai van grasland om de emissie van lachgas te verminderen" wordt de effectiviteit van mogelijke maatregelen bij de beperking van emissies bestudeerd. In deze systeemanalyse wordt het huidige graslandbeheer en de omvang van herinzaai en andere vormen van graslandverbetering beschreven. Als gevolg van het scheuren en onderploegen van grasland worden relatief grote hoeveelheden organische stikstof gemineraliseerd. Dit leidt tot vorming van lachgas. Jaarlijks wordt 10% van het Nederlandse graslandareaal gescheurd en ingezaaid met gras of andere gewassen. De verliezen aan stikstof bij graslandverbetering bedragen 100 tot 300 kg N per hectare. De emissie van lachgas als direct gevolg van de omzetting en herinzaai van grasland is geschat met emissiefactoren die toegepast worden voor (indirecte en directe) emissies na toediening van mest omdat specifieke emissiefactoren ontbreken; deze jaarlijkse emissie in Nederland bedraagt tussen 1 en 1,5 Mt CO_2-equivalenten.
Door autonome ontwikkelingen (mest en nitraatrichtlijn en dalende productprijzen) en de toepassing van de voorgestelde gerichte maatregelen (ROB) zal de emissie kunnen afnemen met ongeveer 0,5 – 0,6 Mt CO_2-equivalenten per jaar ten opzichte van 1990. De omvangrijkste bijdrage kan worden geleverd door het verminderen of niet omzetten van oud, permanent grasland naar tijdelijk grasland en bouwland. Perspectiefvolle maatregelen zijn verder: vermindering van het areaal van herinzaai, pleksgewijze graslandverbetering, doorzaaien en graslandverbetering alleen in (voor)zomer toepassen, en beperken van opname van grasland in rotaties. Een toename van de biologische landbouw kan daarentegen leiden tot continuering van grasland in rotaties om voldoende stikstof te leveren gedurende de bouwlandperiode en emissies van lachgas.

Trefwoorden: grasland, herinzaai, scheuren, broeikasgas, lachgas, CO_2, stikstof, emissiereductie

ISSN 1566-7197

Opdrachtnummer NOVEM: 374299/0050

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 40,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Samenvatting en conclusies 7

1 Inleiding en doelstelling 11

2 Beschrijving van het systeem 13
2.1 Scheuren van grasland in verschillende landbouwsystemen 13
2.2 Ontwikkeling areaal grasland in Nederland 13
2.3 Herinzaai van grasland in Nederland 17
2.4 Stikstofopbouw onder grasland en stikstofafbraak bij scheuren 18

3 Kwantificering van lachgasemissie 25
3.1 Systeem a: graslandverbetering. 26
3.2 Systeem b: conversie van grasland naar (permanent) bouwland en gras-bouwland rotaties 27
3.3 Systeem c: grasland en bouwland in rotatie bij een evenwichtsniveau van organische stof. 30
3.4 Samenvattend overzicht van emissies 33

4 Sturende factoren 35
4.1 Biologische, chemische en fysische factoren 35
4.2 Sociaal –economische factoren 35

5 Mogelijke maatregelen om N_2O-emissie te beperken 39

6 Kennishiaten en gewenst vervolgonderzoek 41

7 Toekomstbeeld 43

Literatuur 45

Aanhangsels
1 De ontwikkeling van het areaal grasland dat jaarlijks wordt ingezaaid. 49
2 Kwantificering van vrijkomende stikstof bij scheuren van grasland 51
3 Mogelijke maatregelen om N_2O emissie te beperken 57

Samenvatting en conclusies

Door het scheuren en onderploegen van grasland vindt versnelde afbraak van organische stof plaats. Hierbij worden relatief grote hoeveelheden organische stikstof gemineraliseerd. Deze stikstof kan niet altijd (direct) door een volgend gewas (gras of anderszins) worden gebruikt en kan dan verloren gaan. Daarbij wordt lachgas gevormd (directe en indirecte emissies).

Jaarlijks wordt binnen het Nederlandse graslandareaal van ruim 1 000 000 hectare op ruim 100 000 hectare grasland gescheurd en ingezaaid met gras of andere gewassen. De oppervlakte aan grasland in Nederland neemt voortdurend en gestaag af omdat grond wordt gebruikt voor woningbouw, wegen en natuurgebieden. De hoeveelheid tijdelijk grasland in Nederland neemt toe. Mogelijke oorzaken zijn: wisselbouw van gras en maïs, ontwikkeling van biologische landbouw en toename van de bollenteelt in Nederland. Daarnaast wordt een gedeelte van het Nederlandse graslandareaal eens in de 5-10 jaar gescheurd en opnieuw ingezaaid.

De verliezen aan stikstof bij graslandverbetering bedragen 100 tot 300 kg N per hectare. Bij gescheurd grasland voor 3 jaren bouwland of één jaar bloembollen zijn de verliezen 200 tot 700 kg N, afhankelijk van de graslandperiode die wordt gehanteerd.

Als oud grasland definitief wordt omgezet in bouwland bedragen de verliezen 4500 tot 7000 kg N per hectare. Als permanent grasland wordt omgezet in tijdelijk grasland in rotatie met akkerbouwgewassen of bloembollen, bedraagt het verlies, afhankelijk van de rotatie en de leeftijd van het permanente grasland 0 tot 4000 kg N per ha.

Bij omzetting van permanent naar tijdelijk grasland komt niet alleen stikstof vrij, maar wordt ook organische stof relatief snel afgebroken en omgezet in CO_2. Dit verlies aan organische stof gaat beduidend sneller dan eventuele nieuwe vastlegging van C in organische stof in de bodem. Vandaar dat de omzetting van permanent naar tijdelijk grasland ook een belangrijke bijdrage aan broeikasgasemissies levert via CO_2.

Als grasland in rotatie met akkerbouwgewassen of bloembollen wordt verbouwd, bedragen de stikstofverliezen 120 tot 600 kg N per ha per "bouwlandjaar" door de versnelde afbraak van in voorgaande graslandperiode opgebouwde organische (stik)stof.

De emissie van lachgas als direct gevolg van de omzetting van grasland is geschat m.b.t. emissiefactoren die toegepast worden voor (indirecte en directe) emissies na toediening van mest. De geschatte jaarlijkse emissie in Nederland als gevolg van graslandomzetting en herinzaai bedraagt tussen 1 en 1,5 Mt CO_2-equivalenten (Tabel A, B; tabel 5a en 5b). De orde van grootte geeft aan dat de lachgas- en CO_2-emissie

bij scheuren een belangrijke bron is van broeikasgassen, ondanks de onzekerheden in de berekeningen.

Tabel A. Overzicht van de emissies in (kg CO_2-equivalenten per hectare met lage en hoge schatting voor lachgas en kooldioxide) voor de volledige periode waarop de gebeurtenis betrekking heeft en totale emissies voor alle hectares die jaarlijks in Nederland worden gescheurd in de verschillende systemen.

Emissies (kg CO_2-eq/per ha)	Lage schatting	Hoge schatting
Graslandverbetering	1 500	5 500
Omzetting van permanent grasland naar bouwland (eventueel grasland in rotatie)	-30 000	339 000
rotatie 3 jaar gras /3 jaar bouwland	6 600	9 300
rotatie 15 jaar gras /3 jaar bouwland	19 500	22 800
bollen 6 jaar gras / 1 jaar bollenteelt	11 000	11 800

Tabel B. Emissie van broeikasgassen per jaar (in Mt CO_2-equivalenten met lage en hoge schatting voor lachgas en kooldioxide) voor het areaal grasland dat jaarlijks in Nederland wordt gescheurd in verschillende systemen van graslandbeheer.

Totale emissie Nederland (Mt CO_2-eq)	Oppervlakte (ha)	Lage schatting	Hoge schatting
Graslandverbetering	60 000	0,09	0,33
Omzetting van permanent naar tijdelijk grasland (eventueel grasland in rotatie).	5 000	0,60	0,69
rotatie 3/3	20 000	0,13	0,19
rotatie 15/3	0	0,00	0,00
bollen 6/1	20 000	0,22	0,24
Totaal	101 000	1,04	1,44

In dit rapport zijn de volgende maatregelen om de emissie van lachgas bij scheuren te reduceren beschreven:

- Optimaliseren van graslandverbetering – vermindering van het areaal graslandverbetering, pleksgewijze graslandverbetering, doorzaaien en graslandverbetering alleen in (voor)zomer toepassen.
- Beperken omzetting van permanent grasland naar tijdelijk grasland. Verminderen van areaal dat wordt omgezet Als het toch wordt gedaan, kiezen van percelen met laagste organische stofgehalte.
- Beperken van grasland in rotaties. Als rotatie wordt toegepast, streven naar korte graslandperioden en relatief lange bouwlandperioden.

Het draagvlak voor maatregelen varieert van negatief of neutraal tot positief. Veehouders kunnen in de graslandverbetering tot forse besparingen komen, omdat sommige maatregelen goedkoper zijn dan de huidige praktijk en omdat de stikstofbesparing ook door de mineralenwetgeving wordt gestimuleerd. Ook is naar verwachting winst te behalen door de effectiviteit van scheuren en herinzaai van grasland te analyseren en eventuele alternatieve en nieuwe methodieken voor graslandverbetering te ontwikkelen danwel bestaande methodieken te optimaliseren.

Van groot belang is dat gegevens over daadwerkelijke verliezen van stikstof bij scheuren en/of omzetting van grasland ontbreken en er vrijwel geen metingen van de emissie van lachgas als gevolg van scheuren voorhanden zijn. Hierdoor is een de bijdrage van maatregelen aan de beperking van de emissie van lachgas moeilijk te schatten. De schattingen die in dit rapport worden gepresenteerd, zijn tot stand gekomen door toepassing van emissiefactoren die zijn berekend voor toepassing van (kunst)mest en van emissiefactoren die worden toegepast op verliezen van stikstof in de vorm van nitraat. Een schatting van de omvang van de indirecte emissies is zeer moeilijk, maar wel gewenst. Deze kan alleen tot stand komen na verbetering van de schatting van de verliezen aan stikstof bij scheuren en/of omzetting van grasland. De relatief grote omvang van het Nederlandse graslandareaal en de intensieve bewerking omzetting pleit o.i. voor het opzetten van een meetprogramma voor emissies van lachgas bij scheuren en herinzaai van grasland.

Door autonome ontwikkelingen (mest en nitraatrichtlijn en dalende productprijzen) en de toepassing van de voorgestelde gerichte maatregelen (ROB) zal de emissie kunnen afnemen met ongeveer 0,5 – 0,6 Mt CO_2-equivalenten per jaar (zie tabel C en tabel 9).

Tabel C. Huidige situatie met betrekking tot de emissies (in Mt CO_2-equivalenten uit N_2O en CO_2 per jaar) en mogelijke, toekomstige situatie met een afname van emissies via een reeks maatregelen over een periode van 10 jaren in Nederland.

	Huidig	Toekomst	Afname	Maatregelen
	Mt CO_2	Mt CO_2	Mt CO_2	
Graslandverbetering	0,33	0,12	0,21	Areaalvermindering, betere methoden
Definitief scheuren	0,69	0,40	0,29	Areaalvermindering, kiezen grasland met laag org. stof
Rotatie 3/3	0,19	0,13	0,05	Kortere graslandperiode/langer bouwland
Bollen 6/1	0,24	0,22	0,02	Korter grasland
Totaal	1,44	0,87	0,57	

De omvangrijkste bijdrage wordt geleverd door het verminderen of niet omzetten van oud permanent grasland naar tijdelijk grasland en bouwland. Daarentegen zal een toename van de biologische landbouw kunnen leiden tot continuering van grasland in rotaties om voldoende stikstof te leveren gedurende de bouwlandperiode. Ondanks deze verwachte toename is in de berekening met een afname van de functieverandering permanent naar tijdelijk grasland rekening gehouden.

In dit rapport pleiten we voor een integrale aanpak waarbij de kritische punten in de hele keten worden geïdentificeerd. Dat betekent zowel binnen de graasveehouderij als daarbuiten, naar andere sectoren (denk aan werken met mestafzetcontracten en/of elders besparen of juist toepassen van kunstmest).

1 Inleiding en doelstelling

Bij het scheuren (ploegen) van grasland ontstaat een sterke afbraak van organische stof en komt er veel stikstof vrij. Die stikstof kan niet altijd worden benut door volgende gewassen en kan aanleiding geven tot forse verliezen (nitraatuitspoeling, denitrificatie). De grootte van de verliezen is afhankelijk van de leeftijd van het gescheurde grasland, het tijdstip van het scheuren, van de teelt na het scheuren en van de bemesting bij die volgteelt.

Bij volgende gewassen moet dan weer worden geïnvesteerd in stikstof. Als de stikstofaanvoer beperkt is (zoals bij MINAS), kan mogelijk de opbrengst achterblijven.
Scheuren van grasland kost geld en stikstof. De centrale vraag is dan: welke positieve effecten heeft herinzaai van grasland voor een volgend gewas waardoor deze investering in geld en stikstof wordt gerechtvaardigd?

De IPCC identificeert het scheuren van grasland niet als een afzonderlijke lachgasbron en heeft hiervoor geen berekeningsmethode met emissiefactoren ontwikkeld. Ook in Nederland is geen schatting voor de lachgasemissie uit afbraak van organische stof onder (voormalig) grasland bekend.

In het kader van Cluster 1 (Best Management Practices) van het Reductie Plan Overige Broeikasgassen wordt beoogd een reductie van de lachgasemissie uit verschillende bronnen te realiseren door middel van het ontwikkelen en toetsen van maatregelen. In het kader van het ROB-project 1.5 (Richtlijnen voor scheuren en herinzaai van grasland om de emissie van lachgas uit de bodem te verminderen) worden de mogelijkheden voor het verminderen van de lachgasemissie als gevolg van het scheuren van grasland bestudeerd.

In dit rapport wordt de eerste fase van het project weergegeven: de systeemanalyse. De systeemanalyse heeft de volgende doelstellingen:

- beschrijven van het systeem. In dit onderdeel wordt aangegeven in welke bedrijfssystemen grasland wordt gescheurd, om welke arealen het gaat en welke stikstromen in het systeem belangrijk zijn voor de lachgasemissie.
- kwantificeren van de lachgasemissie als gevolg van het scheuren van grasland, zowel voor 1990 (referentiejaar in kader klimaatverdrag en Kyoto Protocol) als voor 1998/99, aan de hand van literatuur en aannames met betrekking tot de emissiefactoren en verder conform IPCC methodiek
- beschrijven van de sturende factoren van lachgasemissie als gevolg van het scheuren van grasland, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen chemische, fysische en biologische factoren en sociaal-economische factoren.
- aangeven van mogelijke emissiereducerende maatregelen, waarbij deze worden geëvalueerd ten aanzien van effectiviteit (potentiële reductie van N_2O-emissie), kostenefficiëntie, controleerbaarheid van de gestelde emissiereductie,

handhaafbaarheid van de maatregel, afwentelingsmechanismen via andere verliezen (nitraat en ammoniak) en via andere broeikasgasemissies (TEWI-benadering), draagvlak bij boeren en kennishiaten. Perspectiefvolle maatregelen worden geselecteerd.

- aangeven van kennishiaten - welke kennis en vervolgonderzoek is nodig om geselecteerde maatregelen op efficiënte wijze in de praktijk te kunnen implementeren.

2 Beschrijving van het systeem

2.1 Scheuren van grasland in verschillende landbouwsystemen

Het scheuren van grasland is onderdeel van verschillende systemen in de landbouw:

a) *Graslandverbetering* – scheuren van grasland om terstond weer in te zaaien met gras. Het gaat in dit geval om blijvend of permanent grasland. De oppervlakte grasland blijft gelijk, zowel op bedrijfsniveau als op gebiedsniveau. De vraag die hierbij gesteld kan worden is: *is de lachgasemissie bij graslandverbetering groter dan bij een "onverbeterde" situatie?*
b) *Omzetting grasland in bouwland* – scheuren van ouder grasland om te gebruiken voor een akkerbouwmatige teelt, zoals snijmaïs of bloembollen. Het grasland wordt gedurende langere tijd vervangen door de akkerbouwmatige teelt. Op bedrijfs- en gebiedsniveau neemt de oppervlakte grasland af. De vraag die hierbij gesteld kan worden is: *welke lachgasemissie treedt op als grasland wordt omgezet in bouwland?*
c) *Grasland in rotatie* – scheuren van grasland voor de teelt van voedergewassen of voor de kortstondige teelt van bollen. Op bedrijfsniveau kan de oppervlakte grasland variëren, maar op gebiedsniveau blijft de oppervlakte grasland gelijk, evenals de oppervlakte bouwland, voedergewassen en bollen. De vraag die hierbij gesteld kan worden is: *is de lachgasemissie bij grasland in rotatie groter dan bij grasland dat niet in een rotatie is opgenomen?*

Voor het belang van de verschillende systemen waarbinnen scheuren van grasland voorkomt, wordt eerst de ontwikkeling van de arealen grasland, voedergewassen en bollen beschreven (zie 2.2). Vervolgens wordt de oppervlakte grasland die jaarlijks wordt ingezaaid, beschreven (zie 2.3).

2.2 Ontwikkeling areaal grasland in Nederland

In de statistiek (zowel CBS als Eurostat) wordt onderscheid gemaakt tussen permanent (ofwel blijvend) grasland en tijdelijk grasland.
De definitie van blijvend grasland is (EU, 1999):

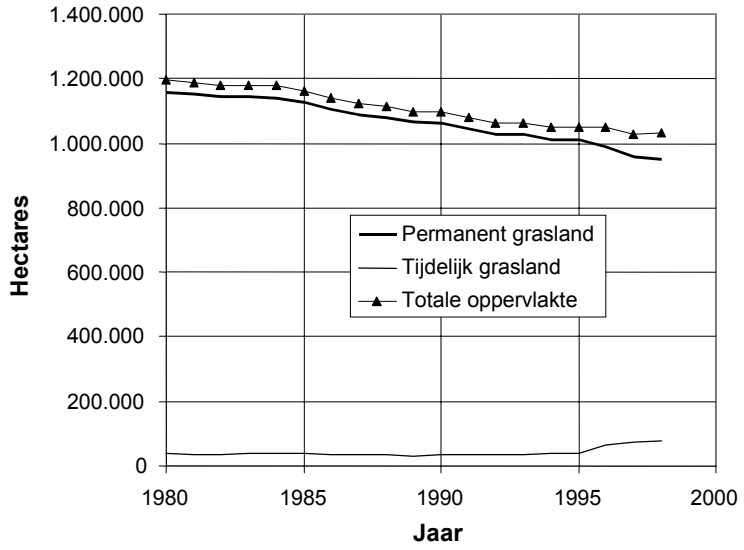
1. Gronden, andere dan weiden met geringe opbrengst, die niet in vruchtwisseling zijn opgenomen en bij voortduring (voor een periode van vijf jaar of meer) voor de productie van groenvoedergewassen zijn bestemd. Hieronder vallen zowel ingezaaid als natuurlijk grasland, ongeacht of dit begraasd of gehooid wordt dan wel als kuilvoer wordt opgeslagen.
2. Hieronder vallen niet:
   - periodiek of bij voortduring gebruikte weiden met geringe opbrengst
   - niet gebruikte weiden, bergweiden

Op basis van de voorgaande definitie moet tijdelijk grasland dus worden opgevat als grasland dat in een vruchtwisseling is opgenomen en voor een periode van minder

dan vijf jaren achtereen als grasland wordt gebruikt. Uit de aard van de vruchtwisseling is dit altijd ingezaaid grasland.

De oppervlakte grasland in Nederland beslaat ruim 1.000.000 ha en neemt gestaag af (figuur 1). Dat is onder meer een gevolg van grondonttrekking (infrastructuur, woningbouw, natuur en recreatie) en, tot halverwege de jaren 90, van een toename van de maïsteelt in Nederland.

Binnen het totale areaal grasland is er na 1995 sprake van een sterke toename van het areaal tijdelijk grasland. Deze sterke stijging is niet goed te verklaren. De toename van de oppervlakte tijdelijk grasland is vooral in de provincie Noord Brabant sterk geweest (figuur 2, zie ook aanhangsel 1).



Figuur 1. Het areaal permanent en tijdelijk grasland en het totaal in de periode 1980 tot en met 1998 (bron: CBS)

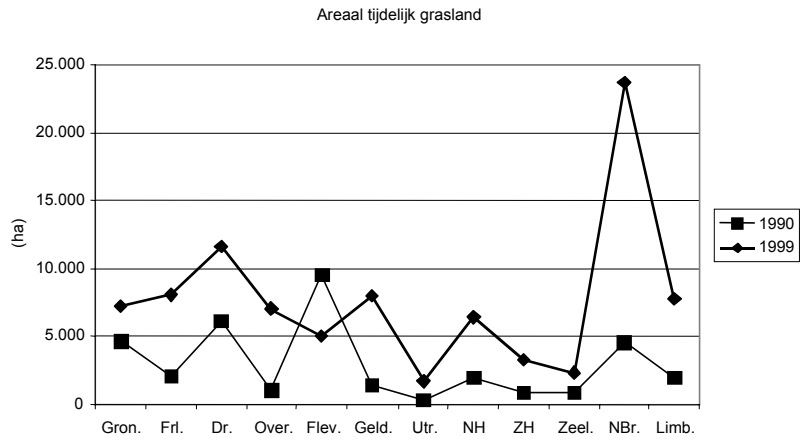
Tijdelijk grasland komt op verschillende manieren voor:

- Veehouderijbedrijven hebben zelf grasland in rotatie liggen met snijmaïs
- Akkerbouwers ruilen grond met veehouders om hun eigen rotatie te verruimen
- Bollentelers pachten grasland van veehouders. Zij hebben voor een aantal gewassen "schone" grond nodig en moeten zeer ruime rotaties aanhouden. De bloembollensector is een sector met hoge investeringskosten en dito opbrengsten, zeker indien vergeleken met de akkerbouw en graasveehouderij

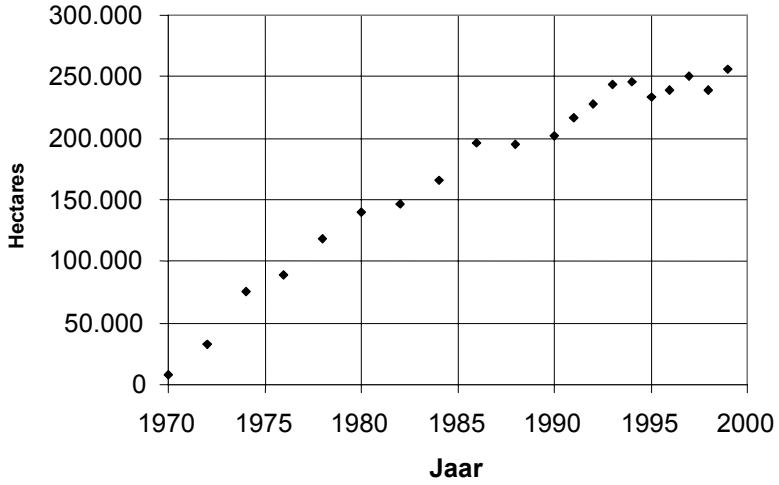
2.2.1 Maïs

De teelt van snijmaïs is vanaf 1970 sterk toegenomen. Tot ongeveer 1986 steeg de oppervlakte maïsland lineair tot ongeveer 200.000 hectare. Na enige jaren stilstand nam de oppervlakte in de periode 1990-1995 verder toe tot ongeveer 250.000 hectare (figuur 3). Door de toegenomen mogelijkheden van de teelt van snijmaïs in het

noordelijk deel van Nederland is een verdere toename van het areaal snijmaïs te verwachten. Het is ook mogelijk dat een deel van de snijmaïs wordt vervangen door teelt van andere voedergewassen, zoals triticale geoogst als GPS. Een dergelijke teelt is met name interessant als tussenteelt tussen maïs en gras, omdat door de vroege oogst (begin juli) relatief vroeg gras ingezaaid kan worden.



Figuur 2. **De oppervlakte tijdelijk grasland in de verschillende provincies in Nederland in 1990 en 1999.**



Figuur 3. Het areaal maïs (snijmaïs, korrelmaïs) in Nederland van 1970 tot en met 1999 (bron: Rassenlijst 2000)

2.2.2 Grasland in rotatie met akkerbouw

Veel snijmaïs wordt in continuteelt verbouwd. In de jaren negentig is de aandacht voor de vruchtwisseling van gras en snijmaïs toegenomen vanwege enkele negatieve effecten van continuteelt, zoals wortelverbruining, aaltjes en toenemende

onkruiddruk. Berekeningen laten zien dat de vruchtwisseling van gras en snijmaïs economisch niet aantrekkelijk is vanwege de opbrengstderving direct na de inzaai van gras (Nijssen et al., 1996). Op het proefbedrijf de Marke wordt een vruchtwisseling van gras en snijmaïs wel toegepast (Aarts et al., 2000).

Dankzij de aandacht voor de vruchtwisseling en het onderzoek van de Marke is naar verwachting meer maïs in rotatie met grasland verbouwd in de laatste jaren. Dit is een mogelijke verklaring voor de toename van de oppervlakte tijdelijk grasland in een "snijmaïsprovincie" als Noord-Brabant.

Op biologische bedrijven is beduidend meer aandacht voor vruchtwisseling. Door de toename van de biologische veehouderij zal het areaal tijdelijk grasland toenemen.

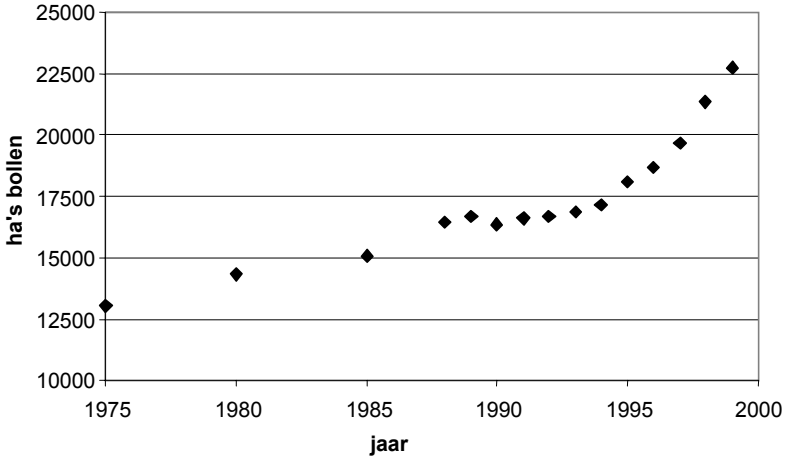
De ruil van grasland met akkerbouwers voor een ruimere rotatie van de akkerbouwgewassen vindt slechts plaats op beperkte schaal op de gangbare bedrijven. Alleen daar waar veehouderij en akkerbouw naast elkaar voorkomen, zal deze uitwisseling van enige betekenis zijn. Te denken valt aan Flevoland, Noord-Friesland, Noord-Groningen en West-Brabant.

2.2.3 Grasland en bollenteelt

De bollenteelt is een "reizende" sector. Veel bollentelers hebben geen eigen grond, maar pachten grond bij veehouders en akkerbouwers. Bij bollentelers bestaat een voorkeur voor de teelt in gescheurd ouder grasland. Dit komt door de lage ziektedruk en de goede bodemstructuur na scheuren. De bollensector is een kapitaalkrachtige sector met hoge investeringskosten per hectare en hoge opbrengsten. De oppervlakte bollen neemt sinds 1975 gestaag toe. Na enkele jaren van een gelijkblijvend areaal in het begin van de jaren negentig, is sinds 1995 de oppervlakte met bloembollen weer sterk toegenomen (figuur 4). Ook hierin kan een verklaring liggen voor de toename van het areaal tijdelijk grasland.

Samenvattend: de oppervlakte blijvend grasland neemt gestaag af. De oppervlakte tijdelijk grasland neemt sterk toe sinds 1995. Mogelijke verklaringen zijn

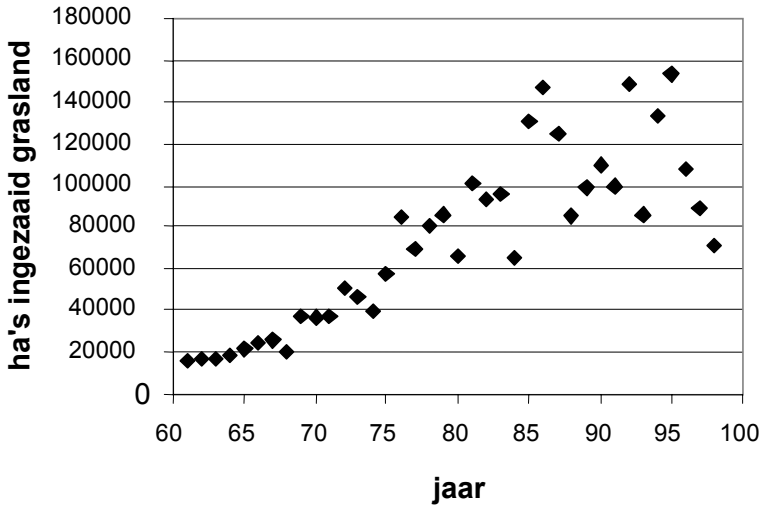
- toename van vruchtwisseling gras-snijmais
- biologische landbouw en
- toename van bollenteelt.



Figuur 4. De oppervlakte bloembollen in Nederland sinds 1975. Bron CBS landbouwcijfers, 1993 en Landbouwdatabank 2000.

2.3 Herinzaai van grasland in Nederland

Aan de hand van gegevens van de landbouwtellingen van het CBS (van Eerdt, 1999) en van de Rassenlijst 2000 kan de oppervlakte grasland die jaarlijks wordt ingezaaid worden geschat (Aanhangsel 1) (figuur 5). Vanaf 1982 schommelt de oppervlakte ingezaaid grasland rond de 10% (100 000 hectare per jaar) van de totaal ruim 1.000.000 ha in Nederland. Er is sprake van een grote variatie tussen opeenvolgende jaren; deze wordt veroorzaakt door onder meer de strengheid van de winters (inzaai-jaren 1985, 1986 en 1996). Ook ruimtelijk is er variatie binnen Nederland: herinzaai wordt niet of nauwelijks toegepast op veengronden.



Figuur 5. De geschatte oppervlakte ingezaaid grasland op basis van de hoeveelheden zaaizaad. Bron: Aanbevelende rassenlijst 2000.

In de landbouwtelling van het CBS wordt op bedrijven met rundvee om de drie jaar geïnventariseerd hoeveel grasland wordt ingezaaid (Tabel 1). Daarbij maakt men onderscheid tussen:

- herinzaai van gescheurd grasland, zonder tussengewas,
- doorzaai van bestaand grasland (grasland wordt daarbij niet gescheurd)
- inzaai van grasland na een ander gewas.

Tabel 1. Oppervlakte grasland met herinzaai, doorzaai en inzaai na ander gewas op bedrijven met rundvee in 1990, 1993 en 1996.

Jaar van inzaai	Herinzaai	Doorzaai	Inzaai na ander gewas	Totaal
1990	61 000	14 000	52 000	127 000
1993	44 500	12 600	31 200	88 300
1996	59 200	50 000	44 000	153 200

De grote oppervlakte herinzaai en doorzaai in 1996 is veroorzaakt door de strenge voorgaande winter, waardoor veel grasland dusdanig verslechterd was, dat verbetering noodzakelijk was. De inschatting is dat de oppervlakte grasland die na scheuren opnieuw wordt ingezaaid varieert van ongeveer 45 000 tot 60 000 hectare per jaar, dat is ongeveer 5 tot 6% van het graslandareaal in Nederland. Afhankelijk van de weersomstandigheden in met name de winter kan de oppervlakte doorzaai (inzaaien zonder scheuren van grasland) sterk variëren. De oppervlakte herinzaai na een ander gewas is een maat voor het tijdelijk grasland in Nederland en varieert van 30 000 tot ongeveer 50 000 hectare.

2.4 Stikstofopbouw onder grasland en stikstofafbraak bij scheuren

2.4.1 N-voorraad in de bodem

De totale hoeveelheid stikstof onder grasland bedraagt duizenden kilogrammen. Hassink (1996) geeft voor zandgronden een traject aan van 0,1 tot 0,5% organische stikstof in de laag van 0 - 20 cm. Bij een dichtheid van de grond van 1,4 betekent dat een hoeveelheid van 2800 tot 14000 kilogram N per hectare. Voor kleigronden is het traject 0,15 tot 0,5%, hetgeen neerkomt op hoeveelheden van 4200 tot 14000 kg N per ha.

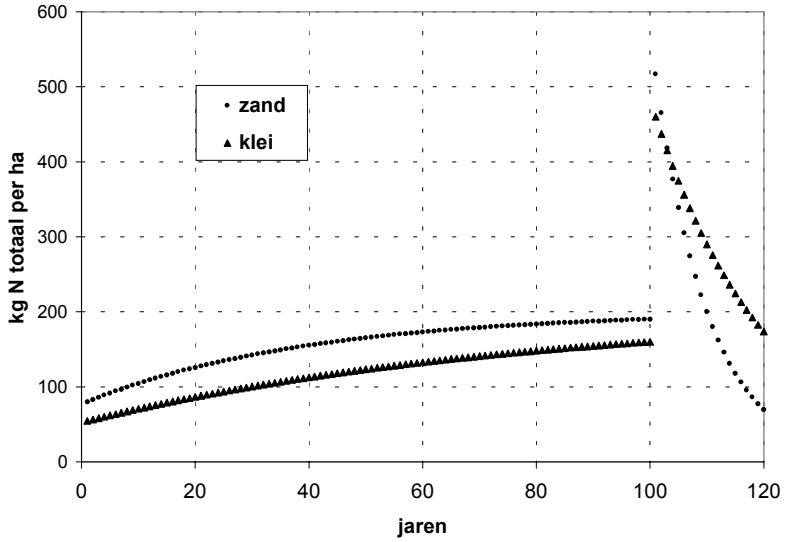
Ook onder bouwland is al een zekere hoeveelheid organische stikstof aanwezig, deze wordt door verschillende onderzoekers op 5000 tot 6000 kg N per ha geschat (Strebel et al., 1988; Whitmore et al., 1992; Kortleven, 1963). Op basis van de gegevens van Hassink (1996) zou de ondergrens voor zand- en kleigrond op resp. ongeveer 3000 en 4000 kg N per ha liggen.

2.4.2 Stikstofafbraak bij scheuren van grasland

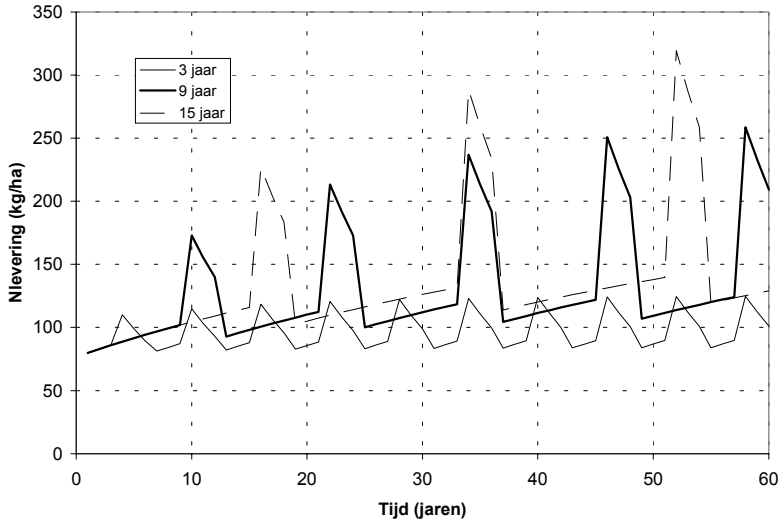
Dat bij het scheuren van voormalig grasland grote hoeveelheden stikstof in het geding zijn, die grote invloed hebben op de nitraatconcentraties in grond- en

oppervlaktewater, is duidelijk aangetoond (Whitmore et al., 1992.; Hoffman, 1999). Op basis van literatuur en modelberekeningen kan worden geconcludeerd dat in het eerste jaar na scheuren in het gunstigste geval ongeveer 100 kg N per ha vrijkomt, maar in het ongunstigste geval meer dan 1000 kg N. In de eerste drie jaar na scheuren varieert de hoeveelheid stikstof die vrijkomt van ongeveer 1750 tot 5000 kg N per ha (zie aanhangsel 2 voor stikstofverliezen als gevolg van herinzaai). Lloyd (1992) vond dat de methode van grondbewerking bij het eerste bouwlandjaar slechts beperkte invloed had op het stikstofverlies.

Er is verschil in de hoeveelheid stikstof die vrijkomt op voormalig grasland op zandgrond en grasland op kleigrond (figuur 6). In de eerste jaren na scheuren komt meer stikstof vrij onder grasland op zand. Op de lange termijn komt er onder voormalig grasland op klei meer stikstof vrij, omdat er onder grasland op klei meer stikstof is vastgelegd in organische stof dan onder grasland op zand.



Figuur 6. De stikstoflevering uit de organische stof tijdens een graslandperiode van 100 jaar en een bouwlandperiode van 20 jaar op zand- en kleigrond. Berekeningen afgeleid van Schröder et al. (1991).



Figuur 7. De stikstoflevering van zandgrasland in rotatie met bouwland bij graslandperioden van 3, 9 en 15 jaar gedurende een periode van 60 jaren. Gegevens afgeleid van Schröder et al. (1991).

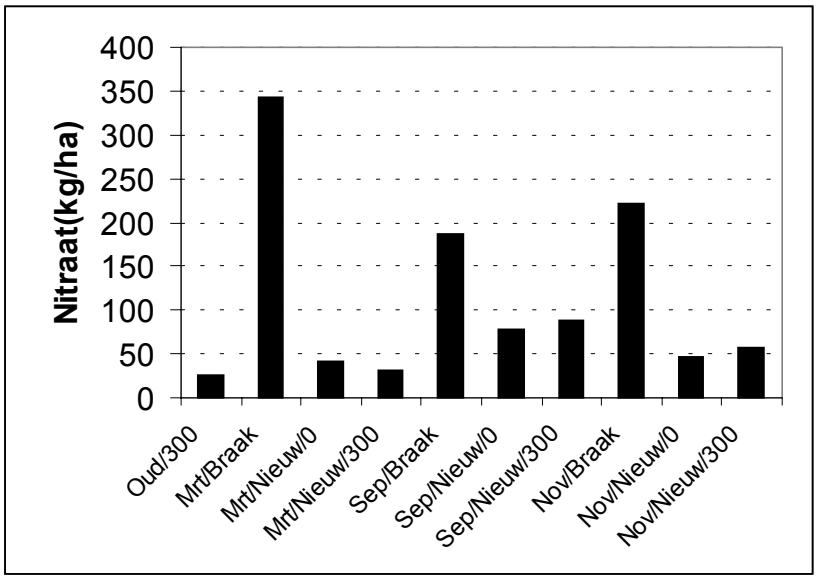
Ook de leeftijd van het grasland (de periode dat het perceel al grasland is) heeft een duidelijke invloed op de vrijkomende hoeveelheid stikstof (figuur 7; tabel 2). In figuur 7 worden graslandperioden van verschillende lengte steeds afgewisseld door bouwlandperioden van drie jaar. De hoeveelheden stikstof genoemd in Tabel 2 komen vrij als de grond na scheuren braak blijft liggen of wordt gebruikt als bouwland.

Tabel 2. De berekende stikstoflevering onder gescheurd grasland op zand- en kleigrond van verschillende leeftijden in het eerste jaar en de eerste drie jaren na scheuren..

Leeftijd grasland (jaren)	Zandgrasland		Kleigrasland	
	Vrijkomende N Jaar 1	Jaar 1-3	Vrijkomende N Jaar 1	Jaar 1-3
3	125	338	123	352
9	259	701	228	649
15	319	865	261	744
100	517	1401	460	1312

Als na het scheuren van grasland direct weer gras wordt ingezaaid, ontstaat een andere situatie. Ernst & Berendonk (1991) vonden slechts een zeer beperkte toename van de nitraatuitspoeling als het gescheurde grasland opnieuw werd ingezaaid met gras in plaats van het braak te laten liggen. Dit wordt bevestigd door gegevens van Schils et al. (1997), Roberts et al. (1989) en Cuttle & James (1995).

Ernst (1991) meet na het scheuren een lichte toename van de nitraatuitspoeling die afhankelijk is van het moment van inzaai (figuur 8). Snel na deze toename is de uitspoeling weer terug op het oude niveau.



Figuur 8 De nitraatuitspoeling op 60 cm diepte onder oud grasland en gescheurd grasland met als nateelten braak en gras op twee bemestingsniveaus bij verschillende tijdstippen van scheuren en herinzaai (Bron: Ernst, 1991)

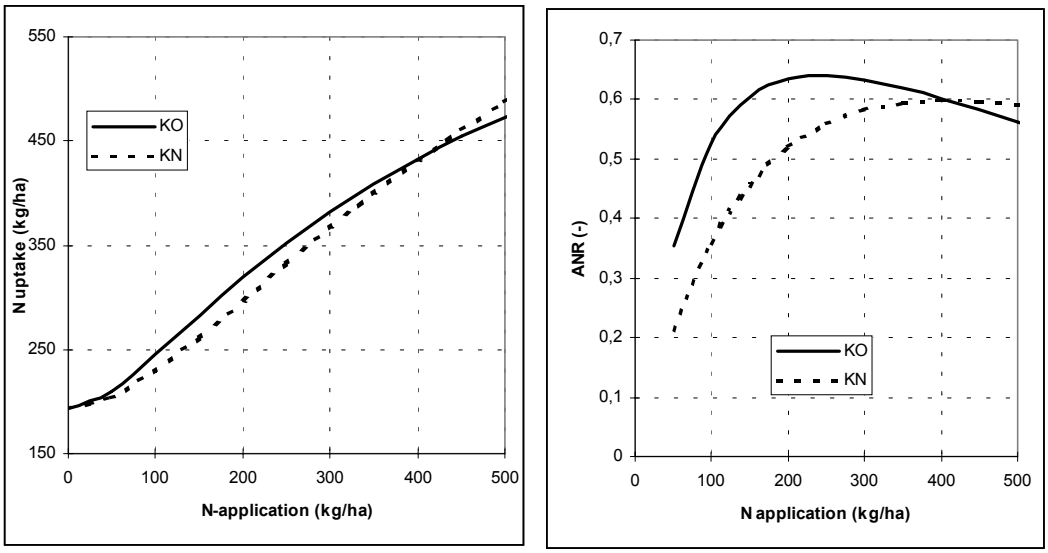
Hoewel er in gras-gras opvolgingen weinig stikstof verloren lijkt te gaan, is er wel een duidelijke invloed van het tijdstip waarop het grasland wordt gescheurd en opnieuw wordt ingezaaid. Uit het onderzoek van Ernst & Berendonk (1991) blijkt dat inzaai in de nazomer tot de grootste stikstofverliezen leidt (50 tot 60 kg N per ha). Het ingezaaide gras is in de herfst nog te weinig ontwikkeld om de relatief grote hoeveelheid gemineraliseerde stikstof op te nemen. Door laat in de herfst te scheuren treedt weinig mineralisatie op, de vrijkomende stikstof kan worden opgevangen door vroege inzaai in het volgende voorjaar. De potentiële effectiviteit van deze methode wordt onderschreven door Linden & Wallgren (1993). Scheuren van grasland in het voorjaar, direct gevolgd door herinzaai, beperkt het stikstofverlies tot ongeveer 5 tot 15 kg N per ha (Ernst & Berendonk, 1991; Wouters, 2000). Op basis hiervan mag verwacht worden dat het stikstofverlies bij herinzaai in het voorjaar slechts eenderde tot de helft bedraagt van het stikstofverlies bij scheuren in het najaar.

Door het scheuren van grasland is de productie een tijd nihil. Dat betekent een verlies aan potentiële productie van 1500 tot 3500 kg droge stof per ha bij herinzaai in respectievelijk najaar en voorjaar en betekent derving van inkomsten. Dit "verlies" komt, uitgaande van 3% stikstof, overeen met 45 tot 105 kg N per ha. Deze hoeveelheid stikstof is uit oogpunt van lachgasemissie geen verlies; het is stikstof in niet geproduceerd gras. Als de veehouder voldoende ruwvoer heeft, wordt zijn ruwvoeroverschot wat kleiner, zo niet dan zal hij het voer elders moeten aankopen. Bij de teelt van het elders geproduceerde voer is (kunst)mest nodig en zullen verliezen ontstaan.

2.4.3 Vastlegging van stikstof

Ondanks dat er weinig opbrengstverschillen zijn gevonden bij herinzaai (Luten, 1983; Hopkins et al., 1991, 1995; Hoogerkamp, 1974) en er weinig stikstof verloren lijkt te gaan, is er waarschijnlijk toch sprake van een sterkere vastlegging van stikstof onder nieuw ingezaaid grasland. Vellinga & André (1999) zagen een extra immobilisatie van 50 kg N per ha per jaar als gevolg van herinzaai. Dat betekent dat bij lagere bemestingen de stikstofrecovery wordt verlaagd (figuur 9). Het is onvoldoende duidelijk gedurende hoeveel jaar deze vastlegging optreedt. Door een betere grasmat (meer en beter Engels raaigras) wordt bij hogere bemestingen (meer dan 250 tot 300 kg N per ha per jaar) wel een gelijke tot hogere stikstofopname en drogestof productie gerealiseerd. De sterkere immobilisatie is in overeenstemming met de waargenomen lagere nitraatuitspoeling onder nieuw ingezaaid grasland (Schils et al., 1996; Scholefield et al., 1993). Vergeer (1999) stelde vast dat immobilisatie gedurende de eerste vijf á zes jaren na herinzaai bijna lineair verloopt. De totale immobilisatie zal dan al gauw 300 kg N per ha bedragen.

Verlies uit de bodem en vastlegging in de bodem lijken in tegenspraak, maar vinden niet tegelijkertijd plaats. Verlies is mogelijk op momenten dat de opnamecapaciteit (nog) beperkt is en vastlegging vindt naar alle waarschijnlijkheid plaats tijdens actieve groei van het gewas waarbij veel organische stof naar de bodem wordt getransporteerd.



Figuur 9. De stikstofopname en de stikstofrecovery (ANR) op oud en nieuw kleigrasland. Figuren ontleend aan dataset Vellinga & André (1999)

Als grasland wordt ingezaaid na bouwland, is de nitraatuitspoeling lager dan van vergelijkbaar grasland dat niet is ingezaaid (Riess et al., 1995). Ook Hoffmann (1999) meldt een duidelijke daling van de nitraatverliezen door de omzetting van bouwland in grasland.

Samenvattend: als grasland wordt gescheurd en vervolgens als bouwland wordt gebruikt, kunnen er, afhankelijk van de leeftijd van het grasland, honderden tot duizenden kilogrammen stikstof verloren gaan. Bij graslandverbetering, scheuren van gras direct gevolgd door herinzaai, is sprake van een stikstofverlies van ongeveer 100 – 300 kg N bij respectievelijk inzaai in voorjaar en najaar. Na graslandverbetering wordt ook stikstof vastgelegd en vastgehouden.

3 Kwantificering van lachgasemissie

Er is geen literatuur beschikbaar met betrekking tot de vorming en emissie van lachgas bij scheuren, ploegen, herinzaai en/of omzetting van grasland in bouwland of bouwland in grasland. Ook de IPCC methodiek kent geen specifieke emissiefactor voor N_2O als gevolg van veranderingen in het beheer van grasland binnen of buiten landbouwkundig gebruik.
In dit hoofdstuk wordt derhalve een schatting van de emissie van lachgas op basis van geschatte emissiefactoren voor Nederland gepresenteerd voor een aantal vormen van graslandomzetting (zie ook tabel 5 in rapportage van bemesting over emissiefactoren voor lachgasemissie). In dit rapport worden verschillende emissiefactoren gehanteerd voor verschillende deelprocessen en voorraden van stikstof conform de IPCC methodiek.

- Gewasresten na onderploegen van de grasmat: emissiefactor 1,25% analoog aan emissiefactor voor gewasresten in bouwland.
- De mineralisatie van stikstof uit bodemorganische stof na ploegen of bewerken van grasland: minimaal 0,5 en maximaal 1,25% van de vrijkomende N, analoog aan de emissiefactor voor (kunst)meststikstof.
- Eventuele nitraatuitspoeling die het gevolg is van bewerking van het grasland: emissiefactor van 2,5%, conform IPCC richtlijnen.
- Er wordt door de afbraak van organische stof ook CO_2 geproduceerd. Door de immobilisatie in de navolgende graslandperiode wordt het organische stofgehalte weer naar de oude (evenwichts)situatie teruggebracht en wordt er weer evenveel CO_2 vastgelegd als er is vrijgekomen. Figuur 7 beschrijft dit proces voor stikstof, maar hetzelfde geldt voor organische stof. Als het grasland niet gescheurd zou zijn, was er misschien nog een extra hoeveelheid vastgelegd. Die hoeveelheid is afhankelijk van de toestand (ouderdom, grondsoort) van het grasland voor het scheuren. Alleen voor de situatie waarin blijvend grasland wordt omgezet in bouwland (eventueel in rotatie met korte graslandperioden) moet de CO_2-afbraak wel bij de emissie worden geteld. De snelheid van koolstof- en stikstofaccumulatie is bij omzetting van bouw- in grasland wel aanmerkelijk langzamer dan de verliezen die optreden bij omzetting van gras- in bouwland.
- De kringloopredenering van koolstof gaat niet op voor stikstof. De koolstof wordt bij de vastlegging weer uit de lucht gehaald, maar de stikstof moet via externe inputs weer worden aangevoerd. De emissiefactor voor kunstmest is 1,25 en verdere emissies van N_2O en CO_2 vinden plaats bij de productie en in mindere mate bij transport van kunstmest.

Op bovenstaande wijze wordt een maximale waarde voor de nationale emissie berekend (zie tabel 6). Daarnaast wordt een ondergrens gegeven door uitsluitend te rekenen met de "gewasresten" en de indirecte emissies als gevolg van uitspoeling van nitraat.

3.1 Systeem a: graslandverbetering.

Graslandverbetering wordt uitgevoerd als de kwaliteit van de bestaande grasmat slecht is. Het aandeel landbouwkundig goede grassen is dan laag. Minder gewenste grassen en kruiden nemen een groot deel van de ruimte in. In het verleden is veel graslandverbetering uitgevoerd in combinatie met egaliseren van percelen, dichten van greppels en aanleggen van drainagebuizen. Tegenwoordig is vaak alleen de kwaliteit van de grasmat de reden voor herinzaai.

De vraag die in het kader van ROB speelt is of de lachgasemissie bij graslandverbetering anders is dan in een situatie zonder graslandverbetering. Deze vraag zal worden beantwoord aan de hand van onderstaand schema.

Emissieschema bij herinzaai van grasland (gras-gras situatie)

Toestand	Emissiebronnen
Oud grasland	Afbraak os , opbouw os, bemesting, beweiding
↓	
Scheuren	Afbraak os (slechts gedurende korte periode), nitraatuitspoeling
↓	
Nieuw grasland	Afbraak os, opbouw os, bemesting, beweiding

[1] os = Organische stof

Bij het scheuren van grasland ontstaat een sterke afbraak van bodem organische stof en van de grasresten gedurende korte tijd die leidt tot mineralisatie van stikstof. Hierbij gaat, afhankelijk van het tijdstip van inzaai, ongeveer 100 (lage schatting) tot 300 (hoge schatting) kg N per ha verloren. Deze stikstof komt in de bodem beschikbaar als nitraat en spoelt gedeeltelijk uit. De lachgasemissie bedraagt daarbij, afhankelijk van het tijdstip van herinzaai en de gebruikte emissiefactoren, 1500 tot 5500 kg CO_2-equivalenten per ha (Tabel 3).

Het grootste deel van de graslandverbetering vindt plaats in het najaar. De nationale Nederlandse emissie zal daarom dichter bij de 0,30 Mt CO_2-equivalenten liggen dan bij de 0,10 Mt CO_2-equivalenten.

Tabel 3. De emissie in kg N_2O-N en CO_2-equivalenten bij graslandverbetering van respectievelijk 45000 en 60000 ha voor Nederland.

	Emissie	Najaar		Voorjaar	
	Factor	Laag	Hoog	Laag	Hoog
Emissie als gevolg van mineralisatie uit gewasrest en bodemorganische stof in kg N per ha	0.5-1.25	1.5	3.75	0.5	1.25
Emissie uit indirecte verliezen in kg N per ha	2.5	7.5	7.5	2.5	2.5
Subtotaal N_2O (kg/ha N)		9.0	11.3	3.0	3.8
CO_2-equivalenten voor N_2O[1]		4400	5500	1500	1800
Verlies C uit bodem (kg/ha CO_2)		0	0	0	0
Totaal CO_2 equivalenten (kg/ha CO_2)		4400	5500	1500	1800
Totaal CO_2 equivalenten Mt					
Graslandverbetering 45 000 ha		0.20	0.25	0.07	0.08
Graslandverbetering 60 000 ha		0.26	0.33	0.09	0.11

[1] De omrekening van kg N naar kg CO_2-equivalenten is als volgt: per kg N 28/44 maal 310 (GWP voor lachgas)

In het verbeterde grasland spelen verschillende processen door elkaar:

- Het organische stof gehalte is lager. Dit leidt tot een sterkere immobilisatie van N, waardoor de emissie kan afnemen.
- Door het stikstofverlies is het stikstofleverend vermogen van het grasland lager geworden en is meer N nodig om een gelijke productie te realiseren. Door de hogere bemesting zal de emissie toenemen.
- Nieuwe rassen van grassoorten kunnen meer produceren per hectare en per kilogram kunstmeststikstof dan oude rassen. Er is spraken van genetische vooruitgang. Dat effect is sterker bij hoge dan bij lage bemestingen. Omgekeerd kan bij een gelijkblijvende productie op kunstmest worden bespaard hetgeen kan leiden tot lagere emissies van lachgas bij productie en aanwending.
- Door de mineralenwetgeving is de aanvoer van stikstof beperkt. Dat vermindert de genetische voordelen van de nieuwe rassen. Ook zal de stikstofbemesting na herinzaai niet zo maar worden verminderd. Bij gelijke bemesting hoopt men meer gras te verkrijgen. Dat leidt tot minder aankoop van voerstikstof, waardoor meer ruimte komt voor de aankoop van kunstmeststikstof. In dat geval zal de emissie op het bedrijf eveneens toenemen.

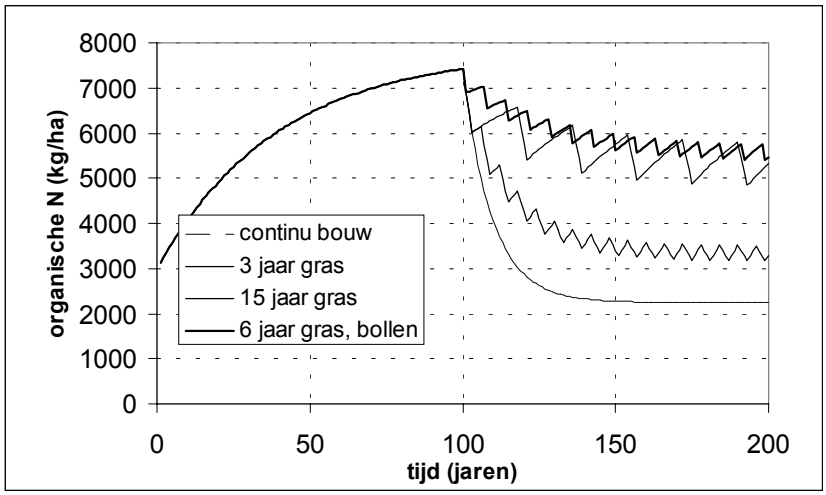
Het is om bovenstaande redenen lastig aan te geven in hoeverre de lachgasemissie bij scheuren weer kan worden gecompenseerd in de jaren erna. Een eerste indruk is dat slechts in zeer beperkte mate spraken zal zijn van compensatie van eerdere emissies.

3.2 Systeem b: conversie van grasland naar (permanent) bouwland en gras-bouwland rotaties

De omzetting van grasland in bouwland vindt plaats bij (semi-)permanente omzetting. Bij permanente omzetting blijft het perceel voor een lange periode bouwland. De oppervlakte die permanent wordt omgezet en dus niet in een rotatie met gras terechtkomt, is waarschijnlijk beperkt.

Het kan ook zijn dat oud grasland wordt ingezet in een rotatiesysteem van bouwland, gevolgd door weer enkele jaren grasland. Dit komt voor bij grondruil tussen akkerbouwers en veehouders, bij biologische bedrijfssystemen en bij de teelt van bollen. Grasland wordt in een rotatie opgenomen om via verruiming van het bouwplan de ziektedruk te verminderen en om organische stof in de bodem te brengen. Op het proefbedrijf "de Marke" wordt de graslandrotatie ook gebruikt om een fosfaatbuffer aan te leggen, zodat bij de teelt van maïs alleen maar een zeer beperkte gift dierlijke mest voldoende is.

In het geval van een rotatie wordt de afbraak tijdens bouwland weer gevolgd door een periode van opbouw tijdens de graslandperioden. Deze opbouw van organische stof is echter niet altijd genoeg om de afbraak te compenseren. Het organisch stofgehalte in de evenwichtsituatie is lager dan dat onder permanent grasland (figuur 10, geïllustreerd voor zandgrasland). De hoogte van het evenwichtsniveau is afhankelijk van de rotatie.



Figuur 10 De opbouw van organische stikstof onder grasland en de afbraak als na 100 jaar het grasland wordt gescheurd en wordt ingezet in verschillende bouwlandsystemen.

De vraag die in het kader van ROB bij dit systeem gesteld kan worden is: welke lachgasemissie treedt op als grasland wordt omgezet in permanent bouwland of in een rotatie gras-bouwland?

Emissieschema bij scheuren oud grasland en gebruik als bouwland

Toestand	Emissiebronnen
Grasland	Afbraak os, immobilisatie, bemesting, beweiding
↓	
Scheuren	Afbraak os, uitspoeling
↓	
Bouwland	Afbraak os, (aangepaste) bemesting, gewasresten

Bij de berekening van de emissies moet de CO_2-emissie nu wel worden meegerekend, omdat het gehalte organische stof naar een nieuw en lager evenwicht tendeert.

Uitgangspunten bij de berekeningen:

- het model van Schröder et al. (1992), beschreven in bijlage 2.
- Er komt 300 kg N vrij uit de graszode.
- In een aantal bemestingsadviezen wordt rekening gehouden met de voorvrucht grasland. Hiermee wordt in totaal 100 kg N bespaard op meststoffen.
- Door de grote hoeveelheid stikstof die vrijkomt zullen de gewassen ook een hogere Nopname hebben. In de eerste drie jaren na scheuren is gerekend met een hogere Nopname van 50 kg, daarna met 25 kg N per ha per jaar. Over een lange periode van jaren (ongeveer 20 jaar) is de extra Nopname ongeveer 700 kg N per ha.
- C/N-quotiënt van de organische stof is 15.

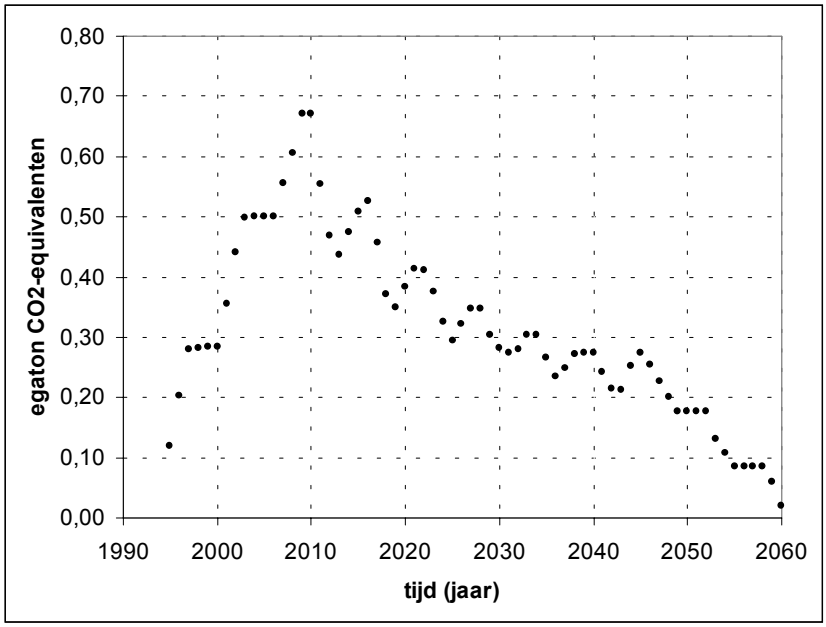
- In de afgelopen vijf jaar is het areaal tijdelijk grasland met ongeveer 40 000 hectare toegenomen (2.3). Geschat wordt dat deze trend zich nog een aantal jaren zal voortzetten met 5 000 hectare per jaar.

Alleen de resultaten met de emissiefactor 1,25 worden weergegeven. Bij gebruik van de factor 0,5 zijn de waarden in Tabel 4 ongeveer 5 tot 10% lager. Mede door de bijtelling van de CO_2 productie is de totale lachgasemissies zeer hoog (Tabel 4). In een aantal gevallen is er sprake van een negatieve emissie. Dan is er in de bouwlandperiode wel sprake van een snelle afbraak van organische stof, maar in de relatief lange graslandperiode erna wordt er weer meer organische stof opgebouwd. De verliezen tijdens de teelt van de gewassen worden meegenomen in 3.3.

Tabel 4. De verliezen van stikstof (kg N per ha) en de emissie van N_2O in kg N_2O-N in CO_2-equivalenten bij scheuren van 5000 ha grasland voor bouwland, met en zonder wisselbouw (van 3, 15 of 6 jaar gras en respectievelijk 3, 3 en 1 jaar bouwland).

N-verlies in kg N per ha	Continu bouw	Rotatie 3/3	Rotatie 15/3	Bollen 6/1	Totaal
Zandgrond					
Gras 100 jaar	5200	4000	2000	1600	
Gras 50 jaar	4200	3000	1400	1000	
Kleigrond					
Gras 100 jaar	7400	4000	60	-700	
Gras 50 jaar	6400	3700	-700	-1100	
CO_2-equivalenten + CO_2					
Zandgrond					
Gras 100 jaar	238 000	183 000	92 000	73 000	
Gras 50 jaar	192 000	137 000	64 000	45 000	
Kleigrond					
Gras 100 jaar	339 000	183 000	3 000	-32 000	
Gras 50 jaar	293 000	169 000	-32 000	-50 000	
Scheuren van grasland op 5000 ha totaal, verdeeld over:					
Zand/klei continue bouwland - 100 ha	0.03				
Zand/klei rotatie 3/3 - 3900 ha		0.66			
Zand/klei rotatie 15/3 - 0 ha			0.00		
Zand/klei bollen 6/1 - 1000 ha				0.01	
Totaal (Mt CO_2-eq)					0.69

De emissies uit Tabel 4 zijn het gevolg van landgebruikveranderingen en zijn zeer hoog. Deze hoge emissies worden gerealiseerd gedurende een lange periode na het scheuren. Als jaarlijks 5000 hectare wordt gescheurd volgens de oppervlaktes in tabel 4, zal in het begin de emissie sterk stijgen. In figuur 11 is het scheuren van grasland gesimuleerd voor de periode van 1995 tot en met 2010. De maximale emissie bedraagt dan 0,70 Megaton CO_2-equivalenten per jaar. Als het scheuren dan wordt gestopt, daalt de emissie langzaam totdat de emissie na 50 jaar nagenoeg nihil is.



Figuur 11 De berekende emissie in Mt CO_2-equivalenten voor Nederland als gevolg van het scheuren van grasland voor bouwland tot 2010 en indien na 2010 niet meer gescheurd wordt

3.3 Systeem c: grasland en bouwland in rotatie bij een evenwichts-niveau van organische stof.

In 3.2 is de afbraak van organische stof beschreven als grasland wordt gescheurd en wordt ingezet in bouwlandsystemen. Afhankelijk van het gekozen systeem ontstaat een nieuwe evenwichtswaarde. De verliezen die tijdens de teelt optreden zijn in de voorgaande paragraaf niet meegenomen. Deze worden afzonderlijk behandeld. Omdat de C-afbraak al in 3.2 is beschreven en berekend, hoeft deze nu niet te worden meegenomen.

De vraag, die in het kader van ROB relevant is, is: zodra het evenwichtsniveau van organische stof zich heeft ingesteld, is de lachgasemissie bij een rotatiesysteem dan nog groter dan bij een gescheiden systeem van permanent grasland en permanent bouwland?

Emissieschema bij grasland in rotatie met bouwland

Toestand	Emissies
Grasland	Afbraak os, immobilisatie, bemesting, beweiding
↓	
Scheuren	Afbraak os
↓	
Bouwland	Afbraak os, bemesting, gewasresten
↓	
Grasland	Afbraak os, immobilisatie, bemesting, beweiding

Het antwoord op de gestelde vraag is sterk afhankelijk van de leeftijd waarop het grasland wordt gescheurd. Bij een driejarige graslandperiode is de vrijkomende hoeveelheid stikstof veel kleiner dan bij een vijftienjarige graslandperiode (Tabel 2). De vraag zal voor beide graslandperioden worden beantwoord. Tevens zal een éénjarige periode van bollenteelt na 6 jaar grasland worden beschreven.

3.3.1 Graslandperiode 3 jaar

De vrijkomende hoeveelheid stikstof uit bodem organische stof bedraagt over een periode van drie jaar bouwland ongeveer 340 tot 420 kg N. Daar komt nog een hoeveelheid uit gewasresten bij van 200 kg N per ha. In dezelfde periode kan bij de teelt 100 tot 130 kg N worden bespaard op de stikstofbemesting. Aangenomen wordt dat daarnaast nog eens 50 kg N extra wordt opgenomen door de akkerbouwgewassen als gevolg van de sterke mineralisatie en positieve vruchtwisselingeffecten Dat betekent dat er 540 tot 620 minus 150 tot 180 = 360 tot 510 kg N vrijkomt, die als verlies moet worden beschouwd over de bouwlandperiode van 3 jaar. Dat is een verlies van 50 tot 100 kg N per ha per "bouwlandjaar". Na afloop van de bouwland periode dient het verlies gecompenseerd te worden via aanvullende bemesting (zie Rapport ROB 1.2 Bemesting) waarbij eveneens emissies van lachgas optreden. Uiteindelijk bepaalt de continue verschraling van het systeem de verliezen van N en de daarmee gepaard gaande emissies van lachgas en bepaalt de wens om de productie in stand te houden de omvang van de noodzakelijke bemesting.

Na de bouwlandperiode wordt er weer gras ingezaaid en is een sterke immobilisatie van stikstof te verwachten. De lagere uitspoeling van nitraat wijst daar ook op (Schils et al., 1997; Scholefield et al., 1993; Riess et al., 1995). Dat zou kunnen betekenen dat in zo'n periode de indirecte emissie van meststoffen kleiner is dan in situaties met ouder grasland. De immobilisatie kan dus de versterkte emissie van de voorgaande bouwlandperiode enigszins compenseren.

Deze compensatie wordt echter op andere wijze weer tenietgedaan. Als de stikstofbemesting niet wordt gecorrigeerd voor de sterkere immobilisatie, betekent het een lagere grasproductie. De lagere grasproductie kan worden opgevangen door een hogere bemesting, met bijbehorende hogere emissies. Door de mineralenregelgeving (MINAS) is de aanvoer van stikstof echter beperkt. Als de lagere grasproductie niet kan worden verhoogd, moet er meer ruwvoer worden aangekocht. Bij de productie van het aangekochte ruwvoer zijn elders verliezen ontstaan.

De totale emissie uitgedrukt in CO_2-equivalenten bedraagt 6600 tot 9300 kg per ha voor de gras-bouwland rotatie met 3 jaar grasland. Per bouwlandjaar komt dat neer op 2200 tot 3100 kg CO_2-equivalenten per hectare (Tabel 5a en 5b).

3.3.2 Graslandperiode 15 jaar

Ook bij deze graslandperiode wordt uitgegaan van een driejarige bouwlandperiode. In een zo langdurige rotatie is wel vijf keer zoveel grasland als bouwland nodig. De hoeveelheid vrijkomende stikstof uit bodem organische stof bedraagt in dit geval 950 tot 1100 kg N. Uit de graszode komt nog eens 300 kg N vrij. Na aftrek van aangepaste bemesting en verhoogde stikstofopname (150 tot 180 kg N) blijft daarvan nog over: 1070 tot 1250 kg N per hectare. Ook deze verliezen moeten worden toegeschreven aan een bouwlandperiode van drie jaar en komen dan neer op 360 tot 415 kg N per ha per "bouwlandjaar".

Ook in deze situatie betekent de versterkte immobilisatie een lagere grasproductie. Op bedrijfsniveau moet er dan voer van elders worden aangekocht of moet de bemesting van het grasland toch worden verhoogd.

De totale emissie uitgedrukt in CO_2-equivalenten bedraagt 19 500 tot 22 800 kg per ha voor de gras-bouw rotatie met 15 jaar grasland. Per bouwlandjaar komt dat neer op 6500 tot 7600 kg CO_2-equivalenten per hectare (Tabel 5a en 5b).

3.3.3 Teelt van bloembollen op gescheurd grasland van 6 jaar oud

Op gescheurd grasland worden voornamelijk tulpen geteeld, maar ook iris, gladiool en lelie komen voor. Voor bollen op gescheurd grasland geldt officieel het stikstofbijmestsysteem met een verlaagde startgift. In de praktijk wordt het bijmestsysteem echter bij gescheurd grasland nauwelijks gevolgd, het is te bewerkelijk. Eventueel wordt op basis van ervaringskennis van de teler of voorlichter nalevering van stikstof ingeschat. De geschatte bemesting voor tulp, lelie, iris en gladiool is respectievelijk 70, 0, 45 en 125 kg N (mondelinge informatie Anne Marie van Dam, Laboratorium voor Bloembollen Onderzoek). Aangenomen wordt dat bij de teelt van bloembollen geen rekening wordt gehouden met de nalevering van stikstof uit de oude zode.

De teelt van bloembollen is slechts voor een periode van één jaar. Bij het scheuren van zesjarig grasland komt in één jaar 350 tot 400 kg N vrij uit bodem organische stof. Uit de graszode komt nog eens 300 kg N vrij. Van deze vrijkomende stikstof wordt in het gunstigste geval 50 kg N gebruikt als bemesting door aanpassing van het bemestingsadvies. Dan is er dus sprake van een stikstofverlies van 600 tot 650 kg N per ha bollen.

De totale emissie uitgedrukt in CO_2-equivalenten bedraagt 11 000 tot 11 900 kg per ha per jaar voor de gras-bloembollenrotatie met 6 jaar grasland (Tabel 5a).

3.4 Samenvattend overzicht van emissies

De emissie is het grootst bij het scheuren van grasland voor functieverandering (bouwland al dan niet in rotatie, tabel 5a). Het aantal hectares waarop dit gebeurt is beperkt en wordt voor de komende jaren geschat op 5000 hectare per jaar (tabel 5b). Bij grasland in rotatie is aangenomen dat deze rotatie volledig plaatsvindt met 3 jaar oud grasland. Als het grasland ouder wordt, zal de emissie alleen maar groter worden. Ondanks de relatief beperkte emissie bij graslandverbetering is deze op nationaal niveau toch een behoorlijk grote post en bedraagt tussen 1 en 1.5 Mt CO_2-equivalenten (tabel 5b). Dit wordt veroorzaakt door het omvangrijke areaal en omdat het grootste deel van de graslandverbetering in het najaar plaatsvindt.

Tabel 5a. Overzicht van de emissies in kg CO_2-equivalenten per hectare (lage en hoge schatting) voor de volledige periode waarop de gebeurtenis betrekking heeft en totale emissies voor alle hectares die jaarlijks in Nederland worden gescheurd in de verschillende systemen.

Emissies (kg CO_2-eq/per ha)	Lage schatting	Hoge schatting
Graslandverbetering	1 500	5 500
Omzetting van permanent grasland naar bouwland (eventueel grasland in rotatie)	-30 000	339 000
rotatie 3 jaar gras /3 jaar bouwland	6 600	9 300
rotatie 15 jaar gras /3 jaar bouwland	19 500	22 800
bollen 6 jaar gras / 1 jaar bollenteelt	11 000	11 800

Tabel 5b. Emissie van broeikasgassen per jaar (in Mt CO_2-equivalenten met lage en hoge schatting voor lachgas en kooldioxide) voor het areaal grasland dat jaarlijks in Nederland wordt gescheurd in verschillende systemen van graslandbeheer.

Totale emissie Nederland (Mt CO_2-eq)	Oppervlakte (ha)	Lage schatting	Hoge schatting
Graslandverbetering	60 000	0,09	0,33
Omzetting van permanent naar tijdelijk grasland (eventueel grasland in rotatie).	5 000	0,60	0,69
rotatie 3/3	20 000	0,13	0,19
rotatie 15/3	0	0,00	0,00
bollen 6/1	20 000	0,22	0,24
Totaal	101 000	1,04	1,44

4 Sturende factoren

4.1 Biologische, chemische en fysische factoren

In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste sturende factoren van N_2O-emissie bij het scheuren van grasland, opgesplitst naar factoren op het gebied van klimaat, bodem, gewassen, grondsoort en bodembeheer. De belangrijkste factoren die de N_2O-emissie bij het scheuren van grasland bepalen, zijn de hoeveelheid organische stof onder het oude grasland, het vochtgehalte van de bodem (beïnvloed door neerslag, verdamping, gewas, bodemtype en waterbeheer), de temperatuur, de teelt na het scheuren van gras, de bemesting van het volggewas en de bodemstructuur.

4.2 Sociaal–economische factoren

In de afgelopen tien jaar is de hoeveelheid grasland langzaam afgenomen, als gevolg van verlies van landbouwgrond en de toename van de teelt van bloembollen en snijmaïs. De afname is vooral opgetreden bij het blijvend grasland, terwijl de oppervlakte tijdelijk grasland sterk is toegenomen in de afgelopen vijf jaar.

In de nabije toekomst worden een aantal ontwikkelingen verwacht die mogelijk invloed hebben op het scheuren van grasland, zowel voor graslandverbetering, als voor rotatie met bouwland. Hierbij telt met name de sterke wens om tot verruiming van de rotaties in de bieten en (poot)aardappelteelt te komen als gevolg van beperkingen in de toepassing van bestrijdingsmiddelen. Om de omzetting van gras- in bouwland aantrekkelijk te maken voor de veehouder, zal aan de veehouder een forse prijs betaald moeten worden. Een mogelijk ruilmiddel bij deze vorm van landuitwisseling is de plaatsing van dierlijke mest. De nitraatrichtlijn stelt beperkingen aan de maximale hoeveelheid dierlijke mest per hectare. Voor veehouders kan een grondruil met akkerbouwers in combinatie met een afzetcontract voor dierlijke mest een aantrekkelijke optie zijn.

Een zelfde scenario is denkbaar binnen de bollenteelt waar de hoge noodzakelijke kosten van investeringen en hoge oogstrisico's hoge vergoedingen voor omzetting van grasland mogelijk maakt. Deze overwegingen zijn weergegeven in Tabel 7.

De hiervoor beschreven ontwikkelingen worden voor een belangrijk deel bepaald door ontwikkelingen buiten de graasveehouderijsector. Ook binnen de sector zijn ontwikkelingen gaande die het scheuren van grasland beïnvloeden.

Een daling van de melk- en vleesprijzen zet veehouders aan tot een meer kostenbewust gedrag. De dure graslandverbetering zal daarom kritisch worden bekeken. De verwachting is dat graslandverbetering zal afnemen in de komende jaren. Grondruil voor bollen en akkerbouwgewassen wordt enerzijds sterk gedreven vanuit de andere sectoren, maar ook binnen de veehouderij zijn belangen aanwezig. De hoge bedragen die worden

betaald voor bollenland zijn zeer aantrekkelijk evenals de mogelijkheden voor afzet van dierlijke mest op akkerbouwbedrijven in combinatie met grondruil.

Integrale aanpak van de problematiek moet duidelijk maken wat de sterkste sturende factoren zijn en waar en hoe succesvol kan worden ingegrepen met het doel emissies van lachgas te beperken.

Tabel 6. Biologische, chemische en fysische sturende factoren voor N_2O-emissie bij het scheuren van grasland.

Klimaat/weer	Hoge temp	De afbraaksnelheden van organische stof worden verhoogd, waardoor meer N in korte tijd vrijkomt.
	Lage temp	Lage temperaturen kunnen de afbraak van organische stof remmen, waardoor de vrijkomende stikstof een (iets) beter beheersbare stroom wordt. Vorst kan leiden tot schade in grasland. Graslandverbetering na vorst vindt vooral plaats via doorzaai (Tabel 1), maar zal ook leiden tot tijdelijke (lichte) toename van herinzaai.
	Neerslag	De afbraak van de organische stof na het scheuren van grasland is afhankelijk van de vochtvoorziening. Vochttekorten zullen de mineralisatie remmen. "Extreme" droogte leidt tot afsterven van de grasmat.Wateroverlast kan tot rij- en structuurschade leiden. In deze situaties vindt graslandverbetering plaats als de ruwvoerpositie goed is en er ruimte is om het land voor een tijdje te missen.
Bodem	Organische stof	Als er meer organische stof aanwezig is, zal de hoeveelheid vrijkomende stikstof na scheuren groter worden. De kwaliteit van de organische stof speelt een (beperkte) rol.
	Structuur/ compactie	De structuur van de bodem heeft een groot effect op het vochtgehalte en het zuurstofgehalte en daardoor op de microbiële activiteit. Een algemeen effect van structuur op de N_2O-emissie kan niet worden gegeven. Enerzijds leidt een losse structuur tot een snelle afbraak van de gewasresten, mogelijk leidend tot een verhoogde N_2O-emissie. Anderzijds leidt een dichte structuur tot een verhoogde denitrificatieactiviteit.
	Zand/klei	Scheuren van grasland vindt hoofdzakelijk plaats op minerale gronden. Op zand wordt de organische stof sneller opgebouwd en afgebroken dan op klei. Hoeveelheid organische stof kan bij klei wel hoger worden.
	Veen	Weinig scheuren van grasland voor verbetering en rotaties met akkerbouw/voedergewassen. Laatste tijd wel enige toename maïsteelt op veengrond. Organische stofafbraak vindt op veengrond ook plaats zonder scheuren.
Bodembeheer	Bemesting	Aanpassen van bemesting na scheuren voor akkerbouw kan leiden tot minder N-verliezen. Adviezen zijn beschikbaar. De aanpassing van de bemesting is in alle gevallen minder dan de vrijkomende hoeveelheid stikstof uit een gescheurde zode.
	Bouwplan	Gras-gras situaties leiden tot aanmerkelijk minder stikstofverliezen dan situaties waarbij gras en bouwland in rotatie liggen.
	Grondbewerking	Diepe grondbewerking leidt tot ver onderploegen van organische N. Bereikbaarheid voor volggewas wordt minder. Wordt afbraak ook trager?
Hydrologie	Ontwatering	Door verbetering ontwatering wordt scheuren van grasland en akkerbouw mogelijk op oude graslandgronden. Proces heeft vooral afgelopen vijftig jaren grote rol gespeeld. Zal nu minder invloed hebben.

Tabel 7 Sociaal-economische en maatchappelijke sturende factoren voor N_2O-emissie bij het scheuren van grasland

	Milieuwetgeving
MINAS	Door minder Ninput is verlies van N bij herinzaai moeilijker te compenseren. Tevens is druk op herinzaai minder groot vanwege geringere schade aan grasland bij matiger bemesting. Streven naar hoog productief grasland blijft wel aanwezig. Verschuiving accent naar doorzaai als hiervoor een goede methode beschikbaar is.
	Scheuren voor rotatie met akkerbouw/voedergewas betekent groot N-verlies. Zal daarom in belang afnemen, tenzij andere factoren grote rol gaan spelen: gewasbescherming, overdracht fosfaat naar bouwland (zoals op de Marke), organische stofvoorziening bouwland. Koppeling aan contracten mestlevering kan ook leiden tot teelt voedergewassen op akkerbouwbedrijf en meer grasland op eigen bedrijf.
Nitraat-richtlijn	Bedrijven die grond aankopen/pachten om aan richtlijn te voldoen hebben ruimte voor andere teelten, dat kan scheuren stimuleren. Koppeling aan contract mestlevering zie hierboven.
	Als derogatie voor grasland doorgaat (er mag meer dierlijke mest op grasland dan op bouwland) zal aandeel grasland toenemen en teelt van voedergewassen elders (bij akkerbouw?) plaatsvinden.
Gewasbeschermingsmiddelen	Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen wordt steeds verder beperkt. Door een ruimere rotatie in akkerbouwgewassen te realiseren via rotaties met grasland kan de ziektedruk en het middelengebruik worden verminderd.
	Economische ontwikkelingen
Wereldmarkt/ EU-subsidies	Daling prijzen zal boeren prijsbewuster maken en kritischer op herinzaai (zowel gras-gras als gras-bouwland). Scheuren zal afnemen.
	Maatschappelijke ontwikkelingen
Weidegang	De wens om de koe in de wei te houden bestaat breed, bij LNV, LTO en maatschappelijke organisaties. Daarvoor is grasland nodig. Afwisselend gebruik van grasland kan een betere grasmat in stand houden dan alleen maaien. Anderzijds is er meer kans op vertrappingschade Effect op graslandverbetering is moeilijk in te schatten.
Biologische landbouw	Voor biologische landbouw is de organische (stik)stofvoorziening voor bouwland een probleem. Om deze reden wordt grasland in het bouwplan opgenomen. Toename van biologische landbouw zal leiden tot een toename van het scheuren van grasland voor gras-bouwland rotaties.
Multifunctionele landbouw	Inpassing van andere functies op landbouwbedrijven (natuur, waterbeheer, recreatie, enz.) zal op een deel van de bedrijven andere inkomensbronnen genereren. Daardoor wordt de afhankelijkheid van optimaal grasland minder sterk. De neiging tot het scheuren van grasland zal waarschijnlijk afnemen.
	Technologische ontwikkelingen
Machines/technieken	Als technieken voor graslandverbetering zonder scheuren (optimaliseren van doorzaai) of pleksgewijs scheuren/frezen worden verbeterd, zal scheuren van grasland afnemen.
Veredeling	Verdergaande veredeling maïsrassen biedt steeds meer mogelijkheden voor maïsteelt in Noord-Nederland (hoewel de opmars noordwaarts al bijna is voltooid). Scheuren grasland voor maïs zal toenemen. Rassenverbetering biedt mogelijkheden voor efficiënter stikstofgebruik

5 Mogelijke maatregelen om N_2O-emissie te beperken

Op basis van het voorgaande zijn een aantal mogelijke maatregelen ontwikkeld. Deze maatregelen zijn beschreven in Aanhangsel 3 en in tabel 8. Bij elke maatregel worden de volgende onderwerpen behandeld:

- achtergrond en beschrijving van de maatregel
- effectiviteit (mate waarin de emissie van lachgas kan worden teruggebracht
- kostenefficiëntie (kosten per eenheid voorkomen emissie van lachgas)
- controleerbaarheid (is de maatregel eenvoudig te beschrijven en uit te voeren)
- handhaafbaarheid (is er een éénduidige regel voor te bedenken)
- draagvlak bij boeren
- slaag- en faalfactoren van maatregelen
- afwentelingsmechanismen en kennishiaten.

Tabel 8 Maatregelen die de emissie van lachgas uit grasland bij en na herinzaai of omzetting in bouwland of grasland kunnen beperken.

	Niet scheuren na 1 augustus	Doorzaaien	Pleksgewijs herinzaaien	Graslandperiode kort in rotatie (<3 jr)	Geen vrucht wisseling	Nitrificatie Remmers
Effectiviteit (reductie van de emissie)	50%	50%	75%	25-50%	100%	50-100%
Kosteneff.	Kosten bijna gelijk	Kosten lager	Kosten lager	Kosten herinzaai per ha bouwland gelijk	Geen kosten scheuren en inzaaien	Aanschaf middelen duur?
Controle	Goed	n.v.t.	n.v.t.	Neutraal	Goed	Slecht
Handhaven	Regel eenvoudig en eenduidig	n.v.t.	n.v.t.	Regel eenvoudig en eenduidig	Regel eenvoudig en eenduidig	Lastig vanwege dosering, tijdstip e.d.
Afwenteling	CO_2, water, N-aankoop en teelt elders	Bestrijdings-middelen toegepast	Afh. Methode maar beperkt bestrijdings-middelengebruik	Geen	Bestrijdings-middelen, deels herinzaai grasland	N verlies in andere vorm
Draagvlak	Neutraal	Neutraal	Goed	Neutraal	Slecht	Slecht
Hiaten	Zomerinzaai mogelijk? Omvang N-verliezen en lachgasvorming	Zekerheid effect doorzaai (en zie links)	Zie hiernaast links	Emissies	Emissies	Onzekere effectiviteit
Slaagfactoren	Goede techniek	Goede techniek	Goede techniek; relatief minder opbrengst-derving			
Faalfactoren	Gemiste productie; minder N efficiënt	Onzeker /onvoorspel-baar resultaat	Kiezen voor gemak en zekerheid (loonwerker is er toch)		Bestrijdings-middelen beperkingen	Imago akkerbouw kan verslechteren

6 Kennishiaten en gewenst vervolgonderzoek

Kwantificering van emissies
Er zijn in de literatuur niet of nauwelijks aanwijzingen over emissiefactoren die van toepassing zijn bij verliezen aan bodem organische (stik)stof. Het is gewenst om daar metingen naar uit te voeren. De voorlopige balansberekeningen laten zien dat er aanzienlijke emissies van lachgas kunnen plaatsvinden als de verliezen worden toegerekend aan nitraatuitspoeling en daarbij de IPCC emissiefactor 2,5 voor indirecte verliezen wordt toegepast.

De relatieve omvang van bewerken van grasland (scheuren, herinzaai, verandering gebruik) in Nederland en de omvang van het areaal aan grasland met de toenemende behoefte om aan graslandverbetering te werken, noopt tot een integrale kwantitatieve evaluatie van voor- en nadelen daarvan. Kwantificering van N_2O-emissie bij scheuren van grasland in gras-gras en gras-bouwland rotaties is daarbij een duidelijk omissie in de meetgegevens. In dit kader kan het ook zinvol zijn om langlopende proeven en oude proefveldgegevens te zoeken en zo nodig opnieuw te analyseren op dynamiek van organische stof in de bodem.

Ontwikkeling van technieken voor graslandverbetering.
Uit het voorgaande bleek graslandverbetering in het voorjaar tot de kleinste verliezen te leiden. Door de praktijk wordt deze periode als ongewenst ervaren door het gemis van de waardevolle eerste snede gras en door de grotere risico's van gevoeligheid en schade door droogte. Het alternatief van graslandverbetering na de eerste snede, maar duidelijk voor de nazomer biedt misschien mogelijkheden om de voordelen van kleine verliezen en relatief beperkt opbrengstverlies te combineren.

Het doorzaaien van grasland is de afgelopen jaren als een techniek herkend met teveel risico's. Verfijning van de techniek kan de risico's van vooral een lage slagingskans beperken.

Goedkope inzaaitechnieken kunnen de verkorting van een graslandperiode in gras-bouwlandrotaties mogelijk aantrekkelijker maken. Een goed overzicht van bestaande technieken en ontwikkeling van nieuwe kan een zinvolle optie zijn.

7 Toekomstbeeld

Te verwachten autonome ontwikkelingen bij het scheuren van grasland:

- Door de dalende melkprijzen staan de inkomens in de landbouw onder druk. Veehouders zullen daarom kostenbewuster worden en voorzichtiger omgaan met graslandverbetering. Het is lastig om aan te geven in hoeverre de oppervlakte herinzaai hierdoor vermindert.
- De Nitraatrichtlijn dwingt boeren tot een extensivering van het grondgebruik. Een deel van de veehouders zal de oplossing zoeken in mestafzetcontracten, anderen zullen daadwerkelijk extensiveren. Bij een extensievere bedrijfsvoering zal graslandverbetering afnemen omdat de risico's van graslandschade afnemen en het saldo van een hectare grasland afneemt.
- Anderzijds is denkbaar dat boeren mestafzet voor het graasveehouderijbedrijf en toepassing van grasland in rotaties door akkerbouwers zullen opnemen in contracten al dan niet met gesloten beurzen. Integrale aanpak waarbij het kritische punt in de hele keten wordt geïdentificeerd en waarop vervolgens wordt gestuurd is gewenst.
- In de komende jaren zal de biologische landbouw nog sterk toenemen. Op biologische bedrijven is de rotatie van gras- en bouwland belangrijk voor de stikstofvoorziening voor de bouwlandperiode. Deze ontwikkeling zal dus leiden tot een toename van het scheuren van grasland voor rotaties met bouwland.
- De akkerbouw en de bollenteelt zullen door de beperking in het bestrijdingsmiddelengebruik geneigd zijn ruimere rotaties te hanteren. Veehouders zullen voor het stikstofverlies betaald (willen) worden. De verwachting is dat grasland in rotatie eerder nog zal toenemen dan afnemen.

Gestuurde ontwikkeling in de techniek van graslandverbetering en rotaties gras-bouwland.

Graslandverbetering

- Scheuren van grasland beperken door duidelijke criteria voor herinzaai van grasland
- Scheuren van grasland verbeteren door optimaliseren tijdstip van scheuren. Onderzoek gewenst naar zomerinzaai.
- Andere methoden van graslandverbetering opnieuw onderzoeken en optimaliseren (doorzaai en pleksgewijs verbeteren)

Gras-bouwland

Bij voorkeur geen toepassing van scheuren van blijvend grasland voor bouwland. Als het niet anders kan grasland met lage organische stofgehalten kiezen voor scheuren om afbraak organische stof zo laag mogelijk te houden.

Bij rotaties graslandperiode zo kort mogelijk (maximaal drie jaar). Eventueel graslandperioden van twee jaar toepassen.

Het totaaleffect van de ontwikkelingen in de toekomst is lastig te schatten. Een voorzichtige aanzet daartoe levert de volgende getallen op:

- Van areaalvermindering zal alleen bij graslandverbetering sprake zijn. De nu gehanteerde waarde van 60 000 hectare zal dan dalen naar 45 000 tot 50 000 hectare. Door de toepassing van pleksgewijze herinzaai zal per perceel slechts een kwart tot de helft worden gescheurd. Als deze pleksgewijze methode wordt toegepast op 15 000 hectare, kan de totale gescheurde oppervlakte dalen met ongeveer 10 000 hectare. Blijft over 40 000 hectare.
- Toepassing van doorzaai op grotere schaal dan nu kan de totale gescheurde oppervlakte nog eens met 10 000 hectare verminderen. Bij doorzaai treedt wel enige emissie op.
- Verschuiving van graslandverbetering van najaar naar voorjaar en zomer kan de verliezen van stikstof en emissies verminderen. Als dit op de helft van het areaal gebeurt, betekent het een afname van de emissie met ongeveer een kwart.
- Ondanks de verwachtingen is gerekend met een afname van de functie-verandering van grasland van blijvend naar tijdelijk. Hiervoor is waarschijnlijk actief ingrijpen noodzakelijk.
- Verkorten van de graslandperiode tot twee jaar in rotaties levert een daling van de emissies van ongeveer een derde.

In totaal zullen de emissies via gerichte maatregelen kunnen dalen met ongeveer 0,5 tot 0,6 Megaton per jaar (Tabel 9). De grootste bijdragen kunnen worden verwacht door een vermindering van de omzetting naar tijdelijk grasland. Als de functieverandering toch plaats vindt, gebeurt dit met relatief jong grasland met een lager organisch stof gehalte. Ook aanpassingen in de graslandverbetering zullen een aanzienlijke bijdrage kunnen leveren.

Tabel 9. Huidige situatie met betrekking tot de emissies (in CO_2-equivalenten uit N_2O en CO_2 per jaar) en een mogelijke, toekomstige situatie met een afname van emissies via een reeks maatregelen over een periode van 10 jaren in Nederland..

	Huidig			Toekomst			
	Oppervlakte	Kg CO_2 /ha	Mt CO_2	Oppervlakte	Kg CO_2 /ha	Mt CO_2	Afname
graslandverbetering	60000	5500	0,33	40000		**0,12**	0,21
voorjaar				*15000*	*1500*	*0,0225*	
najaar				*15000*	*5500*	*0,0825*	
doorzaai				*10000*	*1500*	*0,015*	
definitief scheuren	5000	138000	0,69	4000	100000	**0,4**	0,29
rotatie 3/3	20000	9300	0,19	20000	6600	**0,132**	0,05
bollen 6/1	20000	11800	0,24	20000	11000	**0,22**	0,02
totaal			1,44	84000		0,872	0,57

Literatuur

Aarts, H.F.M., B. Habekotté & H. van Keulen (1999). Efficiency of nitrogen (N) management in dairy farming system "de Marke". Nutrient cycling in Agro-ecosystems (in press).

Aarts, H.F.M. B, Habekotté & H. van Keulen. (1999) Groundwater recharge through optimised intensive dairy farms. Journal of Environmental Quality (in press).

Alem, G.A.A. van, en A.T.J. van Scheppingen (1993) The development of a farm budgeting program for dairy farms. In: E. Annevelink, R.K. Oving en H.W. Vos (eds) Proceedings XXV CIOSTA-CIGR V Congres - Farm Planning, Labour and landbour conditions, Computers in Agricultural Management. Wageningen, The Netherlands, pp 326-331.

Allison, F.E. (1973) Soil organic matter and its role in crop production. Developments in Soil Science, 3. Elsevier, Amsterdam, p133-134.

Anonymus (2000). 75e Rassenlijst voor landbouwgewassen 2000.Centrum voor Plantenveredelings- en reproductieonderzoek (CPRO), Wageneningen.300 pp.

Baan Hofman T. (1988) Effecten an stikstofgift en maaifrequentie op de droge-stofopbrengst van Engels raaigrasrassen die verschillen in persistentie. CABO-verslag 86, 31 pp.

Centraal Bureau voor de Statistiek (2000). CBS-landbouwdatabank 1980-2000. (Cd-rom)

Cuttle, S. & A.R. james (1995) Leaching of lime and fertilisers from a reseeded upland pasture on a stagnogley soil in mid-Wales. Agricultural Water Management 28, p 95-112.

Dijk, W. van, T. Baan Hofman, K. Nijssen, H. everts, A.P. Wouters, J.G. Lamers, J. Alblas & J. van Bezooijen (1996) Effecten van maïs-gras vruchtwisseling. PAV-verslag 217.

Dijk, W. van, 1997. Maïs na oud grasland vraagt weinig stikstof en fosfaat. Praktijkonderzoek 10-1:12-14.

Ernst, P. & C. Berendonk, 1990. Nitratverlagerung unter Grünland in Abhängingkeit von Düngung, Nutzungsart en Umbruch. Gebundelde verslagen van de Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw, 31:102-113.

EU (1999). Beschikking van de Commissie inzake de definities van de kenmerken, de lijst van landbouwproducten, de uitzonderingen op de definities en de regio's en

gebieden voor de enquêtes inzake de structuur van de landbouwbedrijven. Publicatieblad C, nr 3875 van 24 november 1999.

Hassink, J., 1995 Organic matter dynamics and N mieralization in grassland soils. Proefschrift Landbouw Universiteit Wageningen

Hassink, J. (1996) Voorspellen van het stikstofeverend vermogen van graslandgronden. In: J.W.G.M. Loonen en W.E.M. Bach-deWit (eds). Stikstof in beeld. Rapport Financieringsoverleg Mest en Ammoniakonderzoek nr. 20.

Hassink, J. en J.J. Neeteson (1991). Effect of grassland management on the amounts of soil organic N and C. Neth. J. of Agric. Sc. 39: 225-236.

Hoffmann, M., 1999. Asesment of leaching loss estimates and gross load of nitrogen from arable landin Sweden. Dissertatie Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. ISBN 91-576-5497-2.

Hoogerkamp, M. De ophoping van organische stof onder grasland en de invloed hiervan op de opbrengst van grasland en akkerbouwgewassen. Intern rapport Instituut voor Biologisch en Scheikundig onderzoek van Landbouwgewassen (IBS), Wageningen.

Hopkins A., J Gilbey, C. Dibb, P.J. Bowling & P.J. Murray, 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. Grass and Forage Science 45: 43-55.

Hopkins A., P.J. Murray, P.J. Bowling, A.J. Rook & J. Johnson, 1995. Productivity and nitrogen uptake of ageing and newly sown swards of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) at different sites and with different nitrogen fertilizer treatments. European Journal of Agronomy 4: 65-75.

Jenkinson, D.S. (1990) The turnover over organic carbon and nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc Lond. B p361-368.

Kortleven, J. (1963) Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Proefschrift Landbouwhogeschool Wageningen.

Koornneef, H. (1945) De bodemgesteldheid van Niervaart, Zwaluwen en omstreken. Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen no. 51 (11)A. Den Haag.

Linden, B. & B. Walgren (1993) Nitrogen mineralisation after leys ploughed in early or late autumn. Swedish Journal of Agricultural Research 23, p77-89.

Lloyd, A. (1992) Nitrate leaching following the break-uip f grassland for arable cropping. Aspects of Applied Biology 30, p243-247.

Loiseau, P., R Chaussod & R. Delpy (1994). Soil microbial biomass and *in situ* nitrogen mineralization after 20 years of different nitrogenn fertilization and frage cropping systems. European Journal of Agronomy 3, p327-332.

Luten, W., 1984. Grasproductie na herinzaai. Bedrijfsontwikkeling 15, pp 119-121.

Macduff, J.H., S.C.Jarvis, D.H. Roberts & R.Calvet (ed.) (1990). Nitrates: leaching from grazed grassland systems. Nitrates-Agriculture-Water. International Symposium, Paris-La Defense 7-8 November 1990. 405-410.

Nijssen, J.M.A., W. van Dijk, T. Baan Hofman & A.P. Wouters (1996) Economie van mais-gras wisselbouw. PR-Publicatie 113.

PR (1997). Handboek melkveehouderij. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden. Lelystad.

Putten, A.H.J. van der & Th.V.Vellinga, 1996, De invloed van graslandgebruik op de benutting van de toegediende stikstof. In: Loonen, J.W.M.G. & W.E.M. Bach-de Wit (eds.) Stikstof in beeld. Naar een nieuw bemestingsadvies op grasland. Rapport nr 20, Financierings Overleg Mest en Ammoniakonderzoek (FOMA).

Reinhorn, T. & Y. Avnimelech. (1974) Nitrogen release associated with the decrease in soil organic matter in newly cultivated soils. Journal of Environmental Quality 3, p118-121.

Riess, F., J.B. Rieder & A. Amberger (1995) Nitratauswaschung unter Acker und Günland –Ergebnisse der Saugkerzenanlage "Gülleprüffeld PUCH". In: 5 Gumpensteiner Lysimetertagung "Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone", BAL, Gumpenstein, p69-73.

RIVM, CBS (1999). Milieucompendium 1999.

Roberts, A.M., J.A. Hudson & G. Roberts (1989) A comparison of nutrient losses following grassland improvement using two different techniques in an upland area of mid-Wales. Soil Use and Management 5, p174-179.

Schils, R.L.M., T. Baars & P.J.M. Snijders (1997) Witte klaver in grasland. Teelt, gebruik en bedrijfsvoering. Themaboek PR.

Schils, R.L.M. (1994). Nitrate losses from grazed grass and grass/clover pastures on clay soil. Meststoffen, 1994:78-84

Scholefield, D., K. Tyson, E.A. Garwood, A.C. Armstrong, J. Hawkins & A.C. Stone (1993) Nitrate leaching from grazed grassland lysimeters: effects of fertilizer input, drainage, age of sward and patterns of weather. Journal of Soil Science, 44, p601-613.

Schröder, J, T. Baan Hofman, H.Everts, W van Dijk (1992) Vruchtwisseling en graslandvernieuwing: een logisch bedrijfssysteem?. In Gebundelde verslagen van de Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw, 32:83-95.

Schröder, J.J. (1998). Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. Thesis, Agricultural University Wageningen.

Strebel, O., J. Böttcher, M. Eberle & R. Aldag, 1988. Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung van Dauergrünland in Ackerland. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 151: 341-347.

Van Eerdt, M. (1999) Persoonlijke mededeling, CBS.

Van Wijk, AJP & Reheul, D. (1991) Achievements in fodder crops breeding in maritime Europe. Proceedings of the 16 th Meeting of the Fodder Crops Section of EUCARPIA "Fooder crops breeding: Achievements, novel strategies an biotechnology", Wageningen.

Vellinga, Th.V. & E.N. van Loo (1994) Perspectieven grassenveredeling voor bedrijfsinkomen en mineralenoverschotten. PR-rapport 151.

Vellinga, Th.V. en G. André (1999). Sixty years of Dutch fertiliser experiments, an overview of the effects of soil type, fertiliser input, management and of developments in time. Neth. J. Agr. Sc. (accepted paper)

Vergeer, W. (1999) Bemesting bij herinzaai van grasland. NMI-rapport.

Whitehead, D.C., A.W. Bristow & D.R. Lockyer (1990). Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to the potential for nitrate leaching after ploughing. Plant and Soil 123: 39-49.

Whitmore, A.P., N.J. Bradbury & P.A. Johnson (1992). Potential contribution of ploughed grassland to nitrate leaching. Agriculture, ecosystems and Environment ,39: 221-233.

Wouters, A.P. (2000). Invloed van leeftijd en N-voorgeschiedenis op de nalevering van N van gescheurde graszodes met als volggewassen maïs en gras. PR-rapport in voorbereiding.

Aanhangsel 1 De ontwikkeling van het areaal grasland dat jaarlijks wordt ingezaaid.

De oppervlakte grasland die jaarlijks in Nederland opnieuw wordt ingezaaid kan op twee manieren worden vastgesteld: ten eerste via gegevens uit de landbouwtellingen van het CBS en ten tweede door gebruik te maken van de rassenstatistieken uit de Rassenlijst.

Landbouwtellingen CBS

In de landbouwtelling wordt op bedrijven met rundvee om de drie jaar geïnventariseerd hoeveel grasland wordt ingezaaid. Daarbij maakt men onderscheid tussen:

- herinzaai van gescheurd grasland, zonder tussengewas,
- doorzaai van bestaand grasland (grasland wordt daarbij niet gescheurd)
- inzaai van grasland na een ander gewas.

Tabel 10 Oppervlakte grasland met herinzaai, doorzaai en inzaai na ander gewas op bedrijven met rundvee in 1990, 1993 en 1996 (tussen haakjes zijn percentages van de totale hoeveelheid vermeld).

Jaar van inzaai	Herinzaai	Doorzaai	Inzaai na ander gewas	Totaal	Percentage van totale oppervlakte grasland in Nederland
1990	61 000 (48)	14 000 (11)	52 000 (41)	127 000	12.6
1993	44 500 (51)	12 600 (14)	31 200 (35)	88 300	9.1
1996	59 200 (39)	50 000 (33)	44 000 (28)	153 200	16.0

De grote oppervlakte herinzaai en doorzaai in 1996 is veroorzaakt door de strenge voorgaande winter, waardoor veel grasland dusdanig verslechterd was, dat verbetering noodzakelijk was. De inschatting is dat de oppervlakte grasland die na scheuren opnieuw wordt ingezaaid varieert van ongeveer 45 000 tot 60 000 hectare per jaar, dat is ongeveer 5 tot 6% van het graslandareaal in Nederland. Afhankelijk van de weersomstandigheden in de winter kan de oppervlakte doorzaai sterk variëren. De oppervlakte herinzaai na een ander gewas is een maat voor het tijdelijk grasland in Nederland en varieert van 30 000 tot ongeveer 50 000 hectare.

Gegevens van de Rassenlijstcommissie

De Rassenlijstcommissie (Figuur 5) houdt bij hoeveel gecertificeerd zaad wordt geleverd in een jaar. In de jaren dat CBS de inzaai van grasland registreert, kan op basis van de gecertificeerde hoeveelheid zaad worden berekend hoeveel zaad per hectare wordt gebruikt. Deze hoeveelheid schommelt rond de 70 kg graszaad per ha. Dat is hoger dan de geadviseerde hoeveelheid. Vanuit de praktijk is echter bekend dat veel loonwerkers en boeren de voorkeur geven aan hoge zaadhoeveelheden vanwege een grotere zekerheid op een goede opkomst.

Uit Figuur 5 blijkt dat de oppervlakte herinzaai de laatste jaren rond de 100 000 hectare schommelt. Alleen in jaren na een (relatief) strenge winter is de oppervlakte met inzaai groter. Het is aannemelijk dat dit wordt veroorzaakt door een grotere

oppervlakte met doorzaaien. Uitgaande van 50 tot 60% herinzaai wordt jaarlijks 50 000 tot 60 000 hectare grasland gescheurd en direct weer ingezaaid. Van de overige 40 000 tot 50 000 hectare wordt ruim tweederde ingezaaid na een ander gewas.

Aanhangsel 2 Kwantificering van vrijkomende stikstof bij scheuren van grasland

De totale hoeveelheid stikstof onder grasland bedraagt duizenden kilogrammen. Hassink (1996) geeft voor zandgronden een traject aan van 0,1 tot 0,5% organische stikstof in de laag van 0 - 20 cm. Bij een dichtheid van de grond van 1,4 betekent dat een hoeveelheid van 2800 tot 14000 kilogram N per hectare. Voor kleigronden is het traject 0,15 tot 0,5%, hetgeen neerkomt op hoeveelheden van 4200 tot 14000 kg N per ha.

Ook onder bouwland is al een zekere hoeveelheid organische stikstof aanwezig, deze wordt door verschillende onderzoekers op 5000 tot 6000 kg N per ha geschat (Strebel et al., 1988; Whitmore et al., 1992; Kortleven, 1963). Op basis van de gegevens van Hassink (1996) zou de ondergrens voor zand- en kleigrond op resp. ongeveer 3000 en 4000 kg N per ha liggen.

Metingen van de vrijkomende stikstof onder grasland en bouwland zijn vaak lastig te interpreteren. De mineralisatie onder grasland is vaak veel hoger dan de hoeveelheid stikstof die op onbemeste percelen in het geoogste gewas wordt gevonden (Corré, 2000). Een groot deel van de stikstof die in minerale vorm op grasland komt (via dierlijke mest en kunstmest) komt via organische tussenvormen uiteindelijk in de plant terecht. Slechts een beperkt deel van de gegeven stikstof komt direct in de plant terecht (Rao et al., 1992). In die zin stimuleert bemesting de mineralisatie.

Daarom is in de literatuur niet gekeken naar specifieke mineralisatieproeven. Gezocht is naar proeven die op basis van een verschilbepaling in organische stof of op basis van uitspoelingsverliezen of balansberekeningen de afname in stikstof beschrijven.

Er zijn een aantal proeven gevonden waar is gekeken naar de hoeveelheid vrijkomende stikstof bij het scheuren van oud grasland (Tabel 11). In een aantal gevallen is het grasland braak gelaten, in een aantal andere gevallen is er een akkerbouwgewas op geteeld.

Tabel 11.De vrijkomende stikstof na het scheuren van grasland.

					Jaar	**1**	
Bron	Land	Vooraf	Afbraak totaal	Teelt	%	kg	Opmerkingen
Whitmore et al. (1992)	UK	oud grasland	3950	Braak	12	474	Afbraak os
Reinhorn & Avnimelech (1974)	Israël	"virgin soil"	6000	Akb	50	3000	Afbraak os
Allison (1973)	USA	"virgin soil"	4000	Akb	1	40	Afbraak os
Allison (1973)	USA	"virgin soil"	3000	Akb	2	60	Afbraak os
Strebel et al. (1988)	N-Dtsl.	oud grasland	5000	Akb	33	1650	Afbraak os
0et al. (1992)	UK	15 jaar gras	-	Akb	60	364	Afbraak plant en macro-os
Whitehead et al. (1990)	UK	8 jaar gras	-	Akb	60	306	Afbraak plant en macro-os
Koornneef (1945)	NL	grasland	-	Akb	5-8	200-300	Afbraak os
Van Dijk et al. (1997)	NL	2 en 4 jaar gras	-	Maïs		90-100	Afbraak os tov cont. maïs
Ernst en Berendonk (1991)	Dtsl.	Gras	-	Braak		160-320	Uitspoeling 2 jaar tov cont. gras
Ernst en Berendonk (1991)	Dtsl.	Gras	-	gras		5 - 60	Uitspoeling 2 jaar tov cont. gras
Loiseau et al.	Fr.	20 jaar gras	900	Braak		390	Uitspoeling 1 jaar
			435	Braak		200	Uitspoeling 1 jaar tov akkerbouw
van Dijk (1997)	NL	25 jaar gras	-	Maïs		75	Uitspoeling 1 jaar
Wouters		Gras	-	gras		40-120	Nmin-balans

De afbraaksnelheden zijn berekend aan de hand van data van de auteurs of aan de hand van gegevens uit de figuren. De formule die is gebruikt voor afbraak is
$N_{tot} = N_{basis} + N_{org}(gras)*(1-a)^t$.
N_{basis} is de hoeveelheid totale stikstof die nog wordt aangetroffen onder oud bouwland.
$N_{org}(gras)$ is de hoeveelheid Norganisch die naast de Nbasis nog aanwezig is onder oud grasland.
Bij scheuren van oud grasland wordt de $N_{org}(gras)$ afgebroken met een constante relatieve afbraaksnelheid, nl. a%. De resterende stikstof wordt dan beschreven met $(1-a)^t$.
De tijd t is gegeven in jaren.

De gegevens zijn nogal variabel in methode van vaststelling (afbraak organische stof, uitspoeling nitraat, stikstofbalans), maar ook in de hoeveelheid stikstof die vrijkomt.
De hoeveelheid vrijkomende stikstof kan oplopen tot meer dan 1000 kg N per ha, volgens de gegevens van Strebel et al. Reinhorn en Avnimelech berekenen zeer hoge waarden voor een mediterraan klimaat, met zelfs in de laag van 60-90 cm nog mineralisatie. De relatief lage waarden bij de uitspoeling en de N_{min}-balans zijn vrijwel zeker onderschattingen. Niet alle vrijkomende stikstof verdwijnt uit het bodem-plant systeem via uitspoeling. Ook denitrificatie speelt daarbij een grote rol, zeker op nattere gronden. De afbraak via de N_{min}-balans is erg afhankelijk van de frequentie van de N_{min}-metingen, ze zegt alleen iets over de hoeveelheid gemineraliseerde N op een bepaald moment.

Strebel et al. (1988), Reinhorn & Avnimelech (1974)en 0et al. (1992) komen op zeer hoge afbraaksnelheden, variërend van 33 tot 60%. Whitmore et al. (1992) komen op

12%, terwijl Koornneef (1945) op ongeveer 5 tot 8% uitkomt. De lage waarden van Allison zijn afkomstig van oude prairies in de VS. De afbraaksnelheden daarbij komen overeen met hetgeen Whitehead et al. (1990) berekent voor blijvend grasland (3% afbraak). Afbraak van organische stof bij braakliggen of akkerbouw maakt weinig verschil.

Op basis van Tabel 11 kan worden geconcludeerd dat in het eerste jaar na scheuren in het gunstigste geval ongeveer 100 kg N vrijkomt, maar in het ongunstigste geval meer dan 1000 kg N. Dat het om grote hoeveelheden gaat die duidelijk invloed hebben op de nitraatconcentraties in grond- en oppervlaktewater is duidelijk aangetoond (Whitmore et al., 1992; Hoffman, 1999).

Op basis van de gegevens is het echter niet mogelijk aan te geven welke invloed er is van grondsoort en eventueel andere omstandigheden. Daarom is een tweede benadering gekozen om een indruk te krijgen van de hoeveelheid vrijkomende stikstof. Bij deze benadering wordt gebruik gemaakt van modellen en gegevens over afbraak van organische stof.

Modelbenadering Schröder (1992)
Schröder et al. (1992) hebben een eenvoudig model geconstrueerd, waarmee de opbouw en afbraak van stikstof onder gras- en bouwland gesimuleerd kunnen worden. De vastgelegde extra hoeveelheid stikstof onder grasland is afhankelijk van de stikstofaanvoer naar het grasland, van de duur van het grasland en van de afbraaksnelheid.

De totale hoeveelheid stikstof die vrijkomt is enerzijds afhankelijk van de extra hoeveelheid stikstof die al onder grasland is vastgelegd en anderzijds van de afbraaksnelheid.

$$N_{t(jaar\ x)} = (N_{t(jaar\ x-1)} + N_{toevoer}) * (1-a)$$

$$N_{mineralisatie} = (N_{t(jaar\ x\ -\ 1)} + N_{toevoer}) * a$$

Uitgangspunten:

- Er is een basishoeveelheid organische N aanwezig in de bodem. Bij zandgrond is dat 3000 kg per hectare, bij kleigrond is dat 4000 kg N per hectare.
- Afbraaksnelheid organische stof bij zandgrasland: NLV = 8,2 + 672 x Nt(0-20), een Nt-toename van 0,1% betekent een stijging van de hoeveelheid Nt van 2800 kg en van NLV met 67,2 kg, de bijbehorende afbraaksnelheid is dan 2,4%. Onder bouwland is een afbraak van 10% verondersteld.
- Afbraaksnelheid organische stof bij klei: NLV = 31,7 + 347,7 x Nt(0-20), een Nt-toename van 0,1% betekent een stijging van de hoeveelheid Nt van 2800 kg en van NLV met 34.8 kg, de bijbehorende afbraaksnelheid is dan 1,33%. Onder bouwland is een afbraak van 5% verondersteld.
- De aanvoer van landbouwkundig niet werkzame stikstof (althans, waar niet mee gerekend wordt) naar grasland bedraagt ongeveer 160 tot 210 kg N per ha per jaar. Daarvan is 50 kg terugkeer via weideresten en veldverliezen bij

voederwinning. De terugkeer via weide- en stalmest bedraagt 110 tot 160 kg N bij een totale stikstofexcretie door vee van 170 resp. 250 kg N. In de berekeningen wordt een totale N-aanvoer van 200 kg per ha per jaar verondersteld.

De stikstofvastlegging onder grasland is door verschillende auteurs onderzocht:

- van Dijk et al. (1994) tweedejaars grasland op zandgrond: hoeveelheid N in stoppel en wortel is 140 tot 160 kg per ha. In meerjarig grasland is dat 165-200 kg N per ha.
- Vergeer (1999) schat voor grasland op zandgrond een vastlegging van 65 - 70 kg N per ha per jaar en voor kleigrond 190 kg N. Hij maakt duidelijk onderscheid in weiden en maaien. Volgens Vergeer (1999) kan de opbouw van organische stof onder grasland een aantal jaren nagenoeg lineair toenemen.
- Hassink en Neeteson (1991) meten een Nvastlegging onder relatief jong kleigrasland en vastlegging van 250 kg N per ha per jaar. Die hoeveelheid is niet afhankelijk van de Ninput.
- 0et al. (1992) zien in 1 jaar al een vastlegging van 145 tot 175 kg N onder gemaaid grasland. Na het eerste jaar zien zij al een afvlakking van de organische stofopbouw.

Resultaten van de berekeningen

Tabel 12.De berekende accumulatie van organische stof en stikstoflevering onder grasland op zand- en kleigrond en de berekende afname in organische stikstof die optreedt bij het scheuren van grasland van 100 jaren oud.

Tijd (jaren)	Zandgrasland		Kleigrasland	
	Ntotaal	NLV	Ntotaal	NLV
10	4074	104	5372	71
20	4907	126	6575	85
30	5554	142	7631	101
100	7418	190	12162	160
Scheuren na 100 jaar				
1		517		460
2		465		437
3		419		415

Een toenemende ouderdom van het grasland leidt tot een toenemende stikstoflevering aan het gewas (Tabel 12). Dat wordt bevestigd door resultaten van zandgrasland van Hassink (1995). Op basis van de gekozen uitgangspunten is de hoeveelheid Ntotaal onder zandgrasland iets groter dan Whitmore et al. berekenen, maar komt het goed overeen met de waarden van Strebel et al. De waarden van de hoeveelheid Ntotaal voor kleigrasland zijn te hoog. Waarschijnlijk zal de afbraaksnelheid toch nog hoger liggen dan in de berekeningen is verondersteld. Een hogere afbraaksnelheid leidt tot een lager evenwichtsgehalte van Ntotaal onder grasland.

Bij de uitgangspunten is de vrijkomende hoeveelheid stikstof ongeveer 500 kg N per hectare in het eerste jaar na scheuren. Over een periode van drie jaar komt ongeveer 1400 kg N per hectare vrij. Er is weinig verschil tussen zand- en kleigronden.
In vruchtwisselingen is sprake van slechts een beperkte graslandperiode. De invloed van een graslandperiode van 3 tot 15 jaar wordt beschreven in Tabel 13.

Tabel 13 De extra hoeveelheid vrijkomende stikstof in de drie jaren na het scheuren van grasland van verschillende leeftijden. Waarden zijn een evenwichtssituatie van teelten van 3-15 jaar grasland, afgewisseld met steeds 3 jaren bouwland.

Leeftijd grasland voor scheuren	Nlevering		
	Jaar 1	Jaar 2	Jaar 3
3	125	112	101
6	203	183	164
9	259	233	209
12	297	267	241
15	319	287	259

De vrijkomende hoeveelheid stikstof neemt toe met het ouder worden van het grasland. Dat wordt bevestigd door Hassink (1996), Wouters (2000) en Whitehead et al. (1990). Bij frequent scheuren blijft de berekende extra hoeveelheid vrijkomende N beperkt tot ruim 100 kg N per ha per jaar. Bij minder frequent scheuren kan dit oplopen tot 250 à 300 kg N per ha per jaar. De waarden in Tabel 13 zijn berekend bij de evenwichtssituatie die na ongeveer 50 à 60 jaar is ontstaan. De waarden van Hassink (1996) horen bij een voorgeschiedenis van continuteelt van snijmaïs gedurende een lange periode. Zij komen goed overeen met de berekende waarden in het model in de beginsituatie.

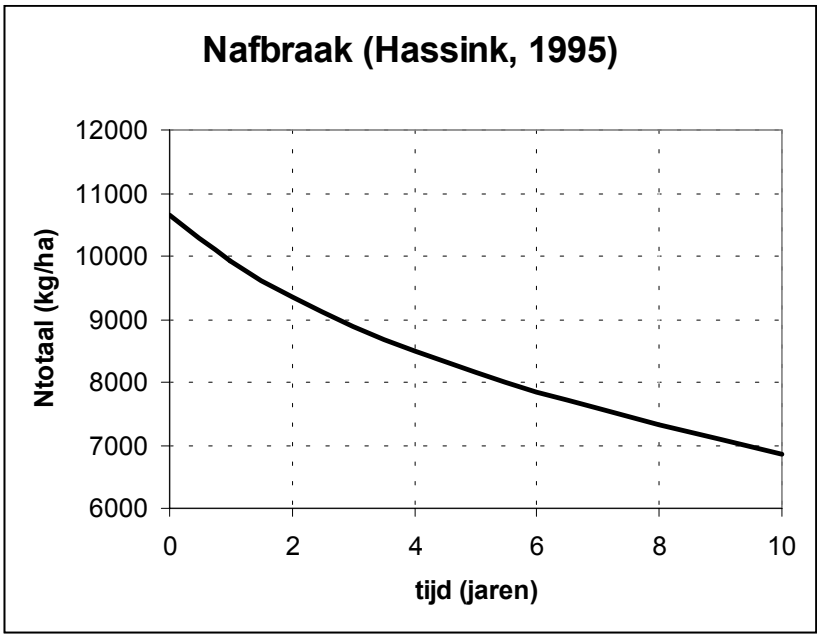
Modelbenadering Hassink (1995)

Hassink (1995) verdeelt de organische stof in verschillende fracties: lichte, middelzware en zware macro-organische stof en organische stoffracties tussen 20 en 150 μm en kleiner dan 20 μm. Voor deze fracties zijn afbraaksnelheden vastgesteld. De verdeling van de totale hoeveelheid C en N over deze fracties is redelijk bekend.

Op basis van de afbraaksnelheden en de verdelingen van C en N over de fracties is berekend hoeveel N vrij kan komen uit de organische stof bij braak (figuur 12). In het eerste jaar braak komt er ruim 700 kg N per ha vrij, na 4 jaren braak is er meer dan 2000 kg N vrijgekomen.

De benadering volgens de methoden van Schröder(1991) en Hassink (1995) tonen wel kleine verschillen, maar komen in grote lijnen goed met elkaar overeen. De verzamelde gegevens uit Tabel 10 (Whitmore et al. (1992), Whitehead et al. (1990), Strebel et al. (1988) en Koornneef (1945)) komen hiermee goed overeen.

De hoeveelheden vrijkomende stikstof in de eerste helft van Tabel 10 zijn berekend uit de afbraak van organische stof. De gegevens over nitraatuitspoeling van Loiseau et al. (1994) en Ernst & Berendonk (1991) voor wat betreft braak zijn daarmee goed in overeenstemming.



Figuur 12 De hoeveelheid organische stof bij braaklegging van oud grasland. Gegevens en model ontleend aan Hassink (1995).

Gras-gras opvolgingen

De verschillen in grasproductie tussen oud en nieuw grasland zijn ook een maat voor de stikstofverliezen. Deze benadering heeft ook zijn nadelen, omdat naast herinzaai ook vaak bodemverbetering plaatsvindt en een duidelijke verandering van de botanische samenstelling.

De opbrengst van nieuw ingezaaid grasland ten opzichte van blijvend grasland is onderwerp van onderzoek geweest (Luten, 1983; Hopkins et al., 1991 en 1995; Hoogerkamp, 1974; van Dijk et al., 1994). De grasopbrengst en de stikstofopname worden slechts zeer beperkt beïnvloed door herinzaai van grasland, zowel hogere opbrengsten als lager opbrengsten komen voor. Uiteraard is er wel variatie aanwezig die afhankelijk is van de methode van herinzaai en de verandering in het organische stofgehalte (Krist, 1965).

Het gebruik van hoogproductieve rassen bij de herinzaai biedt de mogelijkheid om hogere opbrengsten te realiseren (Baan Hofman, 1988; Vellinga & van Loo, 1994). De productiviteitsstijging van grasrassen door veredeling bedraagt 0,5% per jaar (van Wijk & Reheul, 1992)

Aanhangsel 3 Mogelijke maatregelen om N_2O emissie te beperken

Achtereenvolgens worden 4 maatregelen behandeld die tot doel hebben de emissie van N_2O te beperken:

1. Geen grasland scheuren in de nazomer na 1 augustus
2. Doorzaaien van grasland in plaats van herinzaaien
3. Pleksgewijs inzaaien of doorzaaien
4. Aanpassing van de gras-bouwland rotatie

1 Geen grasland scheuren in de nazomer (niet scheuren na 1/8)

- Effectiviteit: aangezien graslandverbetering leidt tot beperkte verliezen aan stikstof (mits juist uitgevoerd) is de effectiviteit van andere methoden en tijdstippen vrij beperkt. Herinzaai in late herfst wil nog wel eens mislukken, met beperkte mineralisatie in de winter kan de schade nog beperkt blijven (Ernst, 1991; Linden en Walgren, 1993), maar garanties hiervoor heb je niet.
- Kostenefficiëntie: door verschuiving van tijdstip herinzaai zullen kosten iets veranderen: herinzaai in herfst leidde tot opbrengstverlies van relatief weinig gras met een matige waardering. Herinzaai in voorzomer leidt tot verlies van gewaardeerd gras in een periode met snelle groei. Herinzaai in zomer kan tot minder opbrengstderving leiden, maar risico van droogte is groter. Beregening is dan noodzakelijk, dat leidt tot extra kosten..
- Controleerbaarheid: controle op datum is eenvoudig uitvoerbaar. Eventueel via luchtfoto's.
- Handhaafbaarheid: door weersomstandigheden kunnen werkzaamheden uitlopen. Grasland kan dan nog zwart liggen na een bepaalde datum. Daarvoor zijn dan zeer geldige excuses aan te voeren. Wel inzaaien kan tot structuurschade leiden met alle gevolgen vandien. Wat te doen?
- Afwenteling: Ander tijdstip van herinzaai kan leiden tot grotere opbrengstverliezen door missen van goede groeiperiode van het gras. Aankoop van vervangend ruwvoer is nodig. Bij herinzaai in zomer is extra energie en water nodig.
- Draagvlak: boeren zullen in beperkte mate bereid zijn om herinzaai in voorjaar uit te voeren. Herinzaai na een eerste of tweede snede (zomerherinzaai) is een betere optie, in combinatie met goede beregeningsmogelijkheden voor aanslaan nieuw ingezaaid gras.
- Kennishiaten: Gevolgen van graslandherinzaai in zomer voor slagingskans, productie en stikstofverlies zijn niet bekend.

2 Doorzaaien van grasland

- Effectiviteit: verlies van stikstof door scheuren wordt voorkomen.

- Kostenefficiëntie: Doorzaaien is veel goedkoper dan herinzaai. Beperking emissie levert in dit geval geld op.
- Controleerbaarheid: doorzaaien van grasland is van afstand lastig waar te nemen. Als er geen verlies optreedt is controle niet noodzakelijk.
- Handhaafbaarheid: als goede en zekere methode van doorzaai wordt ontwikkeld is handhaving automatisch geregeld. Voor veehouders is die methode veel aantrekkelijker.
- Afwenteling: Bij zowel herinzaai als doorzaai is gebruik van bestrijdingsmiddelen noodzakelijk (tot nu toe). Vooral kweekbestrijding met glyfosaat. Bestrijding dicotylen? Dus geen extra gebruik bestrijdingsmiddelen of compenserende bemesting noodzakelijk. Ook is energieverbruik lager dan bij herinzaai.
- Draagvlak: Bij goede en zekere methode is draagvlak bij boeren groot.
- Kennishiaten: doorzaaien is tot nu toe te onzeker. Gedetailleerde vergelijking herinzaai/doorzaai en ontwikkeling van een zekere methode van doorzaaien is nodig.

3 Pleksgewijs scheuren of doorzaaien

- Effectiviteit: Oppervlakte grasland waar wordt gescheurd is veel kleiner. Stikstofverlies zal dus dalen. Onbekend in hoeverre dit bijdraagt in vergelijking tot verwachting van algemene daling van herinzaai.
- Kostenefficiëntie: kosten dalen. Emissiebeperking levert geld op.
- Controleerbaarheid: wie bepaalt welk stuk wel of niet gescheurd moet worden? Controleerbaarheid is slecht.
- Handhaafbaarheid: objectieve regels zijn zeer lastig op te stellen.
- Afwenteling: geen afwenteling.
- Draagvlak: Veehouders kiezen nu nog vaak voor perceelsdekkende bewerking omdat er financieel nog ruimte is en omdat het wel zo handig is om perceel uniform en overal goed te hebben. Zuiniger benadering met het beeld van lapwerk zal enige omschakeling vereisen. Bij stijgend kostenbewustzijn zal draagvlak toenemen.
- Kennishiaten: criteria voor verbetering grasland zijn nog steeds onduidelijk. Nu alleen op basis van botanische samenstelling. Sterk vermoeden dat deze basis te beperkt is.

4 Aanpassingen in gras-akkerbouw rotaties

4.1 Graslandperiode kort, bouwlandperiode lang

- Effectiviteit: stikstofverliezen kunnen beperkt worden gehouden. De oppervlakte grasland die wordt gescheurd is afhankelijk van de oppervlakte voedergewassen en bouwlandgewassen die in aanmerking komt. Gewassen kunnen dan beter na jonger grasland geteeld worden. Naast de hoeveelheid stikstof die vrijkomt speelt tijdstip van vrijkomen van stikstof een rol. Is niet of beperkt controleer-baar/regelbaar bij scheuren.

- Kostenefficiëntie: oppervlakte herinzaai wordt bepaald door oppervlakte bouwlandgewassen (incl. voedergewassen) en door aantal jaren bouwland na grasland. Dus zolang mogelijk bouwland na een graslandperiode. Zijn er methoden om organische stofafbraak te remmen?
- Controleerbaarheid: vergt een uitgebreide boekhouding. Is daarmee arbeids-intensief in de controle.
- Handhaafbaarheid: regels zijn duidelijk op te stellen.
- Afwenteling: door beperking graslandperiode en verlenging bouwlandperiode wordt stikstofverlies beperkt. Geen afwenteling naar andere zaken.
- Draagvlak: niet bekend. Bij akkerbouwers is lange bouwlandperiode in kader van bouwplanverruiming niet gunstig. Zij zullen maximaal drie jaar bouwland willen, daarna weer gras.
- Kennishiaten:

4.2 Geen vruchtwisseling toestaan

- Effectiviteit: groot. Scheuren van grasland voor bouwland is groot stikstoflek.
- Kostenefficiëntie: kosten van ploegen, herinzaaien e.d worden sterk beperkt.
- Controleerbaarheid: goed. Gras blijft gras, bouwland blijft bouwland.
- Handhaafbaarheid: duidelijke regels zijn te stellen. Flexibiliteit in landgebruik is wel sterk beperkt. Bedrijfsontwikkeling ligt min of meer vast.
- Afwenteling: minder bouwplanverruiming mogelijk, mogelijk meer ziektedruk en bestrijdingsmiddelengebruik in akkerbouw. (Hoewel teelt voedergewassen op akkerbouwbedrijven ruimte kan bieden). Graslandverbetering blijft wel noodzakelijk, scheuren van grasland (voor gras-gras) zal dus altijd aanwezig blijven. Bollenteelt sector zal in grote problemen komen. Met name daar is ruime vruchtwisseling vereist en biedt ouder grasland grote voordelen.
- Draagvlak: slecht. In gebieden met akkerbouw en veehouderij komt uitwisselen van gras- en bouwland veel voor.
- Kennishiaten: mogelijkheden voor bouwplanverruiming op akkerbouw en bollenbedrijven zonder gebruikmaking van grasland.

4.3 Gebruik nitrificatieremmers

- Effectiviteit: beperkt. Zij zullen afbraak van organische stof niet remmen. Wel de stap naar nitraat, waardoor N_2O-emissie beperkt kan worden.
- Kostenefficiëntie: onbekend.
- Controleerbaarheid: toediening van nitrificatieremmers is lastig controleerbaar.
- Handhaafbaarheid: ?
- Afwenteling: groot, afgebroken N zal op andere manieren de bodem verlaten.
- Draagvlak: beperkt, weer een middeltje gebruiken om een grote stikstofstroom in te dammen. Zeker voor imago van akkerbouw is het slecht.
- Kennishiaten: ?