



Nitraatuitspoeling uit gemaaid grasland op uitspoelingsgevoelige zandgrond

Effecten van strooien van zeoliet en vervanging van kunstmest KAS door rundveedrijfmest

Herman de Boer, Mark van Mullekom, Jelmer van Doorn, Fons Smolders

Openbaar
Rapport 1394



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Nitraatuitspoeling uit gemaaid grasland op uitspoelingsgevoelige zandgrond

Effecten van strooien van zeoliet en vervanging van kunstmest KAS door rundveedrijfmest

Herman de Boer¹
Mark van Mullekom²
Jelmer van Doorn²
Fons Smolders²

1 Wageningen Livestock Research
2 Onderzoekcentrum B-WARE (Nijmegen)

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en Onderzoekcentrum B-WARE, en gefinancierd door Stichting Mesdag Zuivelfonds, Projecten LTO Noord, PPS Ruwvoer, Bodem, en Kringlooplandbouw, Provincie Limburg, en NV Waterleiding Maatschappij Limburg

Wageningen Livestock Research
Wageningen, november 2022

Openbaar
Rapport 1394

De Boer, H.C., M. van Mullekom, J. van Doorn, A.J.P. Smolders, 2022. *Nitraatuitspoeling uit gemaaid grasland op uitspoelingsgevoelige zandgrond - Effecten van strooien van zeoliet en vervanging van kunstmest KAS door rundveedrijfmest*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1394.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/579074> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2022
De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

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

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1394

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Materiaal & methoden	9
	2.1 Proefopzet	9
	2.2 Proefvelden	9
	2.3 Proefuitvoer	10
	2.4 Waarnemingen	11
	2.4.1 Neerslag en verdamping	11
	2.4.2 Bodem	11
	2.4.3 Mest	11
	2.4.4 Gewas	12
	2.4.5 Grondwater- en poriewater	12
	2.5 Berekeningen en statistische analyse	13
3	Resultaten	16
	3.1 Neerslag en verdamping	16
	3.2 Mest uitrijden en mestsamenvestelling	18
	3.3 Grasopbrengst	20
	3.4 Stikstofopname door het gras	22
	3.5 Stikstofbenutting en -gebruiksefficiëntie van het gras	24
	3.6 Fosforopname door het gras	27
	3.7 Kaliumopname door het gras	29
	3.8 Effect van stikstofopname op fosfor- en kaliumopname van het gras	30
	3.9 Botanische samenstelling	31
	3.10 Grond- en poriewater	32
	3.10.1 Grondwaterstand	32
	3.10.2 Nitraat in poriewater	33
	3.10.3 Fosfor in poriewater	37
	3.10.1 Kalium in poriewater	39
4	Discussie	41
	4.1 Nitraatuitspoeling	41
	4.2 Fosfor- en kaliumuitspoeling	43
	4.3 Grasopbrengst en stikstofopname	44
	Conclusies	46
	Betekenis voor de praktijk	48
	Dankwoord	50
	Referenties	51
	Bijlagen	52

Samenvatting

Beperking van de nitraatuitspoeling uit landbouwgrond is belangrijk, om de stikstof(N)efficiëntie van de landbouw te verhogen alsook om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater te verbeteren. Bij een veelvoorkomende teelt, blijvend grasland, wordt op klei- en veengronden de EU-nitraatrichtlijn van 50 mg l⁻¹ nitraat in het grondwater ruim gehaald, maar wordt deze op lössgronden en droogtegevoelige zandgronden in droge jaren overschreden. Het verlagen van de nitraatuitspoeling uit grasland heeft daarom prioriteit op deze grondsoorten.

Een mogelijk geschikte maatregel om de uitspoeling te verlagen is het strooien van zeoliet. Zeoliet, een tectosilicaat, beschikt over een groot adsorberend vermogen voor (bemest) ammonium, waardoor de omzetting naar nitraat trager kan verlopen en er minder nitraat kan uitspoelen. Tot dusver is weinig onderzoek gedaan naar toepassing van zeoliet op grasland. Een pilotexperiment gaf de indruk dat het strooien van zeoliet de nitraatuitspoeling van grasland aanzienlijk kan verlagen, maar wetenschappelijke validatie ontbrak. Naast toediening van zeoliet is een verhoging van het aandeel rundveedrijfmest (RDM) in de bemesting, ten koste van (nitraathoudende) kunstmest, mogelijk ook een geschikte maatregel om nitraatuitspoeling te verlagen. Voor deze maatregel was verdere wetenschappelijke validatie eveneens gewenst. Daarom is er vanaf het voorjaar van 2020 een tweejarig veldonderzoek uitgevoerd, met toetsing van de hypothesen dat op grasland 1) het strooien van zeoliet en 2) vervanging van nitraathoudende kunstmest KAS door RDM de nitraatuitspoeling naar het grondwater kan verlagen.

Het onderzoek werd uitgevoerd op gemaaid grasland op een droogtegevoelige zandgrond in Vredepeel (Noord-Brabant) en in Beltrum (Gelderland) voor een periode van respectievelijk één en twee jaar. Behandelingen waren 1) geen bemesting (controle); 2) N-bemesting met alleen kunstmest KAS; 3) N-bemesting met alleen KAS en strooien van zeoliet; 4) N-bemesting met RDM, aangevuld met KAS; en 5) N-bemesting met RDM, aangevuld met KAS, en strooien van zeoliet. Het niveau van de jaarlijkse N-bemesting was 320 kg plantopneembare N ha⁻¹, waarvan bij de behandelingen met RDM 60% (58-62%) afkomstig was uit RDM en 40% (38-42%) uit KAS. De totale jaarlijkse N-gift met RDM was 343 kg N ha⁻¹, twee keer zo hoog als de EU-norm. Deze gift werd aangevuld met gemiddeld 126 kg N ha⁻¹ uit KAS, voor een totale jaarlijkse N-gift van 469 kg N ha⁻¹. Bij bemesting met RDM en KAS was de P- en K-bemesting volledig afkomstig uit de RDM, en bij bemesting met alleen KAS werd alle P- en K-bemesting ook gegeven met kunstmest, respectievelijk met tripelsuperfosfaat en kalichloride. Bij de behandelingen met zeoliet werd jaarlijks 400 kg ha⁻¹ zeoliet gestrooid, voorafgaande aan de eerste bemesting. In de proefperiode werd regelmatig de nitraat-, fosfor(P)- en kalium(K)concentratie in uitspoelend poriewater gemeten, en werd daarnaast ook de grasopbrengst en de N-, P-, en K-opname van het gras bepaald. De P- en K-concentratie in poriewater, en de P- en K-opname van het gras, werden gemeten om te bepalen welke neveneffecten het gekozen niveau van RDM-gift op deze eigenschappen zou hebben. Om die reden werd in de proefperiode ook de ontwikkeling van de botanische samenstelling van de graszode bij alle behandelingen gevolgd.

Uit de resultaten blijkt dat er op proefveld Vredepeel sprake was van atypische omstandigheden in de bodem, met een dominant effect op het niveau van nitraatconcentratie en op verschillen tussen behandelingen. De resultaten van dit proefveld zijn daarom beperkter gerapporteerd en de conclusies van het voorliggende onderzoek zijn alleen gebaseerd op de resultaten van proefveld Beltrum. Op proefveld Beltrum was in het eerste uitspoelseizoen (2020/2021) de gemiddelde nitraatconcentratie, op 1,0 m diepte onder maaiveld, significant hoger bij het strooien van zeoliet (75 mg l⁻¹) vergeleken met niet strooien (57 mg l⁻¹) (P = 0,01). In het tweede uitspoelseizoen (2021/2022) was de gemiddelde nitraatconcentratie bij het strooien van zeoliet (67 mg l⁻¹) ook hoger vergeleken met niet strooien (39 mg l⁻¹) (P ≥ 0,21). Geconcludeerd wordt dat het strooien van zeoliet op bemest grasland geen lagere maar een hogere nitraatuitspoeling gaf. In beide uitspoelseizoenen had het strooien van zeoliet geen effecten op de gemiddelde P- en K-concentratie in poriewater op 1,0 m diepte.

Strooien van zeoliet had in het groeiseizoen van 2020 bij enkele sneden effecten op de grasopbrengst, maar niet op de N-opname. In 2021 was de grasopbrengst als gevolg van strooien van zeoliet licht lager (-2%) over de sneden, en kon dit effect bij bemesting met RDM en KAS verklaard worden uit een lagere N-opname (-6%).

Vervanging van 60% van de N uit KAS door een vergelijkbare hoeveelheid plantopneembare N uit RDM gaf een aanzienlijk lagere nitraatuitspoeling. In het eerste uitspoelseizoen was de gemiddelde nitraatconcentratie, op 1,0 m diepte, lager bij bemesting met RDM en KAS (44 mg l⁻¹) vergeleken met bemesting met alleen KAS (88 mg l⁻¹) (P < 0,001), en was deze bij behandelingen RDM+KAS en KAS respectievelijk 41 en 73 mg l⁻¹ (P = 0,94). In het tweede uitspoelseizoen was de gemiddelde nitraatconcentratie bij bemesting met RDM en KAS (41 mg l⁻¹) ook lager dan bij bemesting met alleen KAS (58 mg l⁻¹) (P = 0,15), en was deze bij behandelingen RDM+KAS en KAS respectievelijk 32 en 49 mg l⁻¹ (P = 0,69). Na aftrek van de bijdrage van 40% KAS was bij behandeling RDM+KAS de nitraatconcentratie op basis van bemesting met alleen RDM in het eerste en tweede groeiseizoen respectievelijk 11 en 13 mg l⁻¹, en bij behandeling KAS respectievelijk 44 en 30 mg l⁻¹. In het groeiseizoen namen de nitraatconcentraties op 1,0 m diepte toe en ontstonden verschillen tussen behandelingen, wat aangeeft dat ook in het groeiseizoen er nitraat naar grotere diepte uitspoelde.

Vervanging van 60% KAS door RDM, en van P uit kunstmest door P uit RDM, gaf in beide jaren een verhoging van de P-uitspoeling, maar op een erg laag niveau. In het eerste uitspoelseizoen was de gemiddelde P-concentratie bij bemesting met RDM en KAS of bij alleen kunstmest respectievelijk 0,08 en 0,03 mg l⁻¹ (P = 0,09). In het tweede uitspoelseizoen was de gemiddelde P-concentratie bij bemesting met RDM en KAS of bij alleen kunstmest respectievelijk 0,04 en 0,03 mg l⁻¹ (P = 0,01). In het tweede uitspoelseizoen werd de hogere P-concentratie (+16%) bij bemesting met RDM en KAS verklaard door een hogere P-bemesting (+14%).

Bij de niet-bemeste controle was in het eerste uitspoelseizoen de gemiddelde P-concentratie (0,09 mg l⁻¹) hoger dan bij bemesting met alleen KAS (0,03 mg l⁻¹), en in het tweede uitspoelseizoen (0,14 mg l⁻¹) hoger dan bij alle bemeste behandelingen (0,03-0,04 mg l⁻¹). Het achterwege laten van N-bemesting kan daarmee leiden tot een grotere P-uitspoeling.

Vervanging van 60% van de KAS door RDM, en van K uit kunstmest door K uit RDM, had in beide uitspoelseizoenen enkele kleinere effecten op de K-uitspoeling, gemeten aan de K-concentratie in poriewater op 1,0 m diepte. In het eerste uitspoelseizoen was de K-concentratie op twee van de zeven meettijdstippen lager bij bemesting met RDM en KAS (gem. 17 mg l⁻¹) vergeleken met bemesting met alleen kunstmest (gem. 25 mg l⁻¹) (P = 0,05). In het tweede uitspoelseizoen was de K-concentratie lager bij behandeling RDM+KAS+ZEO (12 mg l⁻¹) vergeleken met behandeling KAS+ZEO (15 mg l⁻¹) (P = 0,06). Deze lagere K-concentratie (-19%) kan worden verklaard door een lagere K-bemesting (-15%).

Vervanging van 60% KAS door RDM gaf een lagere grasopbrengst en hoger N-gehalte in het gras, door het trager ter beschikking komen van de N uit RDM en meer berijdingsschade bij zodebemesten. Acht keer zodebemesten en snijden in de graszode had in de proefperiode geen negatief effect op het aandeel Engels raagrass en de overige botanische samenstelling van de graszode.

Geconcludeerd wordt dat, in tegenstelling tot de hypothese, het strooien van zeoliet de nitraatuitspoeling van grasland op droogtegevoelige zandgrond niet verlaagde maar verhoogde. Vervanging van 60% van kunstmest KAS door RDM gaf, in overeenstemming met de hypothese, een aanzienlijk lagere nitraatuitspoeling, zowel na een droog als een 'nat' groeiseizoen, met de grootste verlaging na het droge seizoen. De 60% vervanging van KAS door RDM, en van P en K uit kunstmest door RDM, had geen afwenteling van betekenis wat betreft de P- en K-uitspoeling of de botanische samenstelling.

1 Inleiding

Beperking van de nitraatuitspoeling uit landbouwgronden is belangrijk, om de stikstof(N)efficiëntie van de landbouw te verhogen alsook om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater te verbeteren. Bij de veel voorkomende teelt van blijvend grasland wordt op klei- en veengronden de EU-nitraatrichtlijn van 50 mg l⁻¹ nitraat in het grondwater ruim gehaald, terwijl deze op lössgronden en droogtegevoelige zandgronden in droge jaren wordt overschreden (Van Duijnen et al., 2022). Het verlagen van nitraatuitspoeling uit grasland heeft daarom prioriteit voor deze grondsoorten. Vermindering van de uitspoeling kan ook op andere grondtypen interessant zijn, wanneer dit mogelijk is met eenvoudige maatregelen die zichzelf terugverdienen.

Een mogelijk geschikte maatregel is het strooien van zeoliet. Zeoliet, een tectosilicaat, beschikt over een groot adsorberend vermogen voor kationen, zoals ammonium uit meststoffen. Door de adsorptie kan in de bodem de omzetting van ammonium naar nitraat worden vertraagd, waardoor minder nitraat wordt gevormd, minder nitraat in het bodemvocht aanwezig is, en daardoor ook minder nitraat kan uitspoelen. Het geadsorbeerde ammonium blijft wel beschikbaar voor gewasopname; bij een afnemende concentratie ammonium in het bodemvocht wordt geadsorbeerde ammonium geleidelijk weer afgegeven naar het bodemvocht en komt daarmee beschikbaar voor gewasopname.

Er is relatief veel onderzoek gedaan naar effecten van het mengen van zeoliet met grond op de opbrengst, N-opname en nitraatuitspoeling van akkerbouwgewassen (Ramesh & Reddy, 2011), maar weinig onderzoek naar de effecten voor (blijvend) grasland. Yolcu et al. (2011) vonden een significante toename in ruw eiwitgehalte van gras, van 10,6% tot 13,5%, nadat voorafgaande aan het inzaaien 750 kg zeoliet ha⁻¹ door de bouwvoor was gemengd. Resultaten van het effect van zeoliet op de nitraatuitspoeling van grasland zijn er vrijwel niet. Een pilotexperiment, uitgevoerd in 2018 op praktijkbemest blijvend grasland, gaf de indruk dat door het bovengronds strooien van zeoliet de nitraatuitspoeling fors verlaagd kon worden (Van Mullekom et al., 2019). Op de stroken waar in maart 2018 zeoliet was gestrooid, was in december de gemiddelde nitraatconcentratie in uitspoelend water gemiddeld 80% lager. Een dergelijk grote reductie, in combinatie met de bekende adsorptie van ammonium door zeoliet, maakte het opportuun om de effecten van gestrooide zeoliet onder veldomstandigheden te gaan onderzoeken.

Naast het strooien van zeoliet zijn er meerdere mogelijke maatregelen om de nitraatuitspoeling van blijvend grasland te verminderen. Uit literatuuronderzoek bleek dat de uitspoeling waarschijnlijk verminderd kan worden door bij de N-bemesting het aandeel rundveedrijfmest (RDM) te verhogen ten koste van het aandeel nitraathoudende kunstmest (De Boer, 2017). Een hoger aandeel RDM kan in die context bijdragen aan verbetering van de waterkwaliteit, en aan kringloopdoelstellingen. Veldonderzoek naar de effecten van vervanging van nitraathoudende kunstmest door RDM is schaars. In onderzoek van Steenvoorden (1992), op een lemige zandgrond te Ruurlo, was de gemiddelde nitraatuitspoeling lager bij bemesting van 580 kg 'werkzame N' met RDM en KAS (~8% van de 'werkzame N') vergeleken met bemesting van alleen KAS (~13% van de 'werkzame N') (Fig. 3.2.7 in Steenvoorden (1992)). In dat onderzoek werd echter alle drijfmest voor de eerste snede gegeven, met diepe injectie, en met een hogere gift dan nu gebruikelijk. De data van het meest recente onderzoek (Schröder et al., 2010) lijken weinig bruikbaar. In dit tweejarige onderzoek werd de nitraatconcentratie in het grondwater in beide proefjaren slechts één keer per voorjaar gemeten, op een moment dat de uitspoelperiode van het vorige groeiseizoen was afgelopen en het nieuwe groeiseizoen onderweg was (mei 2008) of aan het einde van de uitspoelperiode van het vorige groeiseizoen (maart 2009). Verder is niet duidelijk of de bemonsterde laag grondwater, vanwege de geringe diepte (20 cm), voldoende representatief was voor het meten van de nitraatuitspoeling. Gezien de beperkte beschikbaarheid van betrouwbare experimentele gegevens was nieuw veldonderzoek nodig.

Strooien van zeoliet en/of verhoging van het aandeel RDM in de N-bemesting kan naast effect op de uitspoeling van nitraat ook effect hebben op de uitspoeling van fosfor (P) en kalium (K). Een te hoge P-concentratie in uitspoelend water kan leiden tot (ongewenste) eutrofiëring van de omgeving. Kalium heeft geen negatief effect op de waterkwaliteit, maar K is een waardevol nutriënt en verlies door uitspoeling is onwenselijk. Bij beoordeling van het effect van strooien van zeoliet of een hoger aandeel RDM in de bemesting is het wenselijk om neveneffecten op de uitspoeling van P en K mee te nemen, om eventuele afwenteling te voorkomen. Een ander neveneffect van regelmatig (zode)bemesten met RDM is dat de graszode regelmatig wordt ingesneden, waardoor mogelijk de kwaliteit van de graszode verslechtert. Bij vaker zodebemesten is het daarom wenselijk om ook de ontwikkeling van de botanische samenstelling te volgen.

In de voorliggende studie zijn door middel van veldonderzoek de hypothesen getest dat op grasland 1) het strooien van zeoliet en 2) vervanging van nitraathoudende kunstmest KAS door RDM de nitraatuitspoeling naar het grondwater kan verlagen.

2 Materiaal & methoden

2.1 Proefopzet

Het veldonderzoek werd uitgevoerd op twee percelen met blijvend grasland op droogtegevoelige zandgrond: een zandgrond in het zuiden van Nederland (Vredepeel, Limburg) en een zandgrond in het oosten (Beltrum, Gelderland). Per proefveld werden vijf behandelingen aangelegd:

1. Controle, geen N-bemesting, geen toediening van zeoliet;
2. N-bemesting met alleen kunstmest KAS;
3. N-bemesting met alleen KAS en strooien van zeoliet;
4. N-bemesting met RDM, aangevuld met KAS;
5. N-bemesting met RDM, aangevuld met KAS, en strooien van zeoliet.

Bij alle bemeste behandelingen werd een vergelijkbaar niveau van plantopneembare N nagestreefd. De P- en K-gift met RDM werd bij de behandelingen met alleen KAS ingevuld met P en K uit kunstmest (zie paragraaf 2.3). De vijf behandelingen werden per proefveld vier keer herhaald in vier gerandomiseerde blokken, op vijf veldjes (10 * 9 m) per blok, resulterend in 20 veldjes per proefveld. In Beltrum lagen alle veldjes achter elkaar en in Vredepeel lagen veldjes 1 t/m 10 parallel aan veldjes 11 t/m 20, met een tussenafstand van 14 m. Het onderzoek in Vredepeel duurde ruim een jaar (januari 2020 tot april 2021) en in Beltrum ruim twee jaar (januari 2020 tot april 2022).

2.2 Proefvelden

Beide proefvelden waren in het groeiseizoen sterk droogtegevoelig, mede veroorzaakt door een snel dalende grondwaterstand vanaf het voorjaar. Het grondwaterpeil nam in het najaar weer snel toe en stond in februari op beide proefvelden op maaiveldniveau. Het proefveld in Beltrum was droogtegevoeliger dan in Vredepeel, gezien de lagere hoeveelheid organische stof (OS) en lagere hoeveelheid maximaal plantbeschikbaar water in de grond (Tabel 1). De teeltlaag van beide proefvelden was 30 cm diep, met daaronder wit zand. In Vredepeel was de teeltlaag donkergrijs tot zwart van kleur, en in Beltrum bruineel tot bruinoranje.

Tabel 1 Samenstelling van de zandgrond (0 -10 cm) van het proefveld in Vredepeel en Beltrum bij start van het onderzoek.

Parameter	Eenheid	Waarde ¹⁾	
		Vredepeel	Beltrum
Klei (< 2 µm)	%	1	2
Silt (2-50 µm)	%	11	7
Zand (> 50 µm)	%	84	88
CEC	mmol ⁺ kg ⁻¹	58	49
CEC-bezetting	%	84	100
	<i>Ca-bezetting</i> %	71	78
	<i>Mg-bezetting</i> %	10	18
	<i>K-bezetting</i> %	3	5
pH-KCl	-	5,0	5,5
OS	%	4,4	3,3
C-organisch	%	2,4	1,7
N-totaal	g N kg ⁻¹	1,59	1,46
P-plantbeschikbaar	mg P kg ⁻¹	4,7	2,9
K-plantbeschikbaar	mg K kg ⁻¹	27	89
Plantbeschikbaar water	mm	21	17
Vochtgehalte bij pF 3,3	%	8,6	6,1

¹⁾ In droge grond, gemeten door Eurofins Agro (pakket Bemestingswijzer Compleet) in grondmonsters genomen op 24 januari 2020

Het grasland was bij het begin van het onderzoek vijf jaar oud in Vredepeel en 12 jaar oud in Beltrum. De botanische samenstelling bij het begin van het onderzoek werd in Vredepeel gedomineerd door Engels raaigras (*Lolium perenne* L.) (54%), *Festulolium* (x *Festulolium*) (23%), ruw beemdgras (*Poa trivialis* L.) (6%), en straatgras (*Poa annua* L.) (5%), en in Beltrum door Engels raaigras (47%), straatgras (33%), ruw beemdgras (6%), en vogelmuur (*Stellaria media* L.) (6%).

2.3 Proefuitvoer

Zeoliet

Bij de behandelingen met toediening van zeoliet werd voorafgaande aan de bemesting van de eerste snede 400 kg ha⁻¹ Optizec zeoliet (1,0-1,5 mm; Zeocem, Bystré, Slowakije) met de hand gestrooid. In Vredepeel werd één keer zeoliet toegediend, op 30 maart 2020, en in Beltrum twee keer, op 21 februari 2020 en op 8 maart 2021.

Bemesting

Het grasland werd jaarlijks vijf keer bemest en vijf tot zes keer gemaaid. Afhankelijk van behandeling en snede werden de veldjes bemest met N, P, K, en S. De geplande bemesting met KAS-equivalente N ('werkzame N') voor de eerste vijf sneden was respectievelijk 120, 80, 60, 40, en 20 kg N ha⁻¹, in totaal 320 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. Bij de veldjes bemest met RDM en KAS was de RDM-gift voor de eerste vier sneden respectievelijk 30, 20, 20, en 20 m³ ha⁻¹, in totaal 90 m³ ha⁻¹ jaar⁻¹, met de laatste gift voor 1 augustus. Per snede werd op basis van de drijfmestgift en samenstelling de hoeveelheid KAS-equivalente N uit deze gift geschat, voor de snede zelf als voor de volgende drie sneden (op basis van verwachte mineralisatie), met behulp van de 'werkingscoëfficiënten' voor RDM uit de Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen (Anonymus, 2020). De geschatte hoeveelheden KAS-equivalente N uit RDM werden vervolgens per snede met KAS aangevuld tot de doelgift (Bijlage 1). In het tweede jaar van de proef (2021) werd in Beltrum de aanvullende KAS-gift voor de eerste en tweede snede gekort met respectievelijk 10 en 5 kg N ha⁻¹, om te corrigeren voor een verwachte nalevering van N uit RDM die in het eerste jaar (2020) was toegediend. De N-gift met KAS op de veldjes bemest met RDM en KAS was op proefveld Vredepeel in 2020 42% van de N-gift op de veldjes met alleen KAS. Op proefveld Beltrum was dit percentage respectievelijk 40% en 38% in 2020 en 2021. Op 18 september 2020 werden in Beltrum alle veldjes abusievelijk bemest met 35 kg N ha⁻¹ met spuiwater uit een luchtwasser.

De P- en K-bemesting met RDM was (ruim) voldoende voor een goede gewasgroei. Veldjes bemest met RDM ontvingen daarom geen P of K met kunstmest. Veldjes bemest met alleen KAS ontvingen wel een P- en K-bemesting met kunstmest, per snede berekend op basis van de geschatte P- en K-gift per snede met RDM op de veldjes met RDM-bemesting. De P-bemesting met RDM was in Vredepeel in 2020 voor de eerste t/m de vijfde snede respectievelijk 14, 11, 12, en 15 kg P ha⁻¹, in Beltrum in 2020 respectievelijk 14, 11, 11, en 11 kg P ha⁻¹, en in Beltrum in 2021 respectievelijk 16, 11, 11, en 11 kg P ha⁻¹. De K-bemesting met RDM voor de eerste t/m de vijfde snede was in Vredepeel in 2020 respectievelijk 108, 75, 72, en 71 kg K ha⁻¹, in Beltrum in 2020 respectievelijk 132, 107, 105, en 88 kg K ha⁻¹, en in Beltrum in 2021 respectievelijk 126, 91, 85, en 88 kg K ha⁻¹. In 2020 waren de P- en K-giften in Vredepeel en Beltrum vergelijkbaar tussen de veldjes met en zonder RDM, behalve dat in Beltrum voor de eerste snede meer K werd gegeven op de veldjes met alleen kunstmest, en voor de tweede en derde snede wat minder (Bijlage 1). In 2020 werd in Beltrum voor de vierde snede geen K bemest op de veldjes met alleen kunstmest, om na te gaan of adsorptie van K uit kunstmest aan het zeoliet, en verdringing van NH₄-N, mogelijk invloed had op het effect van zeoliet op de N-opname door het gewas en nitraatconcentratie in poriewater. In 2021 was in Beltrum de P-bemesting op de veldjes met RDM in de eerste drie sneden hoger dan op de veldjes met alleen kunstmest, en was de K-bemesting de eerste vier sneden lager. Zwavel werd in beide jaren op alle veldjes bemest, met een gift van 15 en 15 kg S ha⁻¹ voor respectievelijk de eerste en tweede snede.

De bemesting van N, P, K, en S met kunstmest werd toegediend als respectievelijk kalkammonsalpeter (KAS) (13,5% NH₄-N, 13,5% NO₃-N), tripelsuperfosfaat (45% P₂O₅), kaliumchloride (60% K₂O), en kieseriet (50% SO₃). Op beide proefvelden werd de kunstmest gestrooid met een (gedragen) pneumatische kunstmeststrooier, in Vredepeel met een Rauch Aero 2224 (Rauch, Sinzheim, Duitsland) en in Beltrum met een Swincosem (Swincosem, Mierlo).

Drijfmest werd op beide proefvelden uitgereden met een Vervaet Hydrotrike driewieler, in Vredepeel uitgerust met een Schuitema Exacta 940 zodebemestingselement met 52 elementen en een werkbreedte van 9,4 m (Schuitemaker, Rijssen), en in Beltrum uitgerust met een Vredo zodebemestingselement met 45 elementen en een werkbreedte van 7,9 m (Vredo, Dodewaard). De Exacta zodebemester was uitgerust met bolle schijven en de Vredo zodebemester met dubbele snijdende schijven. De afstand tussen de sleuven was in Vredepeel 17,7 cm en in Beltrum 17,2 cm. Bij een bemesting reed de driewieler over het midden van de 9-m veldjesbreedte, waardoor in Beltrum aan weerszijden een niet-bemeste strook van gemiddeld 55 cm aanwezig was. Het door de bemester afgegeven volume werd ingesteld op basis van een doorstroommeter die dagelijks regelmatig werd gekalibreerd. De uitrijnsnelheid was 4 km uur⁻¹ en de bandenspanning meestal 2,5 tot 2,8 bar, een enkele keer 3,2 bar (later in het groeiseizoen). In het voorjaar werd de bandenspanning bij uitrijden steeds verlaagd tot 2,5 – 2,6 bar. De drijfmest werd drie tot zeven dagen na het maaien van de vorige snede toegediend (gemiddeld zes dagen later) en de kunstmest twee tot tien dagen na het maaien (gemiddeld zes dagen later) (Bijlage 2).

Berekening

In 2020 werden beide proefvelden berekend vanwege optredende droogte. Op proefveld Vredepeel werd 30 mm berekend op 16 mei en 30 mm op 31 juli, in totaal 60 mm. Op proefveld Beltrum werd 30 mm berekend op 25 mei, 30 mm op 1 juni, 20 mm op 29 juni, 25 mm op 1 augustus, 22 mm op 8 augustus, en 22 mm op 9 augustus, in totaal 149 mm. In 2021 werd er vanwege voldoende regenval niet berekend.

2.4 Waarnemingen

2.4.1 Neerslag en verdamping

De dagelijkse hoeveelheid neerslag werd voor proefveld Vredepeel geregistreerd met behulp van een Dacom weerstation (Dacom Farm Intelligence BV, Haren) (hemelsbreed op 1 km afstand), en voor de (berekende) verdamping werden gegevens gebruikt van KNMI-weerstation Eindhoven (KNMI, De Bilt). Voor proefveld Beltrum werden de dagelijkse neerslaggegevens gebruikt van KNMI-neerslagstation Lichtevoorde (op 6 km afstand) en de dagelijkse verdampingsgegevens van KNMI-weerstation Hupsel (op 5 km afstand). Voor de lange-termijn gemiddelden van neerslag en verdamping (1991-2020) werden voor proefveld Vredepeel de gegevens van respectievelijk KNMI-neerslagstation Helmond (op 15 km afstand) en KNMI-weerstation Maastricht gebruikt, en voor proefveld Beltrum de gegevens van respectievelijk KNMI-neerslagstation Lichtevoorde en KNMI-weerstation de Bilt. Het neerslagtekort van een periode werd berekend door de verdamping in die periode in mindering te brengen op de gemeten neerslag in die periode.

2.4.2 Bodem

Waarnemingen aan de bodem bestonden uit een algemene grondanalyse bij het begin en einde van het onderzoek. Bij de bemonstering voor de algemene grondanalyse, op 24 januari 2020, werden op beide proefvelden van bodemlaag 0-10 cm minimaal 40 steken genomen, met de steken regelmatig verdeeld over de proefveldoppervlakte. De monsters werden geanalyseerd door Eurofins Agro (Wageningen, Nederland) op pakket 'Bemestingswijzer Compleet' (Tabel 1).

2.4.3 Mest

Waarnemingen aan de mest bestonden uit het analyseren van de toegediende mest. Voorafgaand aan iedere bemesting werd een monster van de RDM uit de tank van de zodebemester genomen, nadat de uit de kelder aangezogen mest enige tijd in de tank was gemengd. De monsters werd bewaard bij -18°C tot het moment van analyse door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB, Wageningen). De dichtheid van de mest werd volumetrisch bepaald, de pH en EC werden direct in de mest gemeten met standaard elektroden; N-totaal en P-totaal met ICP-AES (na destructie van de verse mest met zwavelzuur en salicylzuur, en de toevoeging van selenium en waterstofperoxide, bij een temperatuur van 100°C); K-totaal met SFA (na de hiervoor beschreven destructie); en NH₄-N

eveneens met SFA (na extractie met 1 M KCl); opgeloste organische N (DON: Nts - NH₄-N - NO₃-N) met SFA na extractie met 0,01 M CaCl₂; en opgeloste organische C (DOC: TC - IC) eveneens met SFA na extractie met 0,01 M CaCl₂. Het drogestofgehalte werd bepaald door 24 uur drogen bij 105°C en het organische stofgehalte door gedroogde mest (70°C) drie uur te gloeien bij 550°C. Gehalten totale C en organische C werden gemeten met een CN analyser na malen van gedroogde mest (70°C) op 50 µm. Voorafgaande aan de bepaling van organische C werd het gemalen materiaal twee keer behandeld met zoutzuur (HCl) om carbonaten te verwijderen. Behandelde monsters bleven na de eerste toevoeging een nacht overstaan, na de tweede toevoeging vier uur, en werden toen na opnieuw drogen (30°C) gemeten met de CN analyser.

2.4.4 Gewas

Waarnemingen aan het gewas bestonden uit bepaling van de bovengrondse opbrengst, de gewassamenstelling (N, P, K), en de botanische samenstelling van de graszode.

De opbrengst werd bepaald door het uitmaaien van een 1,5 m brede baan in het midden van ieder veldje (15 m² gemaaid oppervlak) of twee banen van 1,5 m aan weerszijden van het midden, op 2 m afstand van iedere veldjesgrens (30 m² gemaaid oppervlak), met een proefveldoogstmachine (J. Haldrup a/s, Løgstør, Denemarken), op een hoogte van 6 cm. In 2020 werd in Vredepeel bij de oogst van de eerste twee sneden een baan uit het midden gemaaid, en bij latere sneden twee banen aan weerszijden. In Beltrum werden bij alle sneden twee banen aan weerszijden van het midden gemaaid, behalve bij de eerste en vijfde snede in 2020, toen de veldjes volledig werden gemaaid. De aanpassing van één naar twee banen werd gemaakt om de eventuele effecten van een (vruchtbaarheids)verloop over de (relatief brede) veldjes te verkleinen. Het gemaaid gras werd gewogen en bemonsterd en monsters werden gedroogd (48 uur, 70°C) om het vochtgehalte te bepalen en de drogestofopbrengst te berekenen. In Vredepeel werden de veldjes in 2020 gemaaid op 6 mei, 8 juni, 13 juli, 21 augustus, 15 oktober, en 1 december. In Beltrum werden de veldjes in 2020 gemaaid op 8 mei, 19 juni, 23 juli, 31 augustus, en 16 oktober, en in 2021 op 14 mei, 11 juni, 19 juli, 24 augustus, en 1 oktober.

De grasmonsters werden door Onderzoekcentrum B-WARE geanalyseerd op N-, P-, en K-totaal, na drogen en restvochtbepaling bij 70°C. Het gehalte N-totaal werd gemeten met een CNHS analyser (vario MICRO cube; Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold, Duitsland) na malen van de monsters (0,5 mm). De gehalten P- en K-totaal werden gemeten met ICP-OES (SPECTRO ARCOS MV; Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Duitsland) na destructie door toevoeging van salpeterzuur en waterstofperoxide in een destructie-magnetron (Ethos Easy; Milestone, Sorisole, Italië).

De botanische samenstelling van de graszode werd tijdens de proefperiode meerdere keren gekarteerd om vast te stellen of deze werd beïnvloed door het strooien van zeoliet en regelmatige zodebemesting. De karteringen werden uitgevoerd door een expert (Henk Schilder, WLR) en bestonden uit het per veldje visueel schatten van de bezettingsgraad door de graszode (%) en het aandeel (%) van iedere aangetroffen soort daarin (cf. methode Sikkema (1997); De Boer et al., 2020). De karteringen werden in Vredepeel uitgevoerd op 27 maart 2020 en 19 april 2021, en in Beltrum op 26 maart 2020, 19 april 2021, en 24 september 2021.

2.4.5 Grondwater- en poriewater

Waarnemingen aan het grondwater- en poriewater bestonden uit meting van de concentraties van diverse mineralen, en van het grondwaterpeil.

De nitraatuitspoeling van de vijf behandelingen werd bepaald door meting van de nitraatconcentratie in (uitspoelend) grondwater. Voorafgaande aan het onderzoek werden per veldje drie permanente lysimeters (¾" pvc installatiebuis; keramische cup 655X01-B1M3 met ronde bodem, ø 22 mm, lengte 70 mm; 22 NSR Nylo-seal slang) ingegraven. Cup B werd ingegraven in het midden van zowel de 9-m veldjesbreedte als de 10-m veldjeslengte, en cups A en C aan weerszijden, op 1 m afstand, ook in het midden van de veldjesbreedte. De drie cups werden op verschillende dieptes geplaatst. In Vredepeel werden cups A en C op een diepte van 1,1 m onder maaiveld geplaatst, en cup B op een diepte van 0,55 m. In Beltrum werden cups A en C op een diepte van 1,0 m onder maaiveld geplaatst, en cup B ook op een diepte van 0,55 m. De cups werden ingegraven voordat de zeoliet

werd gestrooid en werden van boven afgedekt met een straatpot (20 x 20 x 15 cm) die enkele cm in de graszode was verzonken.

Via de cups werd regelmatig een monster genomen van het poriewater, eens per twee tot drie weken in het uitspoelseizoen van 2020 en 2021, eens per twee tot vier weken in het groeiseizoen van 2020, en enkele keren in het groeiseizoen van 2021. Bij monsternamen werd het deksel van de straatpot verwijderd, werd een injectiespuit (60 ml) aangesloten op de Nylo-seal slang en vervolgens uitgetrokken, zodat er onderdruk ontstond (Foto 1). Hierdoor vulde de spuit zich langzaam met toestromend poriewater van rondom de cup.



Foto 1 Poriewaterbemonstering op 30 maart 2020 in Vredepeel (Foto: Daan van Pul).

Een dag na het aansluiten werden de injectiespuiten afgekoppeld en werd de inhoud in monsterpotjes gedaan. Hierbij werd het poriewater van cups A en C gemengd tot een verzamelmonster op basis van gelijk volume. Na mengen werden er submonsters genomen en werden deze binnen 1-2 weken geanalyseerd op NO_3 , P-totaal, en K-totaal. De concentratie NO_3 werd colometrisch bepaald met CFA (SEAL AutoAnalyser 3; SEAL Analytical, Norderstedt, Duitsland) na toevoeging van kleurreagens in een imidiazol buffer, in submonsters die waren bewaard bij -20°C . Concentraties P- en K-totaal werden bepaald met ICP-OES (SPECTRO ARCOS MV; Spectro Analytical Instruments GmbH, Kleve, Duitsland) in submonsters die waren aangezuurd met HNO_3 en bewaard bij 4°C .

Het grondwaterpeil van het proefveld werd gemeten in grondwaterpeilbuizen (2 m lengte; volledig filter), ingegraven op twee plekken op ieder proefveld en afgewerkt met een straatpot. In Vredepeel lagen de grondwaterpeilbuizen op de grens van veldje 3 naar 4 en van veldje 17 naar 18, in het midden van de veldjesbreedte, en in Beltrum op de grens van veldje 25 naar 26 en van veldje 35 naar 36, in het midden van de veldjesbreedte (zie beschrijving proefplattegrond paragraaf 2.1). Bij de bemonstering van de cups werd ook de hoogte van het grondwater in de grondwaterpeilbuizen gemeten, met behulp van een peillood en meetlint.

2.5 Berekeningen en statistische analyse

De grasopbrengst werd per veldje per snede berekend door de verse opbrengst te vermenigvuldigen met het DS-gehalte. De bovengrondse N-, P-, en K-opname werden per veldje berekend door de droge opbrengst te vermenigvuldigen met respectievelijk het N-, P-, en K-gehalte. De grasopbrengst en bovengrondse N-, P-, en K-opname werden per proefjaar geanalyseerd met de REML-procedure voor herhaalde waarneming uit statistisch pakket Genstat (19^e editie; VSNI, Hemel Hempstead, UK), met 'Veldnr.' als *Subjects* en 'Snednr.' als *Timepoints*. *Fixed model* was 'RDM * ZEO * Snednr.', *Random model* was 'Blok', de keuze *Equally spaced time points* werd uitgezet, en het gebruikte correlatiemodel was 'Unstructured'. De grasopbrengst en N-opname van proefveld Vredepeel in 2020, en de N-opname van proefveld Beltrum in 2021, werden voorafgaande aan de statistische analyse loggetransformeerd (LN), omdat de residuen niveau-afhankelijk waren. Bij de statistische analyses vertegenwoordigde factor 'RDM' type bemesting (alleen KAS of RDM+KAS) en factor 'ZEO'

vertegenwoordigde zeoliet (wel of geen zeoliet). De jaaropbrengst of -opname werd per afzonderlijk proefjaar per proefveld geanalyseerd met de ANOVA-procedure uit Genstat. Bij alle statistische analyses werd de niet-bemeste controle niet meegenomen, vanwege niet-orthogonaliteit en vanwege het verschil in niveau met de bemeste behandelingen. De grasopbrengst en N-opname werden statistisch geanalyseerd en gerapporteerd voor beide proefvelden, de P- en K-opname alleen voor proefveld Beltrum (zie paragraaf 4.1).

De schijnbare N-benutting van bemeste behandelingen ('apparent N recovery', ANR) werd berekend als: (N-opname behandeling – N-opname controle) / N-totaalgift behandeling. De schijnbare N-benutting uit RDM werd vervolgens geschat als: ((ANR RDM+KAS * N-totaalgift RDM+KAS) – (ANR KAS * N-gift KAS)) / N-totaalgift RDM. De ANR werd per snede geaccumuleerd berekend.

De N-gebruiksefficiëntie ('nitrogen use efficiency', NUE; geproduceerde hoeveelheid gras per kg N opgenomen uit bemesting) werd voor de bemeste behandelingen berekend als: (DS-opbrengst bemeste behandeling – DS-opbrengst controle) / (N-opname bemeste behandeling – N-opname controle), en werd zowel per snede als op jaarbasis berekend. De N-gebruiksefficiëntie van alleen RDM werd geschat door het percentage KAS (% van hoeveelheid bij behandeling KAS) te vermenigvuldigen met de N-gebruiksefficiëntie van behandeling KAS, dit in mindering te brengen op de N-gebruiksefficiëntie van behandeling RDM+KAS, en het resultaat te delen door (1 – % KAS). Bij behandeling RDM+KAS werd deze correctie uitgevoerd met de N-gebruiksefficiëntie van KAS, en bij behandeling RDM+KAS+ZEO met de N-gebruiksefficiëntie van KAS+ZEO.

Relaties tussen bovengrondse N- en P-opname, en N- en K-opname, werden geanalyseerd met behulp van de procedure voor lineaire regressie in Genstat. De data werden eerst per proefveld per jaar gezamenlijk geanalyseerd, en daarna ook met 'Behandeling' als groefactor. Wanneer bij de analyse met groepen er significante verschillen waren tussen de richtingscoëfficiënten van groepen, dan werden deze resultaten besproken, en anders de resultaten van de gezamenlijke analyse.

De effecten van (bemeste) behandelingen op de botanische samenstelling werden voor proefveld Vredepeel in het voorjaar van 2021 geanalyseerd met de ANOVA-procedure. *Treatment structure* was 'RDM * ZEO' en *Random model* was 'Blok'. Effecten van (bemeste) behandelingen op de verandering over de twee proefjaren van de bezettingsgraad en de aandelen van Engels raaigras, straatgras, ruw beemdgras, en timotheegras, werden voor proefveld Beltrum geanalyseerd met behulp van de REML-procedure voor herhaalde waarneming, met 'Veldnr.' als *Subjects* en 'Karteringstijdstip' als *Timepoints*. *Fixed model* was 'RDM * ZEO * Karteringstijdstip', *Random model* was 'Blok', de keuze *Equally spaced time points* werd uitgezet, en het gebruikte correlatiemodel was 'Unstructured'. Het aandeel Engels raaigras werd voorafgaande aan de statistische analyse loggetransformeerd (LN) omdat de residuen niveau-afhankelijk waren.

Bij de analyse van nitraat-, P-, en K-concentraties in poriewater werden de resultaten van de ondiepe cups alleen kwantitatief besproken. Deze cups waren in de proef opgenomen ter indicatie, met slechts één cup per veldje. Daarnaast was er een sterk afwijkend patroon van uitspoeling in Vredepeel, waren er in Beltrum in 2020 veel missende data (vanwege droogte), en in 2021 maar drie meettijdstippen in het groeiseizoen. Vanwege de beperkingen werden de P- en K-concentraties alleen gerapporteerd voor de diepe cups van proefveld Beltrum, voor het uitspoelseizoen.

Bij de analyse van de nitraatconcentraties in poriewater werd de meetperiode opgedeeld in een periode 'groeiseizoen' en een periode 'uitspoelseizoen'. In het groeiseizoen kan de concentratie in uitspoelend water toenemen, maar het uitspoelend volume is relatief klein. In het uitspoelseizoen is het uitspoelend volume aanzienlijk groter, waardoor dit seizoen het meeste bijdraagt aan de jaarlijkse uitspoeling. Het begin van een periode 'groeiseizoen' werd vastgesteld op het moment dat de nitraatconcentratie in de ondiepe cups begon toe te nemen, en eindigde in de eerste helft van november, wanneer het neerslagoverschot begint op te bouwen. De periode van het uitspoelseizoen werd vastgesteld vanaf half november en eindigde wanneer de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater duidelijk begon af te nemen, meestal in februari. Op dat moment is de uitspoeling vrijwel voltooid en daalt de concentratie als gevolg van verdunning door neerslag. De vastgestelde perioden voor de uitspoeling van nitraat werden ook gehanteerd voor de uitspoeling van fosfor en kalium.

De concentraties van nitraat, P-totaal en K-totaal in poriewater van de diepe cups werden per proefveld voor ieder groeiseizoen en uitspoelseizoen apart geanalyseerd met behulp van de REML-procedure voor herhaalde waarneming, met 'Veldnr.' als *Subjects* en 'Meettijdstip' als *Timepoints*. *Fixed model* was 'RDM * ZEO * Meettijdstip', *Random model* was 'Blok', de keuze *Equally spaced time points* werd uitgezet, en het gebruikte correlatiemodel was 'Unstructured'. Alle concentraties, behalve de nitraatconcentraties van proefveld Beltrum in groeiseizoen 2020 en uitspoelseizoen 2021, werden

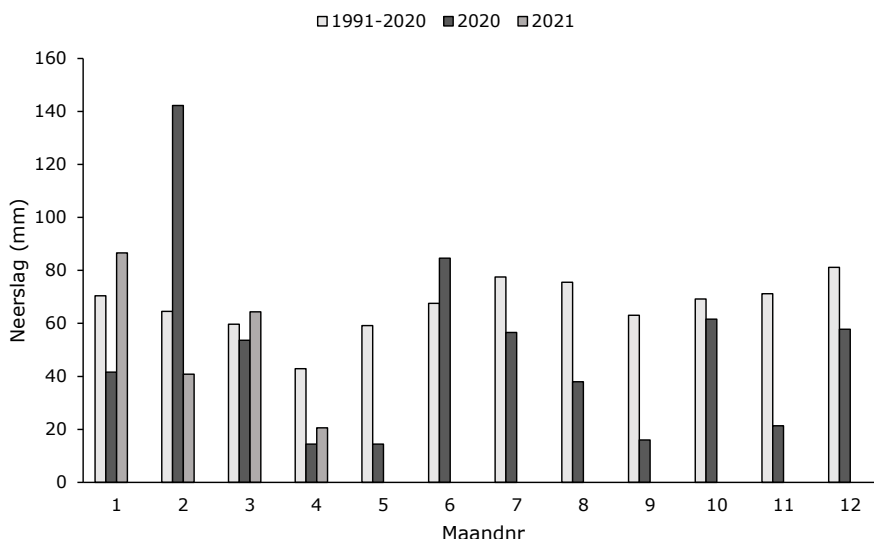
voorafgaande aan de statistische analyse loggetransformeerd (LN), omdat de residuen niveauafhankelijk waren. Bij behandeling RDM+KAS werd de nitraatconcentratie op basis van bemesting met alleen RDM geschat door het percentage KAS (% van hoeveelheid bij behandeling KAS) te vermenigvuldigen met de gemiddelde nitraatconcentratie van behandeling KAS, en dit in mindering te brengen op de gemiddelde nitraatconcentratie van behandeling RDM+KAS. Dezelfde correctie werd ook uitgevoerd voor behandeling KAS. Bovenstaande correcties werden uitgevoerd voor de gemiddelde nitraatconcentraties van de diepe cups tijdens het uitspoelseizoen.

3 Resultaten

3.1 Neerslag en verdamping

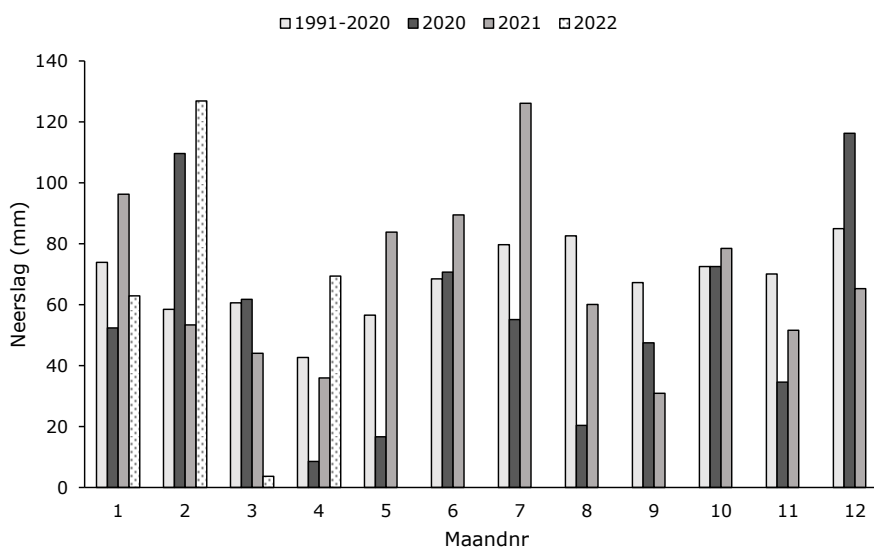
Neerslag

Op proefveld Vredepeel was in 2020 de jaarlijkse neerslag 602 mm, 200 mm minder dan het 30-jarig gemiddelde (Fig. 1). In het groeiseizoen (april t/m september) was de neerslag in april, mei, juli, augustus, en september aanzienlijk lager dan het 30-jarig gemiddelde.



Figuur 1 Neerslag per maand op proefveld Vredepeel in de jaren 2020 en 2021, en in de periode 1991-2020.

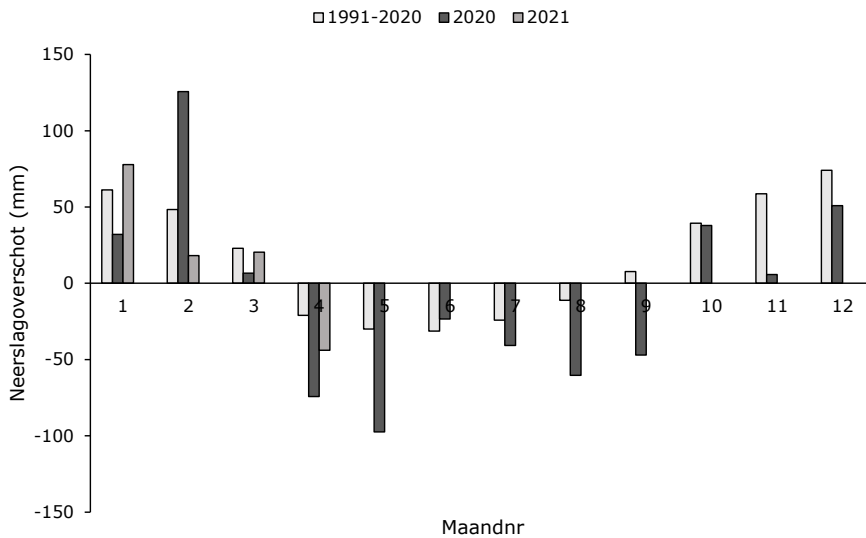
Op proefveld Beltrum was in 2020 en 2021 de jaarlijkse neerslag respectievelijk 666 en 816 mm, respectievelijk 152 en 2 mm onder het 30-jarig gemiddelde (Fig. 2). In het groeiseizoen van 2020 was de neerslag in alle maanden, behalve juni, lager dan het 30-jarig gemiddelde, met de grootste verschillen in april, mei, en augustus. In het groeiseizoen van 2021 was de neerslag in augustus en september lager dan het 30-jarig gemiddelde, maar in mei, juni, en juli aanzienlijk hoger.



Figuur 2 Neerslag per maand op proefveld Beltrum in de jaren 2020, 2021, en 2022, en in de periode 1991-2020.

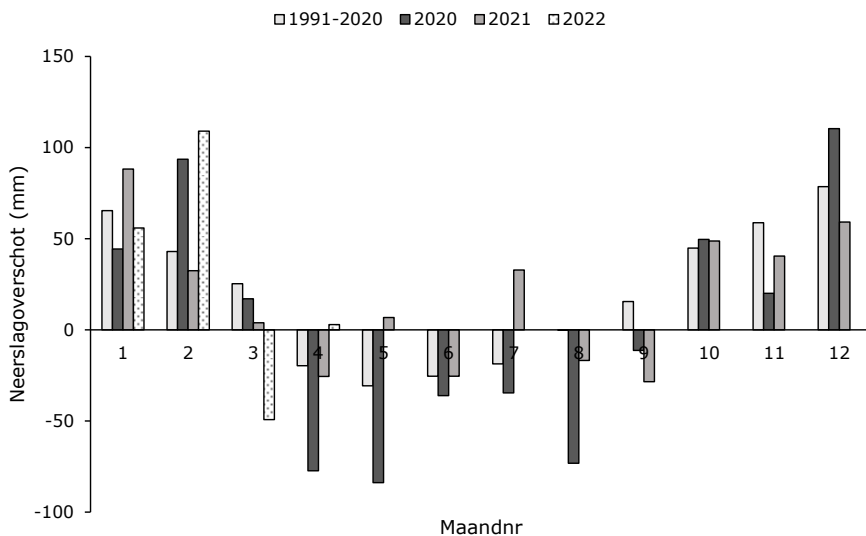
Neerslagoverschot

Op proefveld Vredepeel was er in 2020 op jaarbasis een neerslagtekort van 84 mm, met 279 mm minder neerslag vergeleken met het 30-jarig gemiddelde (Fig. 3). In het groeiseizoen was het neerslagtekort in alle maanden, behalve juni, aanzienlijk groter dan het 30-jarig gemiddelde. Het groeiseizoen van 2020 was aanzienlijk droger dan het 30-jarig gemiddelde, met een totaal neerslagtekort van 343 mm vergeleken met gemiddeld 110 mm. In de uitspoelperiode van 2020/2021 (zie paragraaf 3.10.2) viel er 149 mm neerslag en was de verdamping 22 mm, resulterend in een neerslagoverschot in deze periode van 128 mm.



Figuur 3 Neerslagoverschot per maand op proefveld Vredepeel in de jaren 2020 en 2021, en in de periode 1991-2020.

Op proefveld Beltrum was er in 2020 en 2021 op jaarbasis een neerslagoverschot van respectievelijk 19 en 217 mm, respectievelijk 218 en 21 mm minder dan het 30-jarig gemiddelde (Fig. 4). In het groeiseizoen van 2020 was het neerslagtekort in april, mei, juli, en augustus aanzienlijk hoger dan het 30-jarig gemiddelde. In het groeiseizoen van 2021 was er in mei en juli een neerslagoverschot in plaats van een tekort, en in augustus en september een tekort in plaats van een overschot. Het groeiseizoen van 2020 was aanzienlijk droger vergeleken met het 30-jarig gemiddelde, met een totaal neerslagtekort van 316 mm vergeleken met 94 mm gemiddeld, en het groeiseizoen van 2021 was, met een neerslagtekort van 57 mm, vergelijkbaar met het 30-jarig gemiddelde.



Figuur 4 Neerslagoverschot per maand op proefveld Beltrum in de jaren 2020, 2021, en 2022, en in de periode 1991-2020.

In de uitspoelperiode van 2020/2021 (zie paragraaf 3.10.2) viel er 282 mm neerslag en was de verdamping 44 mm, resulterend in een neerslagoverschot in deze periode van 238 mm. In de uitspoelperiode van 2021/2022 (zie paragraaf 3.10.2) viel er 191 mm neerslag en was de verdamping 19 mm, resulterend in een neerslagoverschot in deze periode van 172 mm.

3.2 Mest uitrijden en meststoffenstelling

Mest uitrijden

Er waren tussen de twee proefvelden waren er duidelijk verschillen in het uitrijbeeld van de drijfmest. Op proefveld Beltrum kwam de mest bij alle tijdstippen van uitrijden goed in de sleufjes terecht, met een breedte van de meststrookjes van 2 tot 3 cm (Foto 2, Foto 3). In Vredepeel kwam er regelmatig mest buiten de sleufjes, en waren de meststroken kronkelig in plaats van recht.



Foto 2 *Impressie van het uitrijbeeld van drijfmest na zodebemesten voor de tweede snede van 2020 op proefveld Vredepeel (links) en proefveld Beltrum (rechts).*



Foto 3 *Impressie van het uitrijbeeld van drijfmest na zodebemesten voor de derde snede van 2020 op proefveld Vredepeel (links) en proefveld Beltrum (rechts).*

Meststoffenstelling

Het drogestofgehalte van de uitgereden drijfmest was in beide jaren lager dan het landelijk gemiddelde, en het laagst in Beltrum (Tabel 2) (Anonymus, 2016). Een kanttekening bij de vergelijking met het landelijke gemiddelde is dat de achterliggende data negen jaar of ouder zijn, en mogelijk achterhaald. Het totale N-gehalte was in Vredepeel wat hoger dan het landelijk gemiddelde, en in Beltrum wat lager. Het P-gehalte was lager dan het landelijk gemiddelde, vooral in Beltrum in 2020. Het K-gehalte was in 2020 in Vredepeel aanzienlijk lager dan het landelijk gemiddelde en in Beltrum in 2020 hoger.

Het aandeel NH₄-N in N-totaal was in 2020 in Vredepeel (53%) en Beltrum (58%) hoger dan het landelijk gemiddelde (49%), maar in 2021 in Beltrum (46%) iets lager. De pH van de mest was relatief hoog, met een uitschieter in de mest die werd uitgereden voor de eerste snede van 2020 in Vredepeel. De drijfmest was ook relatief zout, met in Beltrum een zoutgehalte aan de bovenkant van een eerder gemeten range van 14 tot 24 mS cm⁻¹ (De Boer & Bloem, 2010).

Tabel 2 Samenstelling van de rundveedrijfmest uitgereden op proefveld Vredepeel (2020) en proefveld Beltrum (2020 en 2021). Parameters zijn uitgedrukt in g kg⁻¹ versgewicht, behalve de dichtheid (g l⁻¹), pH (-), en EC (mS cm⁻¹).

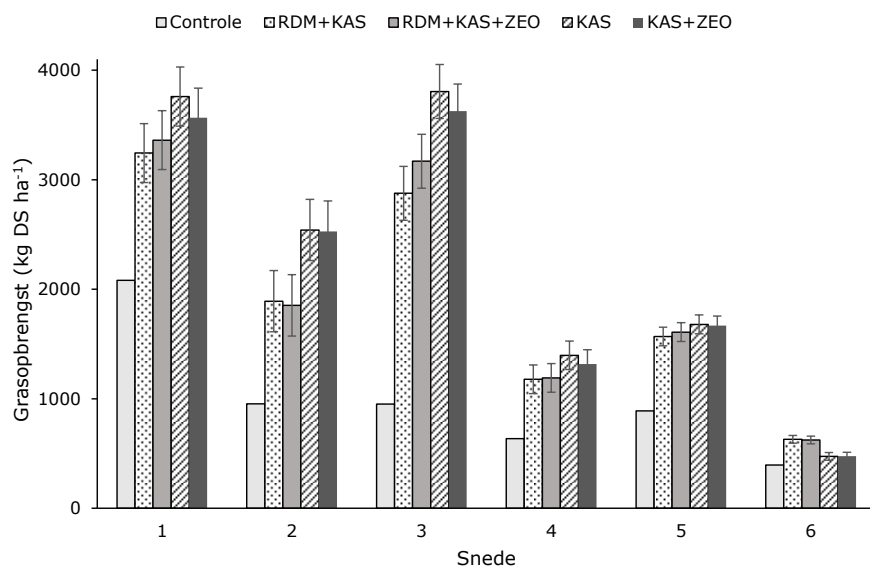
Jaar	Proefveld	Sned	Parameter												
			Dichtheid	pH	EC	DS	OS	N-tot.	P-tot.	K-tot.	N-NH ₄	DON	C-tot.	C-org.	DOC
2020	Vredepeel	1	998	7,9	18	70	55	3,35	0,47	3,61	1,93	0,84	26,6	- ¹⁾	7,1
		2	992	7,4	20	89	72	4,37	0,55	3,76	2,40	1,21	36,2	-	13,4
		3	986	7,4	18	85	69	4,12	0,59	3,67	2,20	1,14	32,6	-	13,7
		4	1008	7,1	20	86	72	5,03	0,73	3,54	2,37	0,63	37,3	32,3	11,5
2020	Beltrum	1	986	7,5	23	75	55	3,79	0,55	5,09	2,30	1,06	26,1	-	12,1
		2	999	7,3	24	80	59	3,94	0,56	5,37	2,44	1,20	30,9	-	14,2
		3	1018	7,5	23	76	55	3,94	0,53	5,18	2,19	1,19	31,2	-	13,1
		4	1018	7,3	21	76	58	3,55	0,53	4,34	1,92	0,61	30,6	26,6	10,0
2021	Beltrum	1	995	7,5	21	82	62	3,98	0,67	4,22	1,71	0,47	33,8	29,5	8,2
		2	1009	7,4	24	81	65	3,93	0,62	4,51	1,84	0,59	32,5	27,9	7,9
		3	1011	7,2	22	73	56	3,69	0,62	4,19	1,76	0,52	29,2	25,6	8,3
		4	1022	7,2	23	72	54	3,45	0,56	4,29	1,65	0,52	29,2	25,7	7,3
Landelijk gemiddelde ²⁾			1005	- ³⁾	-	92	71	4,0	0,65	4,5	1,9	-	-	-	-

¹⁾ Niet gemeten; ²⁾ Anonymus (2020); ³⁾ Niet gegeven

3.3 Grasopbrengst

Vredepeel 2020

Op proefveld Vredepeel was er in 2020 bij de grasopbrengst een significante interactie tussen een effect van zeoliet en type bemesting ($P < 0,001$), en een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting ($P < 0,001$). Gemiddeld over de sneden was de grasopbrengst bij behandeling KAS (2276 kg DS ha⁻¹) significant hoger vergeleken met RDM+KAS (1898 kg DS ha⁻¹) en RDM+KAS+ZEO (1968 kg DS ha⁻¹), en bij behandeling KAS+ZEO (2197 kg DS ha⁻¹) significant hoger vergeleken met RDM+KAS. Op snede-basis was de opbrengst van de eerste vier sneden significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met alleen KAS, en was de opbrengst van de zesde snede significant hoger (Fig. 5, Tabel 3). Bij de jaaropbrengst was er alleen een significant hoofdeffect ($P < 0,001$) van type bemesting en was de jaaropbrengst significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Tabel 3).



Figuur 5 Grasopbrengst op proefveld Vredepeel in 2020 per behandeling per snede bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

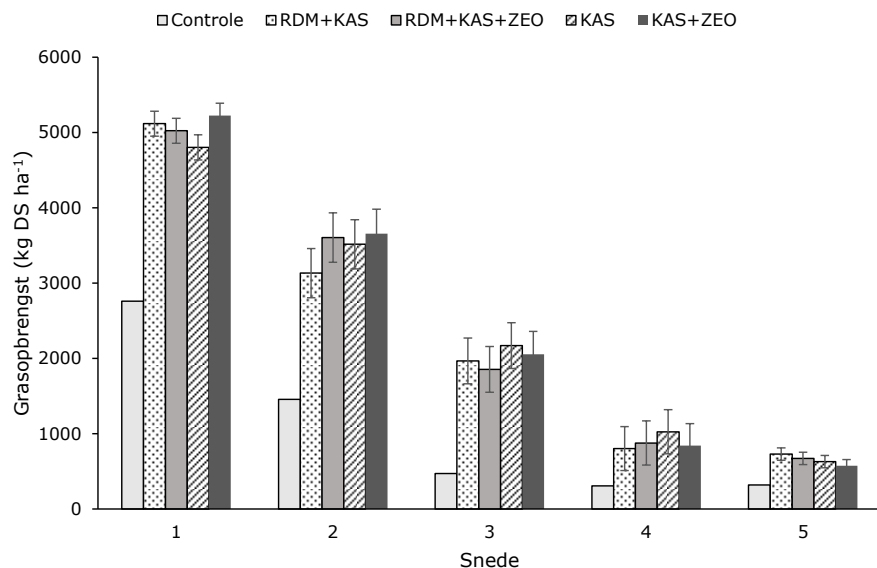
Tabel 3 Grasopbrengst (kg DS ha⁻¹) per snede van proefveld Vredepeel in 2020, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snede						Jaar
	1	2	3	4	5	6	
Alleen KAS	3663a	2534a	3716a	1358a	1674a	476a	13421a
Drijfmest en KAS	3302b	1872b	3023b	1185b	1589a	627b	11598b

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,001$) of de jaaropbrengst ($P < 0,001$)

Beltrum 2020

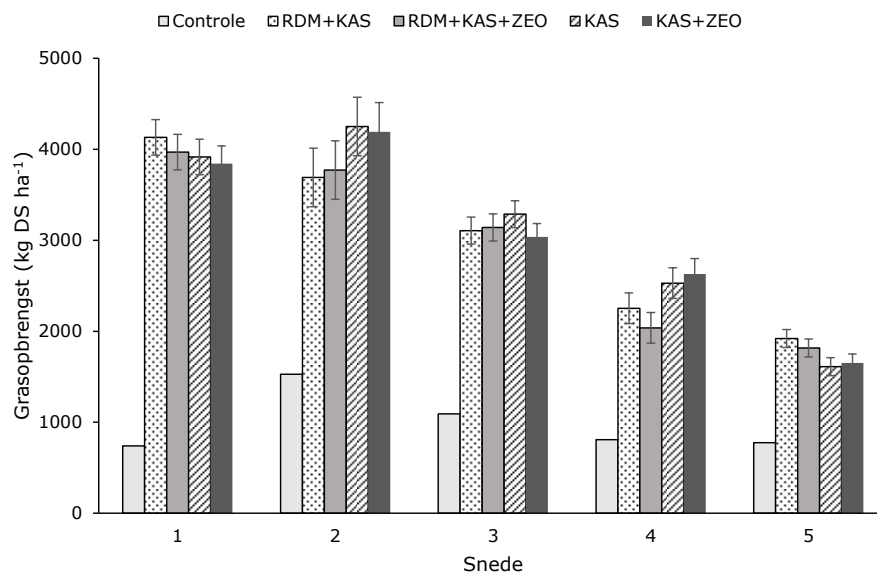
Op proefveld Beltrum was er in 2020 bij de grasopbrengst een neiging tot een significante interactie tussen een effect van zeoliet, type bemesting, en snede ($P = 0,06$). Bij de eerste snede was de opbrengst significant lager bij behandeling KAS vergeleken met behandelingen RDM+KAS en KAS+ZEO, bij de tweede snede was de opbrengst significant lager bij behandeling RDM+KAS vergeleken met behandelingen RDM+KAS+ZEO en KAS+ZEO, en bij de vijfde snede was de opbrengst significant lager bij behandeling KAS+ZEO vergeleken met behandeling RDM+KAS (Fig. 6). Bij de jaaropbrengst was er een significant hoofdeffect ($P = 0,05$) van type bemesting en was de gemiddelde jaaropbrengst significant lager bij bemesting met RDM en KAS (11,89 ton DS ha⁻¹) dan bij bemesting met alleen KAS (12,25 ton DS ha⁻¹).



Figuur 6 Grasopbrengst op proefveld Beltrum in 2020 per behandeling per snede bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Beltrum 2021

Op proefveld Beltrum was er in 2021 een significant hoofdeffect ($P = 0,03$) van zeoliet op de grasopbrengst, en ook een snede-afhankelijk significant effect van type bemesting ($P < 0,01$). De gemiddelde snede-opbrengst was significant lager bij behandelingen met zeoliet ($3069 \text{ kg DS ha}^{-1}$) vergeleken met behandelingen zonder zeoliet ($3069 \text{ kg DS ha}^{-1}$).



Figuur 7 Grasopbrengst op proefveld Beltrum in 2021 per behandeling en snede bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Op snede-basis was de opbrengst van de tweede en vierde snede significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, maar bij de vijfde snede significant hoger (Fig. 7, Tabel 4). Bij de jaaropbrengst was er alleen een significant hoofdeffect ($P = 0,03$) van type bemesting en was de gemiddelde opbrengst significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Tabel 4).

Tabel 4 Grasopbrengst (ton DS ha⁻¹) per snede van proefveld Beltrum in 2021, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

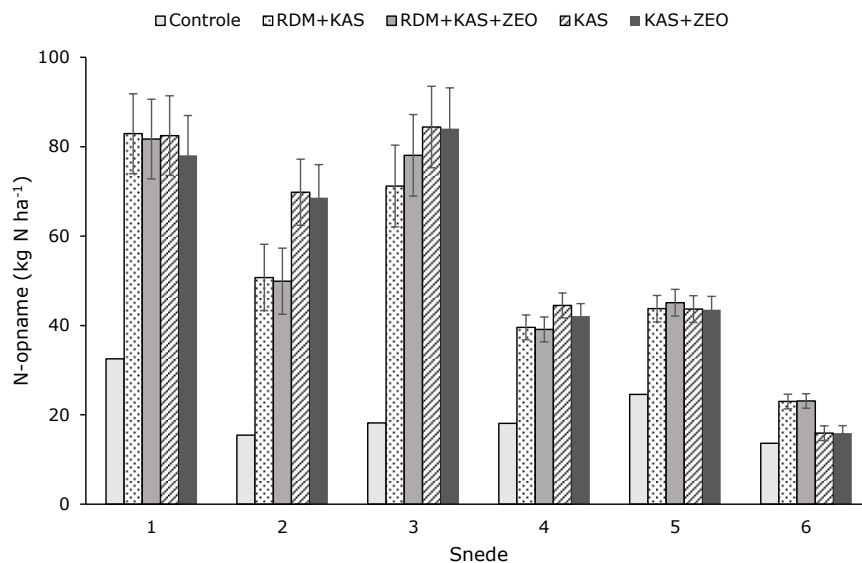
Type bemesting	Snedes					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	3878a	4221a	3162a	2579a	1631a	15472a
Drijfmest en KAS	4051a	3731b	3123a	2145b	1869b	14919b

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,01$) of de jaaropbrengst ($P = 0,03$)

3.4 Stikstofopname door het gras

Vredepeel 2020

Op proefveld Vredepeel was er in 2020 bij de bovengrondse N-opname een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,02$), en ook een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting ($P < 0,001$). De gemiddelde N-opname was significant lager bij behandeling RDM+KAS (51,9 kg N ha⁻¹) vergeleken met behandeling KAS (65,8 kg N ha⁻¹). Op snede-basis was de opbrengst van de tweede en vierde snede significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, maar was de N-opname van de zesde snede significant hoger (Fig. 8, Tabel 5). Bij de N jaaropname was er alleen een significant hoofdeffect ($P = 0,02$) van type bemesting, met een significant lagere N-opname bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Tabel 5). De jaaropname N was bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO respectievelijk 123, 311, 317, 341, en 332 kg N ha⁻¹.



Figuur 8 Stikstofopname op proefveld Vredepeel in 2020 per behandeling per snede, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

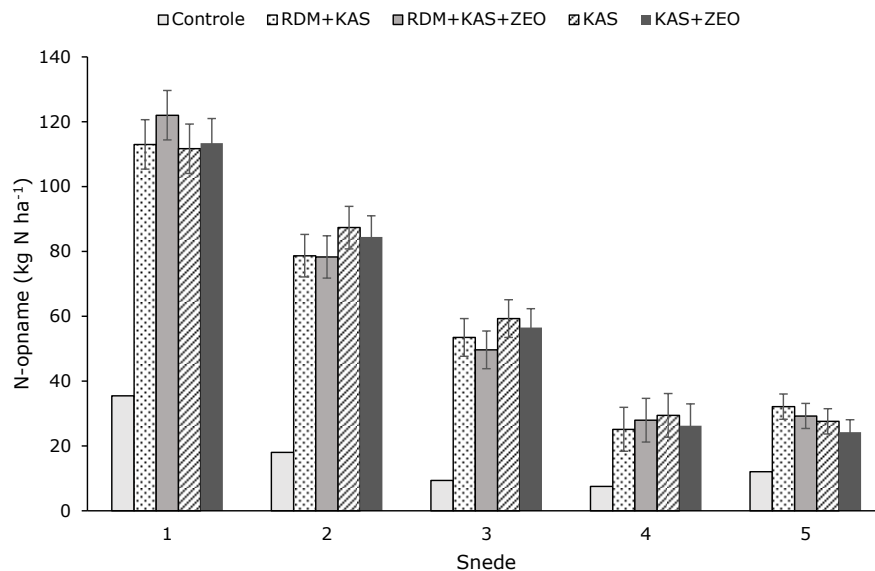
Tabel 5 Stikstofopname (kg N ha^{-1}) per snede van proefveld Vredepeel in 2020, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snedes						Jaar
	1	2	3	4	5	6	
Alleen KAS	80,3a	69,2a	84,2a	43,3a	43,6a	15,9a	337a
Drijfmest en KAS	82,3a	50,3b	74,6a	39,3b	44,4a	23,1b	314b

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,001$) of de jaaropname ($P = 0,02$)

Beltrum 2020

Op proefveld Beltrum was er in 2020 bij de N-opname een neiging tot een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,09$), en daarnaast een snede-afhankelijk effect van type bemesting ($P < 0,001$). De gemiddelde N-opname neigde significant lager bij behandeling RDM+KAS (60 kg N ha^{-1}) vergeleken met behandeling KAS (63 kg N ha^{-1}). Op snede-basis was de N-opname van de tweede snede significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, en bij de vijfde snede significant hoger (Fig. 9, Tabel 6). De N jaaropname werd niet significant beïnvloed door zeoliet of type bemesting ($P \geq 0,23$) en was gemiddeld 307 kg N ha^{-1} . De jaaropname N was bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO respectievelijk 82, 302, 307, 315, en 305 kg N ha^{-1} .



Figuur 9 Stikstofopname op proefveld Beltrum in 2020 per behandeling per snede, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

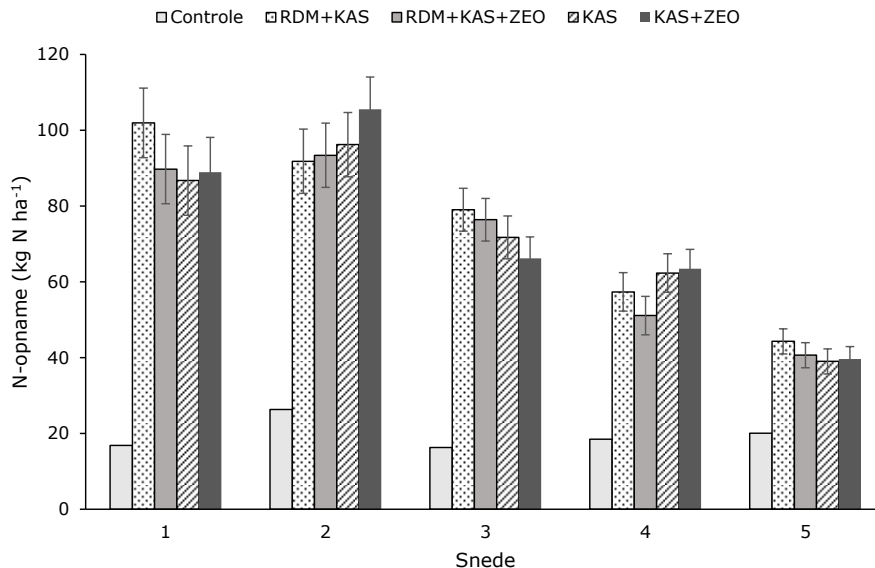
Tabel 6 Stikstofopname (kg N ha^{-1}) per snede van proefveld Beltrum in 2020, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snedes					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	112,5a	85,9a	57,9a	27,9a	25,9a	310a
Drijfmest en KAS	117,5a	78,5b	51,6a	26,6a	30,7b	305a

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,001$) of de jaaropname ($P = 0,39$)

Beltrum 2021

Op proefveld Beltrum was er in 2021 een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting op de bovengrondse N-opname ($P = 0,02$). De gemiddelde N-opname van de derde snede was significant hoger bij de behandelingen bemest met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, en de N-opname van de vierde snede significant lager (Fig. 10, Tabel 7). Bij de jaaropname N was er een neiging tot een significante interactie van een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,06$), met een neiging tot een significant lagere jaaropname bij behandeling RDM+KAS+ZEO (351 kg N ha^{-1}) vergeleken met behandeling RDM+KAS (374 kg N ha^{-1}). De jaaropname N was bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO respectievelijk 98, 374, 351, 356, en 364 kg N ha^{-1} .



Figuur 10 Stikstofopname op proefveld Beltrum in 2021 per behandeling per snede, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Tabel 7 Stikstofopname (kg N ha^{-1}) per snede van proefveld Beltrum in 2021, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snede					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	87,8a	100,9a	69,0a	62,9a	39,3a	360a
Drijfmest en KAS	95,8a	92,6a	77,7b	54,2b	42,5a	363a

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P = 0,02$) of de jaaropname ($P = 0,69$)

3.5 Stikstofbenutting en -gebruiksefficiëntie van het gras

Schijnbare stikstofbenutting

De schijnbare N-benutting bij bemesting met alleen KAS was in 2020 op jaarbasis op proefveld Vredepeel wat lager dan op proefveld Beltrum, en op proefveld Beltrum in 2021 hoger dan in 2020 (Tabel 8). Gecorrigeerd voor de bijdrage van KAS was de schijnbare N-benutting van alleen RDM op jaarbasis in 2020 op proefveld Vredepeel lager dan op proefveld Beltrum, en op proefveld Beltrum in 2021 eveneens hoger dan in 2020 (Tabel 9). In 2021 was de N-benutting van alleen RDM duidelijk lager als er zeoliet was gestrooid.

Tabel 8 Schijnbare stikstofbenutting (%) op proefveld Vredepeel in 2020 en proefveld Beltrum in 2020 en 2021 bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), binnen ieder jaar cumulatief weergegeven per snede per behandeling.

Jaar	Proefveld	Snede	Behandeling			
			KAS	KAS+ZEO	RDM+KAS	RDM+KAS+ZEO
2020	Vredepeel	1	42	38	28	28
		2	52	49	28	27
		3	66	63	34	36
		4	66	63	32	33
		5	67	65	36	37
		6	68	65	37	39
2020	Beltrum	1	64	65	41	46
		2	73	72	46	48
		3	75	74	46	47
		4	72	70	42	44
		5	73	69	47	48
2021	Beltrum	1	58	60	46	39
		2	70	76	51	47
		3	75	77	55	51
		4	80	82	55	51
		5	81	83	59	54

Tabel 9 Schijnbare stikstofbenutting (%) van alleen rundveedrijfmest (RDM), na correctie voor de bijdrage van KAS aan behandeling RDM+KAS, op proefveld Vredepeel in 2020 en proefveld Beltrum in 2020 en 2021, bij wel of niet strooien van zeoliet (ZEO), binnen ieder jaar cumulatief weergegeven per snede per behandeling.

Jaar	Proefveld	Snede	Behandeling	
			RDM	RDM+ZEO
2020	Vredepeel	1	18	20
		2	13	14
		3	19	22
		4	19	22
		5	24	26
		6	26	29
2020	Beltrum	1	27	34
		2	29	34
		3	32	34
		4	31	34
		5	37	40
2021	Beltrum	1	39	28
		2	41	33
		3	46	40
		4	46	40
		5	52	44

Stikstofgebruiksefficiëntie

De N-gebruiksefficiëntie van het gras was op jaarbasis bij bemesting met alleen KAS hoger vergeleken met bemesting van RDM en KAS, behalve op proefveld Beltrum in 2020 (Tabel 10). Op proefveld Beltrum was de N-gebruiksefficiëntie in 2021 duidelijk hoger dan in 2020. De N-gebruiksefficiëntie van alleen RDM was op jaarbasis in 2020 op proefveld Vredepeel lager dan op proefveld Beltrum en op proefveld Beltrum in 2021 hoger dan in 2020 (Tabel 11). In 2021 was op proefveld Beltrum de N-gebruiksefficiëntie van RDM hoger wanneer er zeoliet was gestrooid.

Tabel 10 Stikstofgebruiksefficiëntie van het gras (kg DS per kg N opgenomen uit bemesting) op proefveld Vredepeel in 2020 en proefveld Beltrum in 2020 en 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), weergegeven per behandeling per snede per jaar.

Jaar	Proefveld	Snede	Behandeling			
			KAS	KAS+ZEO	RDM+KAS	RDM+KAS+ZEO
2020	Vredepeel	1	33	32	23	24
		2	29	30	26	25
		3	43	41	36	37
		4	29	28	25	26
		5	42	41	35	36
		Jaar ¹⁾	35	35	29	30
2020	Beltrum	1	27	32	30	26
		2	30	33	28	36
		3	34	33	34	34
		4	31	28	28	27
		5	20	21	20	20
		Jaar	29	32	29	30
2021	Beltrum	1	46	43	40	45
		2	40	34	33	33
		3	40	39	32	34
		4	39	41	37	38
		5	45	48	48	52
		Jaar	42	39	37	37

¹⁾ Inclusief zesde snede

Tabel 11 Stikstofgebruiksefficiëntie van het gras (kg DS per kg N opgenomen uit bemesting) op proefveld Vredepeel in 2020 en proefveld Beltrum in 2020 en 2021, uit alleen rundveedrijfmest (RDM) na correctie voor de bijdrage van KAS, bij wel of niet strooien van zeoliet (ZEO), weergegeven per behandeling per snede per jaar.

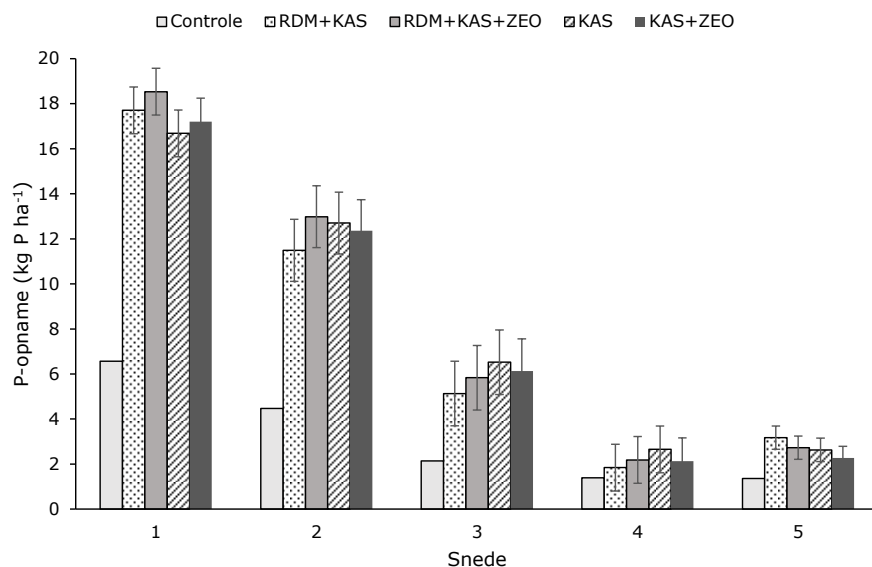
Jaar	Proefveld	Snede	Behandeling	
			RDM	RDM+ZEO
2020	Vredepeel	1	4	9
		2	23	21
		3	33	36
		4	25	26
		5 ¹⁾	35	36
		Jaar ²⁾	24	27
2020	Beltrum	1	36	17
		2	26	38
		3	34	35
		4	28	27
		5 ¹⁾	20	20
		Jaar	29	29
2021	Beltrum	1	33	46
		2	29	33
		3	29	32
		4	37	38
		5 ¹⁾	49	54
		Jaar	34	38

¹⁾ Effect van nawerking, deze snede was niet bemest; ²⁾ inclusief zesde snede

3.6 Fosforopname door het gras

Beltrum 2020

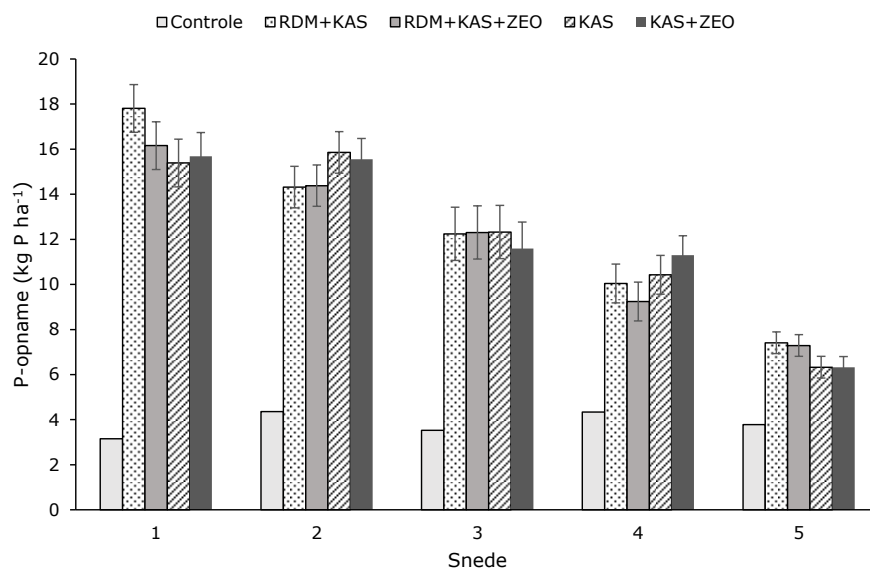
Op proefveld Beltrum was er in 2020 bij de bovengrondse P-opname een neiging tot een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting ($P = 0,07$). Op snede-basis neigde de P-opname van de eerste snede significant hoger bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Fig. 11). Bij de jaaropname P was er een neiging tot een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,08$), met een neiging tot een significant hogere jaaropname bij behandeling RDM+KAS+ZEO ($42,3 \text{ kg P ha}^{-1}$) vergeleken met behandeling KAS+ZEO ($40,1 \text{ kg P ha}^{-1}$).



Figuur 11 Fosforopname van het gras per behandeling per snede op proefveld Beltrum in 2020 bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Beltrum 2021

Op proefveld Beltrum was er in 2021 een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting op de P-opname ($P < 0,01$). De P-opname was hoger in de eerste snede, lager in de tweede snede, lager in de vierde snede, en hoger in de vijfde snede, bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Fig. 12, Tabel 12). De jaaropname P werd niet significant beïnvloed door behandeling en was gemiddeld 60 kg P ha^{-1} ($P \geq 0,11$).



Figuur 12 Fosforopname van het gras per behandeling per snede op proefveld Beltrum in 2021 bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Tabel 12 Fosforopname (kg P ha^{-1}) per snede van proefveld Beltrum in 2021, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

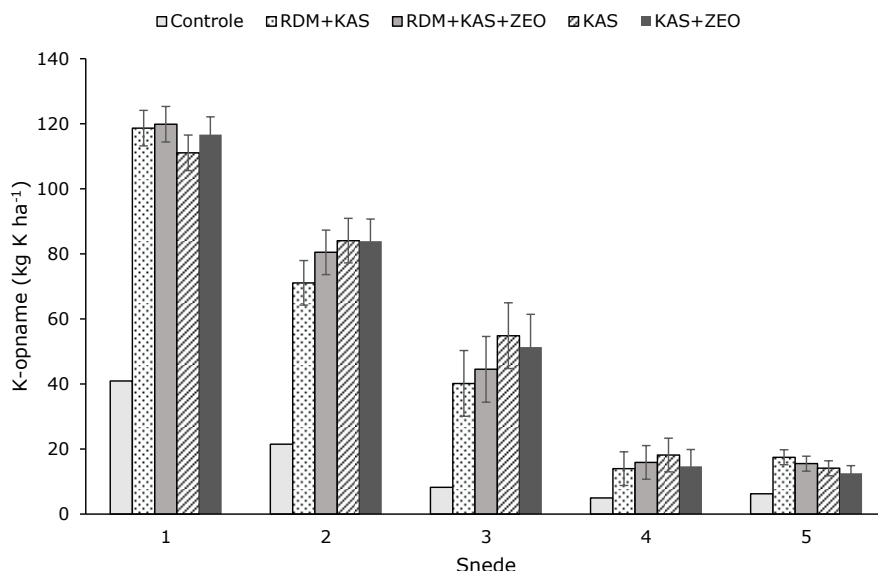
Type bemesting	Snede					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	15,5a	15,7a	12,0a	10,9a	6,3a	60a
Drijfmest en KAS	17,0b	14,4b	12,3a	9,6b	7,4b	61a

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,01$) of op jaarbasis ($P = 0,78$)

3.7 Kaliumopname door het gras

Beltrum 2020

Op proefveld Beltrum was er in 2020 alleen een significant snede-afhankelijk effect van type bemesting op de bovengrondse K-opname ($P < 0,01$). De K-opname was significant lager in de tweede snede en significant hoger in de vijfde snede bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Fig. 13, Tabel 13). De jaaropname K werd niet significant beïnvloed door behandeling ($P \geq 0,20$) en was gemiddeld 278 kg K ha^{-1} .



Figuur 13 Kaliumopname van het gras per behandeling per snede op proefveld Beltrum in 2020 bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen $2 \times$ de standaardfout binnen een snede.

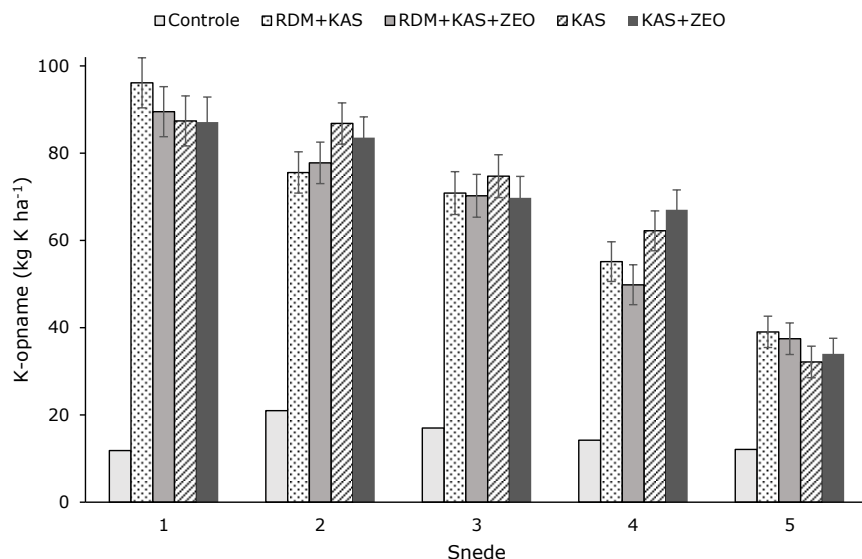
Tabel 13 Kaliumopname (kg K ha^{-1}) per snede van proefveld Beltrum in 2020, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snede					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	114a	84a	53a	16a	13a	281a
Drijfmest en KAS	119a	76b	42a	15a	17b	274b

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,01$) of op jaarbasis ($P \geq 0,20$)

Beltrum 2021

Op proefveld Beltrum was er in 2021 een significant hoofdeffect van zeoliet op de K-opname ($P = 0,03$), en een snede-afhankelijk effect van type bemesting ($P < 0,01$). De gemiddelde K-opname bij behandelingen met zeoliet ($66,6 \text{ kg K ha}^{-1}$) was significant lager dan bij behandelingen zonder zeoliet ($68,0 \text{ kg K ha}^{-1}$). Op snede-basis was de K-opname significant lager in de tweede en vierde snede, en significant hoger in de vijfde snede, bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Fig. 14, Tabel 14). Bij de jaaropname K was er een significant hoofdeffect van zeoliet ($P = 0,05$) en een significant hoofdeffect van type bemesting ($P < 0,01$). De gemiddelde K-opname was bij het strooien van zeoliet (333 kg K ha^{-1}) significant lager vergeleken met niet strooien (340 kg K ha^{-1}), en bij bemesting met RDM en KAS (331 kg K ha^{-1}) significant lager dan bij bemesting met alleen KAS (342 kg K ha^{-1}).



Figuur 14 Kaliumopname van het gras per behandeling per snede op proefveld Beltrum in 2021 bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een snede.

Tabel 14 Kaliumopname (kg K ha^{-1}) per snede van proefveld Beltrum in 2021, gemiddeld over de behandelingen bemest met alleen kunstmest KAS en over de behandelingen waarbij een deel van de KAS was vervangen door rundveedrijfmest.

Type bemesting	Snede					Jaar
	1	2	3	4	5	
Alleen KAS	87a	85a	72a	65a	33a	342a
Drijfmest en KAS	93a	77b	71a	52b	38b	331b

¹⁾ Een verschil in letters geeft een significant verschil aan binnen een snede ($P < 0,01$) of op jaarbasis ($P < 0,01$)

3.8 Effect van stikstofopname op fosfor- en kaliumopname van het gras

Effect stikstofopname op fosforopname

Op proefveld Beltrum was er in beide proefjaren een significante relatie ($P < 0,001$) tussen de bovengrondse N- en P-opname van het gras. De N-opname verklaarde 95% en 95% van de P-opname in respectievelijk 2020 en 2021. Toevoeging van 'Behandeling' als groeufactor gaf geen hogere verklaarde variantie of significant andere richtingscoëfficiënten (RC's) per behandeling in respectievelijk 2020 ($P \geq 0,34$) en 2021 ($P \geq 0,40$). De P-opname per kg N-opname (RC) was 0,159 en 0,155 kg P in respectievelijk 2020 en 2021.

Effect stikstofopname op kaliumopname

Op proefveld Beltrum was er in beide proefjaren een significante relatie ($P < 0,001$) tussen de bovengrondse N- en K-opname van het gras. De N-opname verklaarde 99% en 94% van de K-opname in respectievelijk 2020 en 2021. Toevoeging van 'Behandeling' als groeufactor gaf in 2020 geen hogere verklaarde variantie of significant lagere RC's per behandeling in respectievelijk 2020 ($P \geq 0,09$) en 2021 ($P \geq 0,39$). De K-opname per kg N-opname (RC) was 1,08 en 0,92 kg K in respectievelijk 2020 en 2021.

3.9 Botanische samenstelling

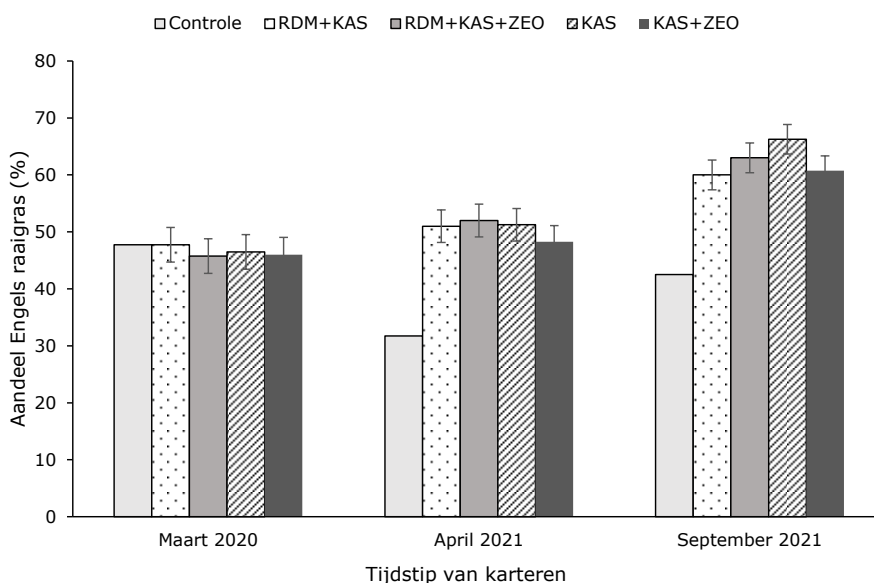
Vredepeel

Op proefveld Vredepeel was er in het voorjaar van 2021 geen significant effect van (bemeste) behandeling op de bezettingsgraad van de graszode (90%) ($P \geq 0,17$) of op het aandeel van de meest voorkomende grassen Engels raaigras (68%) ($P \geq 0,45$), *Festulolium* (22%) ($P \geq 0,34$), ruw beemdgras (5%) ($P \geq 0,12$), en straatgras (5%) ($P \geq 0,13$).

Beltrum

Op proefveld Beltrum was er in de tweejarige proefperiode geen significant effect van (bemeste) behandeling op de bezettingsgraad van de graszode (98%) ($P >> 0,10$). Bij het aandeel Engels raaigras was er een significant hoofdeffect van karteringstijdstip ($P < 0,001$) en een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,02$). Het aandeel Engels raaigras was in september 2021 (63%) significant hoger dan in april 2021 (51%), en was in april 2021 significant hoger dan in maart 2020 (47%) (Fig. 15). Daarnaast was het aandeel Engels raaigras, gemiddeld over de proefperiode, bij behandeling KAS+ZEO (52%) significant lager dan bij behandeling KAS (55%).

Bij het aandeel straatgras was er een significante interactie tussen een effect van zeoliet, type bemesting, en snede ($P = 0,03$). In september 2021 was het aandeel straatgras bij behandeling KAS (16,5%) significant lager vergeleken met behandeling KAS+ZEO (21,0%) en RDM+KAS (21,0%), maar niet vergeleken met RDM+KAS+ZEO (17,8%). Ook was er geen significant verschil tussen behandelingen KAS+ZEO en RDM+KAS. Bij het aandeel ruw beemdgras was er een significant hoofdeffect van type bemesting ($P = 0,01$), met een significant hoger aandeel bij bemesting met RDM en KAS (6,6%) vergeleken met bemesting met alleen KAS (5,2%). Bij het aandeel timotheegras was er alleen een significant hoofdeffect van karteringstijdstip ($P = 0,03$), en was het aandeel significant lager in september 2021 (2,5%) dan in april 2021 (3,0%), maar was er geen verschil tussen april 2021 en maart 2020 (2,9%).



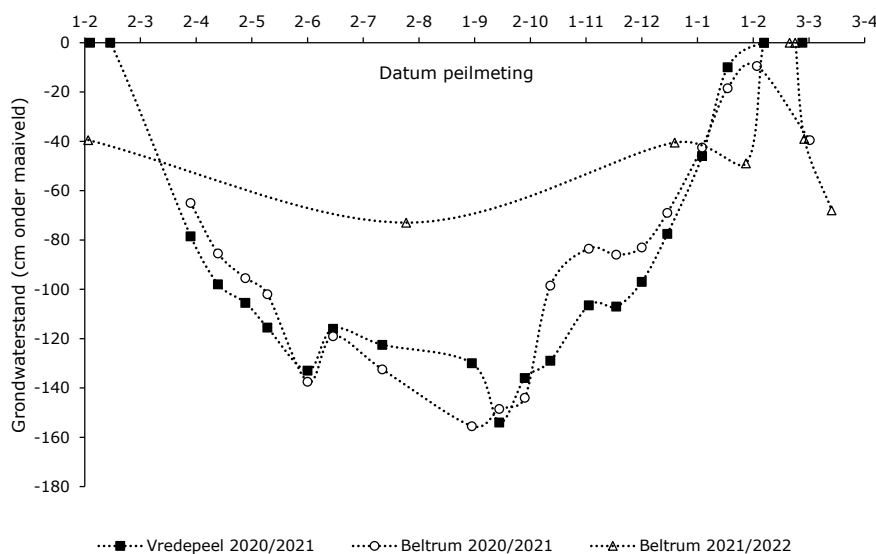
Figuur 15 Verandering van het aandeel Engels raaigras in de graszode in de proefperiode op proefveld Beltrum bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO). Foutenbalken vertegenwoordigen 2x de standaardfout binnen een tijdstip van karteren.

3.10 Grond- en poriewater

3.10.1 Grondwaterstand

Vredepeel seizoen 2020/2021

Op proefveld Vredepeel stond in de eerste helft van februari 2020 het grondwaterpeil op niveau van het maaiveld. Na februari zakte het peil snel, en het laagste peil (-154 cm) werd gemeten op 15 september (Fig. 16). Vanaf de meting op 3 november stond het grondwaterpeil (-107 cm) boven de bemonsteringsdiepte van de diepe cups (-1,1 m, twee per veldje), waardoor vanaf dat moment niet meer in uitspoelend poriewater maar in het bovenste grondwater werd gemeten. Op 18 januari 2021 stond het grondwater 10 cm onder maaiveld, en op 7 en 28 februari op het niveau van het maaiveld. Gelet op de grondwaterstand werd bij de ondiepe cups (-0,55 m, één per veldje) vanaf 30 maart 2020 t/m 16 december 2020 gemeten in uitspoelend poriewater, en vanaf 18 januari t/m 28 februari 2021 in het bovenste grondwater, met in die periode een variatie in peil tussen -10 en 0 cm. Bij de diepe cups werd vanaf 11 mei t/m 13 oktober 2020 de mineralenconcentraties vooral gemeten in uitspoelend poriewater, en vanaf 3 november 2020 t/m 28 februari 2021 in het bovenste grondwater, met in die periode een variatie in peil tussen -107 en 0 cm.



Figuur 16 Verandering van de grondwaterstand onder de proefvelden in Vredepeel en Beltrum tussen het voorjaar van 2020 en het voorjaar van 2021, en in Beltrum tussen het voorjaar van 2021 en 2022. Bij de datum van de peilmeting is de datum weergegeven zonder jaaraanduiding.

Beltrum seizoen 2020/2021

Op proefveld Beltrum daalde in seizoen 2020/2021 het grondwater snel na februari, met het laagste gemeten peil (-156 cm) op 31 augustus (Fig. 16). Vanaf dat moment begon het peil weer te stijgen, en bleef toenemen tot het hoogste gemeten peil (-10 cm) op 3 februari 2021. Bij de ondiepe cups (-0,55 m) werd vanaf 30 maart 2020 t/m 16 december 2020 gemeten in uitspoelend poriewater en vanaf 4 januari t/m 4 maart 2021 in het bovenste grondwater, met in die periode een variatie in peil tussen -43 en -10 cm. Bij de diepe cups (-100 cm) werd vanaf 11 mei t/m 13 oktober 2020 gemeten in uitspoelend poriewater en vanaf 3 november 2020 t/m 4 maart 2021 in het bovenste grondwater, met in die periode een variatie in peil tussen -84 en -10 cm.

Beltrum seizoen 2021/2022

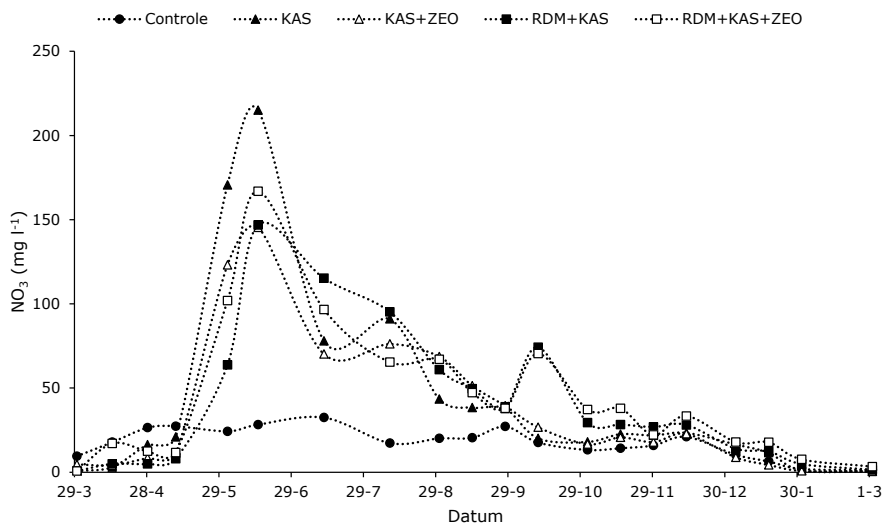
Op proefveld Beltrum daalde in seizoen 2021/2022 het grondwater snel na half januari en was het laagste gemeten peil -73 cm, gemeten op 26 juli (Fig. 16) (NB: de meetfrequentie was tijdens het grootste deel van dit seizoen laag).

De toename van het peil tussen 26 juli en 20 december (+33 cm) was relatief beperkt vergeleken met de toename in seizoen 2020/2021 (+80-85 cm), met een kleine afname in peil tussen 20 december en 28 januari (-9 cm), en daarna een aanzienlijke toename (+49 cm) in 10 dagen tijd. Bij de ondiepe cups werd op 26 juli 2021 en 16 maart 2022 gemeten in uitspoelend poriewater, en vanaf 20 december 2021 t/m 1 maart 2022 in het bovenste grondwater, met een variatie in peil tussen 0 en -49 cm. Bij de diepe cups werd het hele seizoen, vanaf 4 maart 2021 t/m 16 maart 2020, gemeten in het bovenste grondwater, met in die periode een variatie tussen 0 en -73 cm.

3.10.2 Nitraat in poriewater

Vredepeel seizoen 2020/2021 – ondiepe cups

Op proefveld Vredepeel begon in 2020 de nitraatconcentratie op 0,55 m diepte toe te nemen na 11 mei. De start van uitspoelperiode 'groei seizoen' werd daarom vastgesteld vanaf de meting op 2 juni. De gemiddelde nitraatconcentratie piekte bij de bemeste behandelingen op 16 juni en nam daarna af tot de meting op 3 maart 2021, met tussentijds nog een kleinere piek bij de meting op 12 oktober (Fig. 17). De eerste piek was het hoogst bij behandeling KAS en de tweede piek betrof alleen de behandelingen bemest met RDM en KAS. De nitraatconcentratie nam bij de controle toe tot 12 juli en daarna af tot het einde van de metingen.



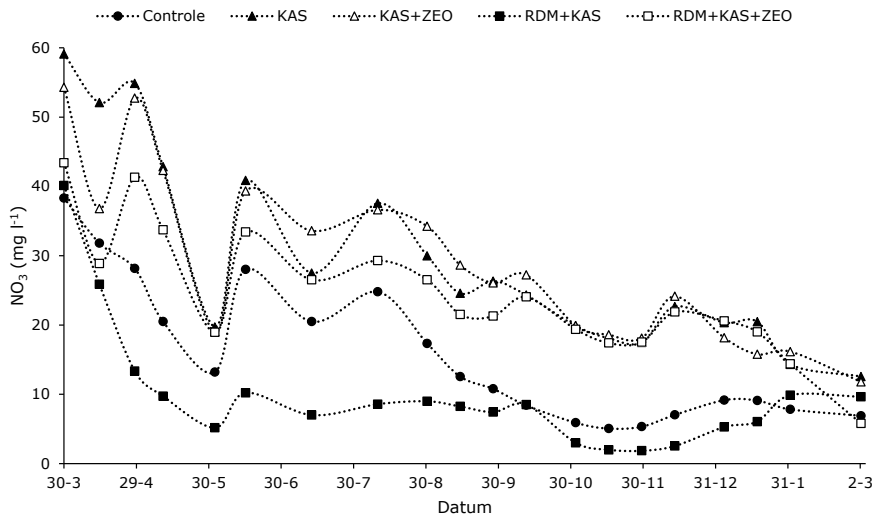
Figuur 17 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Vredepeel vanaf april 2020 tot maart 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 0,55 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

Vredepeel seizoen 2020/21 – diepe cups

Op proefveld Vredepeel lag de nitraatconcentratie op 1,1 m diepte aan het begin van 2020 op het hoogste niveau van het seizoen en vertoonde tot het einde van het seizoen een dalende trend (Fig. 18). Na een laagste punt bij de meting op 2 juni nam de concentratie weer aanzienlijk toe, en daalde daarna tot het einde van de metingen. De nitraatconcentratie lag bij de bemeste behandelingen, met uitzondering van behandeling RDM+KAS, op een vergelijkbaar niveau. Bij behandeling RDM+KAS was de nitraatconcentratie vanaf de meting op 29 april duidelijk lager vergeleken met de andere behandelingen, inclusief de niet-bemeste controle, en bleef lager tot de meting op 1 februari 2021.

In het groeiseizoen (met als meetperiode 2 juni t/m 2 november 2020; $n=9$ tijdstippen) was er een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting op de nitraatconcentratie in poriewater op 1,1 m diepte ($P < 0,001$). De gemiddelde nitraatconcentratie in deze periode was bij behandeling RDM+KAS ($7 \text{ mg NO}_3 \text{ l}^{-1}$) significant lager dan bij behandelingen KAS (28 mg l^{-1}) en KAS+ZEO (29 mg l^{-1}), maar niet vergeleken met behandeling RDM+KAS+ZEO (25 mg l^{-1}) (Fig. 18). De gemiddelde nitraatconcentratie was bij de controle 16 mg l^{-1} .

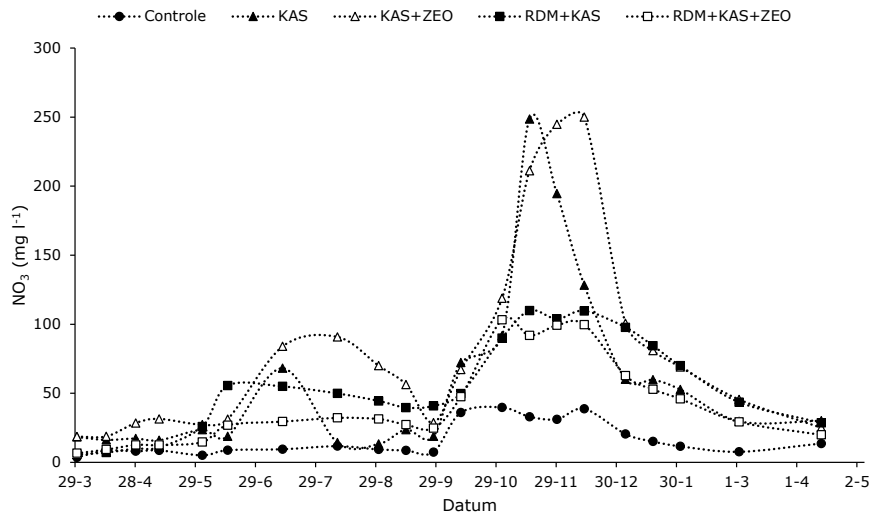
In het uitspoelseizoen (met als meetperiode 16 november 2020 t/m 1 februari 2021; n=6 tijdstippen) was er geen significant effect van zeoliet ($P \geq 0,10$) maar wel een significant hoofdeffect van type bemesting ($P = 0,03$) op de nitraatconcentratie in het poriewater op 1,1 m diepte. De gemiddelde nitraatconcentratie in deze periode was bij bemesting met RDM en KAS (12 mg l^{-1}) significant lager dan bij bemesting met alleen KAS (19 mg l^{-1}) (Fig. 18). De gemiddelde nitraatconcentratie was bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO was respectievelijk 7, 5, 18, 19, en 18 mg l^{-1} . Na aftrek van de bijdrage van 42% KAS was bij behandeling RDM+KAS de gemiddelde nitraatconcentratie, op basis van bemesting met alleen RDM, -3 mg l^{-1} (negatief als gevolg van het feit dat de gemeten concentratie niet kan afnemen tot beneden 0), en was de gecorrigeerde nitraatconcentratie bij behandeling KAS 11 mg l^{-1} .



Figuur 18 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Vredepeel vanaf april 2020 tot maart 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,1 m onder maaiveld (n=4 per meetpunt).

Beltrum seizoen 2020/2021 – ondiepe cups

Op proefveld Beltrum begon in 2020 de nitraatconcentratie op 0,55 m diepte toe te nemen na 2 juni (Fig. 19). De start van uitspoelperiode 'groeiaseizoen' werd daarom vastgesteld vanaf de meting op 2 juni. De gemiddelde nitraatconcentratie piekte bij de bemeste behandelingen bij de meting op 13 juli, nam daarna af tot en met de meting op 28 september, nam daarna weer toe en piekte opnieuw bij meting op 16 november, en daalde daarna tot de meting op 14 april 2021. De tweede piek was het hoogst bij de behandelingen bemest met alleen KAS. De toename van nitraatconcentratie na eind september is waarschijnlijk beïnvloed zijn door het per abuis toedienen van 35 kg N ha^{-1} met spuiwater op alle veldjes op 18 september. Deze gift heeft waarschijnlijk het algemene niveau van uitspoeling verhoogd.

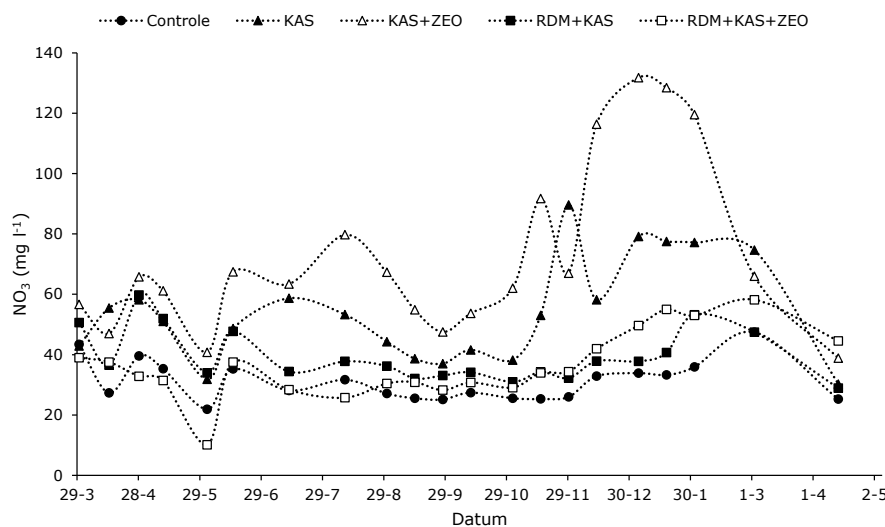


Figuur 19 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf april 2020 tot half april 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 0,55 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

Beltrum seizoen 2020/2021 – diepe cups

Op proefveld Beltrum begon in 2020 de nitraatconcentratie op 1,0 m diepte toe te nemen na 2 juni (Fig. 20). De gemiddelde nitraatconcentratie lag bij de bemeste behandelingen in het groeiseizoen op een relatief constant niveau en daalde licht tot 29 september, nam na 2 november geleidelijk toe tot een piekniveau (tussen 4 januari en 1 februari 2021), en daalde daarna tot aan de meting op 14 april. Na de meting op 3 maart 2021 begon de nitraatconcentratie bij alle behandelingen af te nemen (als gevolg van verdunning). Het einde van de meetperiode voor het uitspoelseizoen werd daarom vastgesteld op 3 maart 2021.

In het groeiseizoen van 2020 (met als meetperiode 2 juni t/m 2 november; $n=9$ tijdstippen) was er een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting op de nitraatconcentratie op 1,0 m diepte ($P < 0,01$). De gemiddelde nitraatconcentratie in deze periode was significant lager bij behandeling RDM+KAS+ZEO (28 mg l^{-1}) vergeleken met behandeling KAS+ZEO (60 mg l^{-1}). De gemiddelde nitraatconcentraties van de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO waren respectievelijk $28, 36, 28, 43,$ en 60 mg l^{-1} .

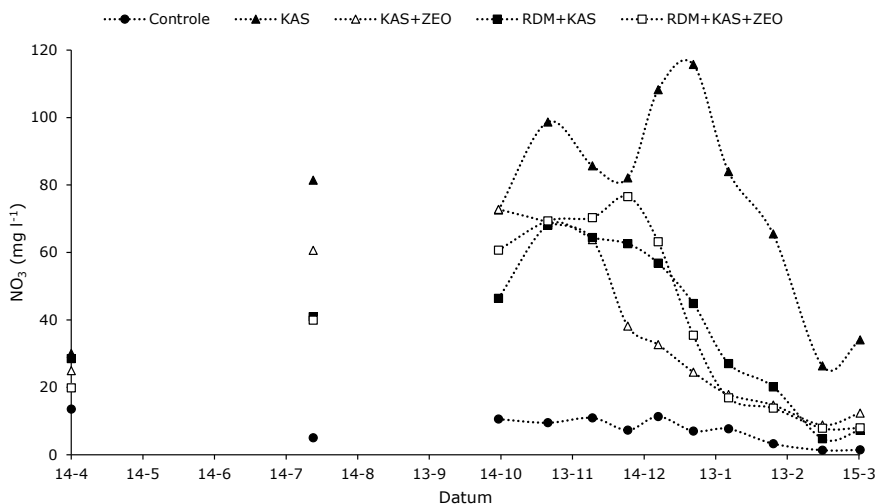


Figuur 20 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf april 2020 en half april 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

In het uitspoelseizoen (met als meetperiode 16 november 2020 t/m 3 maart 2021; n=7 tijdstippen) was er een significant hoofdeffect van zeoliet ($P = 0,01$) en een significant hoofdeffect van type bemesting ($P < 0,001$) op de nitraatconcentratie in poriewater op 1,0 m diepte. De gemiddelde nitraatconcentratie in deze periode was significant hoger bij het strooien van zeoliet (75 mg l^{-1}) vergeleken met niet strooien (57 mg l^{-1}), en significant lager bij bemesting met RDM en KAS (44 mg l^{-1}) vergeleken met bemesting met alleen KAS (88 mg l^{-1}) (Fig. 20). De gemiddelde nitraatconcentraties van de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO waren respectievelijk 34, 41, 47, 73, en 103 mg l^{-1} . Na aftrek van de bijdrage van 40% KAS was bij behandeling RDM+KAS de gemiddelde nitraatconcentratie, op basis van bemesting met alleen RDM, 11 mg l^{-1} , en was de gecorrigeerde nitraatconcentratie bij behandeling KAS 44 mg l^{-1} .

Beltrum seizoen 2021/2022 – ondiepe cups

Op proefveld Beltrum werden in het groeiseizoen van 2021 een beperkt aantal metingen gedaan. Er kon daarom niet bepaald worden vanaf welke meting de uitspoeling van het groeiseizoen startte, maar bij de meting op 26 juli was de uitspoeling al enige tijd gaande, gelet op de verschillen in concentratie tussen behandelingen (Fig. 21). De meetperiode van uitspoelperiode 'groeiseizoen' werd vastgesteld vanaf 26 juli t/m 3 november 2021. In 2021 nam de nitraatconcentratie op 0,55 m diepte toe tot een piek eind november (gemiddeld over de behandelingen) en daarna af tot de laatste meting op 16 maart 2022. Bij behandeling KAS lag de nitraatconcentratie in het hele seizoen duidelijk hoger dan bij de andere behandelingen.



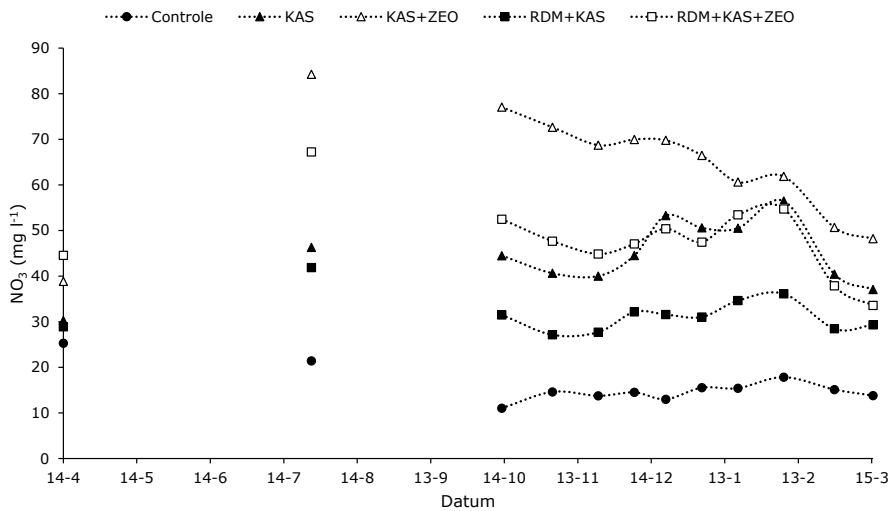
Figuur 21 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf half april 2021 tot half maart 2022, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 0,55 m onder maaiveld (n=4 per meetpunt).

Beltrum seizoen 2021/2022 – diepe cups

Op proefveld Beltrum was in 2021 de nitraatconcentratie op 1,0 m diepte bij het beperkte aantal metingen in het groeiseizoen (vooral 26 juli) hoger dan in het uitspoelseizoen. In het uitspoelseizoen volgde een afname tot een stabiel niveau (vanaf 3 november t/m 7 februari 2022), en daarna een afname tot de laatste meting op 16 maart (Fig. 22). Na de meting op 7 februari 2022 begon de nitraatconcentratie bij alle behandelingen af te nemen (als gevolg van verdunning). Het einde van de meetperiode voor het uitspoelseizoen werd daarom vastgesteld op 7 februari 2022.

In het groeiseizoen (met beschikbare metingen 26 juli, 13 oktober, 3 november; n=3 tijdstippen) was er alleen een neiging tot een significant hoofdeffect van het strooien van zeoliet ($P = 0,08$) op de nitraatconcentratie in poriewater op 1,0 m diepte, met een neiging tot een significant hogere gemiddelde nitraatconcentratie bij het strooien van zeoliet (67 mg l^{-1}) vergeleken met niet strooien (39 mg l^{-1}) (Fig. 22). De gemiddelde nitraatconcentratie bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO was respectievelijk 16, 34, 56, 44, en 78 mg l^{-1} .

In het uitspoelseizoen (met als meetperiode 22 november 2021 t/m 7 februari 2022; n=6 tijdstippen) was er geen significant effect van zeoliet ($P \geq 0,11$), maar wel een neiging tot een significant effect van type bemesting, afhankelijk van meettijdstip ($P = 0,09$) op de gemiddelde nitraatconcentratie op 1,0 m diepte. De nitraatconcentratie neigde op 20 december 2021 significant lager bij bemesting met RDM en KAS (41 mg l^{-1}) vergeleken met bemesting met alleen KAS (62 mg l^{-1}). De gemiddelde nitraatconcentratie was bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO respectievelijk 15, 32, 50, 49, en 66 mg l^{-1} . Na aftrek van de bijdrage van 38% KAS was bij behandeling RDM+KAS de gemiddelde nitraatconcentratie, op basis van bemesting met alleen RDM, 13 mg l^{-1} , en was de gecorrigeerde nitraatconcentratie bij behandeling KAS 30 mg l^{-1} .

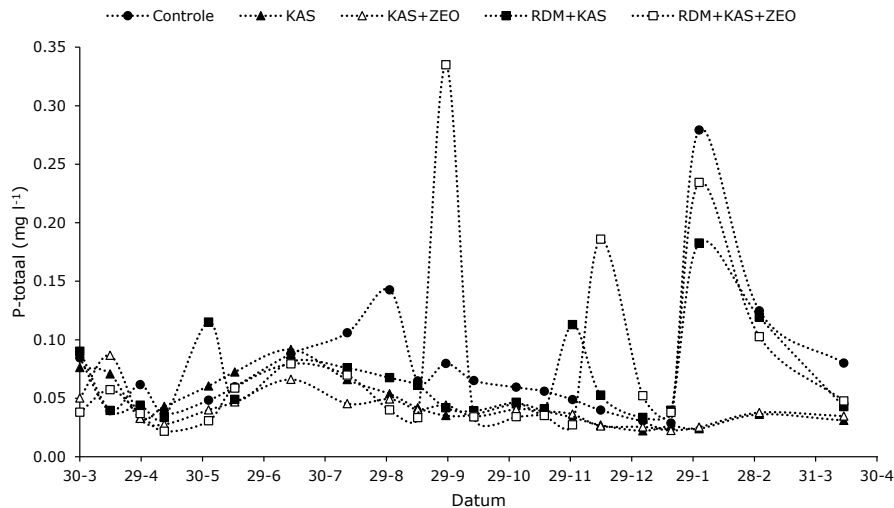


Figuur 22 Verandering van de nitraatconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf half april 2021 tot half maart 2022, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld (n=4 per meetpunt).

3.10.3 Fosfor in poriewater

Beltrum uitspoelseizoen 2020/2021 – diepe cups

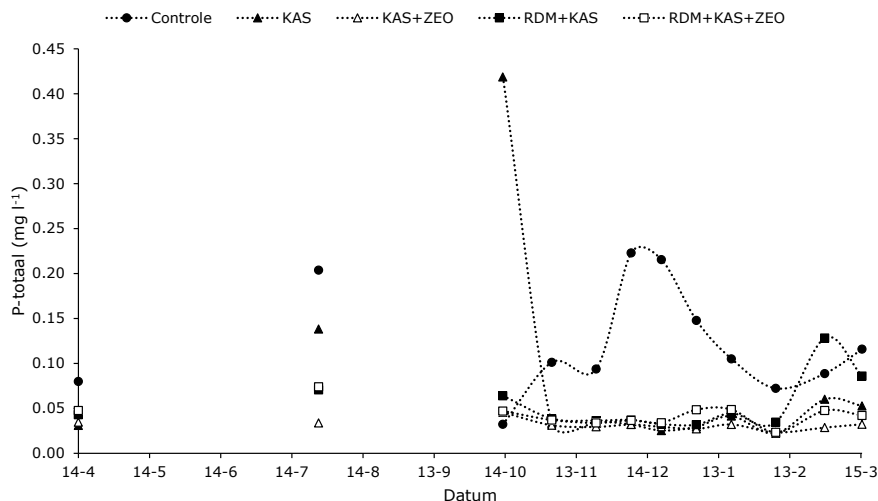
Op proefveld Beltrum was er in het uitspoelseizoen van 2020 (met als meetperiode 16 november 2020 t/m 3 maart 2021; n=7 tijdstippen) geen significant effect van zeoliet ($P \geq 0,37$), maar wel een neiging tot een significant hoofdeffect van type bemesting ($P = 0,09$) op de concentratie P-totaal in poriewater op 1,0 m diepte (Fig. 23). De gemiddelde P-concentratie neigde naar significant hoger bij bemesting met RDM en KAS ($0,08 \text{ mg l}^{-1}$) vergeleken met bemesting met alleen KAS ($0,03 \text{ mg l}^{-1}$). De gemiddelde P-concentraties van de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO waren respectievelijk 0,09, 0,08, 0,10, 0,03, en $0,03 \text{ mg l}^{-1}$. Begin februari 2021 was er een piek in P-concentratie bij de controle en behandelingen RDM+KAS en RDM+KAS+ZEO, maar niet bij behandelingen KAS en KAS+ZEO. De gemiddelde P-concentratie was bij de niet-bemeste controle hoger dan bij bemesting met alleen KAS.



Figuur 23 Verandering van de P-totaalconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf april 2020 tot half april 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

Beltrum uitspoelseizoen 2021/2022 – diepe cups

Op proefveld Beltrum was er in het uitspoelseizoen van 2021 (met als meetperiode 22 november 2021 t/m 7 februari 2022; $n=6$ tijdstippen) geen significant effect van zeoliet ($P \geq 0,59$) maar wel een significant hoofdeffect van type bemesting ($P = 0,01$) op de concentratie P-totaal in poriewater op 1,0 m diepte. De gemiddelde P-concentratie was in deze periode significant hoger bij bemesting met RDM en KAS ($0,04 \text{ mg l}^{-1}$) vergeleken met bemesting met alleen KAS ($0,03 \text{ mg l}^{-1}$) (Fig. 24). De gemiddelde P-concentraties van de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO waren respectievelijk $0,14$, $0,04$, $0,04$, $0,03$, en $0,03 \text{ mg l}^{-1}$. De gemiddelde P-concentratie was bij de niet-bemeste controle aanzienlijk hoger dan bij de bemeste behandelingen. Evenals in 2021 nam in februari 2022 de P-concentratie bij een aantal behandelingen toe, met de grootste toename bij de controle en behandeling RDM+KAS.

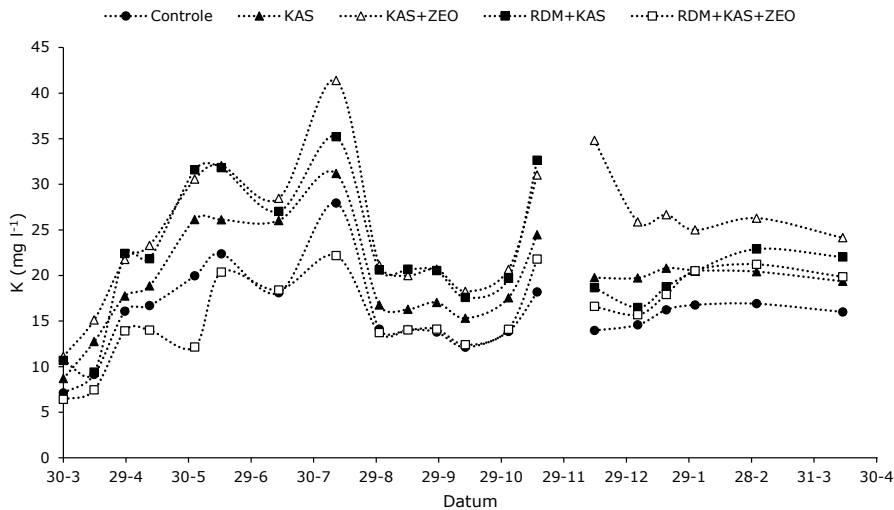


Figuur 24 Verandering van de P-totaalconcentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf half april 2021 tot half maart 2022, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

3.10.1 Kalium in poriewater

Beltrum uitspoelseizoen 2020/2021 – diepe cups

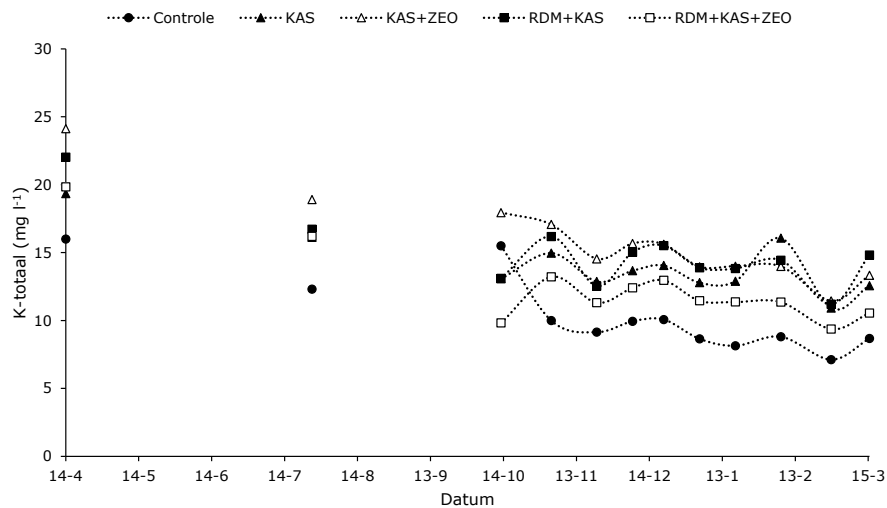
Op proefveld Beltrum was er in het uitspoelseizoen van 2020 (met als meetperiode 16 november 2020 t/m 3 maart 2021; n=7 tijdstippen) geen significant effect van zeoliet ($P \geq 0,26$) maar wel een significant effect van type bemesting, afhankelijk van meettijdstip ($P = 0,05$), op de K-concentratie in poriewater op 1,0 m diepte. De K-concentratie was op 14 december 2020 en 4 januari 2021 significant lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS (Fig. 25). De gemiddelde K-concentratie bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO was respectievelijk 16, 22, 19, 21, en 28 mg K l⁻¹. Rond de bemonstering op 30 november 2020 was er mogelijk een piek in de K-concentratie bij alle behandelingen. De hoogte van deze piek is niet bekend, omdat meetwaarden van dit tijdstip missen.



Figuur 25 Verandering van de K-concentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf april 2020 tot half april 2021, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld (n=4 per meetpunt).

Beltrum uitspoelseizoen 2021/2022 – diepe cups

Op proefveld Beltrum was er in het uitspoelseizoen van 2021 (met als meetperiode 22 november 2021 t/m 7 februari 2022; n=6 tijdstippen) een neiging tot een significante interactie tussen een effect van zeoliet en van type bemesting ($P = 0,06$) op de K-concentratie in poriewater op 1,0 m diepte. De gemiddelde K-concentratie in deze periode neigde significant lager bij behandeling RDM+KAS+ZEO (12 mg l⁻¹) vergeleken met behandeling KAS+ZEO (15 mg l⁻¹) (Fig. 26). De gemiddelde K-concentratie bij de controle en behandelingen RDM+KAS, RDM+KAS+ZEO, KAS, en KAS+ZEO was respectievelijk 9, 14, 12, 14, 15 mg K l⁻¹.



Figuur 26 Verandering van de K-concentratie in poriewater op proefveld Beltrum vanaf half april 2021 tot half maart 2022, bij bemesting met alleen KAS of vervanging van een deel van de KAS door rundveedrijfmest (RDM), en met de bemesting wel of niet gecombineerd met strooien van zeoliet (ZEO), gemeten op 1,0 m onder maaiveld ($n=4$ per meetpunt).

4 Discussie

4.1 Nitraatuitspoeling

Afwijkende resultaten Vredepeel

Op proefveld Vredepeel waren de veranderingen in de nitraatconcentratie in het poriewater atypisch, met op een diepte van 0,55 m onder maaiveld een piek in nitraatconcentratie in de zomer en daarna een dalende trend, en op 1,1 m onder maaiveld een vrijwel continue dalende trend over het jaar. De nitraatconcentraties waren bij de niet-bemeste controle in het uitspoelseizoen lager dan in het groeiseizoen. Het is niet duidelijk waarom op dit proefveld de verandering in nitraatconcentraties zo sterk afweek van een normaal patroon, en waarom de concentraties bijzonder laag waren in het uitspoelseizoen, terwijl na een droog groeiseizoen veel hogere concentraties verwacht worden (zie resultaten Beltrum; Van Duijnen et al., 2022). Mogelijk was er dieper in de bodem sprake van een hoge denitrificatie, en/of was er in het uitspoelseizoen een (verdundend) effect van laterale stroming. Ongeacht de oorzaken is het waarschijnlijk dat de verschillen tussen behandelingen hierdoor zijn beïnvloed. Bij behandeling RDM+KAS waren de nitraatconcentraties erg laag, regelmatig lager dan bij de niet-bemeste controle, en bij enkele herhalingen van deze behandeling werden regelmatig concentraties van vrijwel 0 gemeten. Omdat de gemeten waarden niet negatief konden worden, leidde de voortgaande afname van de concentratie bij de andere behandelingen waarschijnlijk tot een onderschatting van de verschillen tussen deze behandelingen en behandeling RDM+KAS. Vanwege de atypische lage nitraatconcentraties en het atypische patroon van verandering van concentraties over het groei- en uitspoelseizoen waren de resultaten van proefveld Vredepeel niet representatief en niet bruikbaar om verschillen tussen behandelingen nauwkeurig vast te stellen. In tegenstelling tot proefveld Vredepeel waren de veranderingen in nitraatconcentratie op proefveld Beltrum wel representatief, met in het najaar een piek in nitraatconcentratie in uitspoelend water en aan het einde van de winter een afname van nitraatconcentratie als gevolg van het aflopen van de nitraatuitspoeling en een toenemende verdunning met regenwater. Op proefveld Beltrum was het eerste groeiseizoen erg droog, maar had het tweede groeiseizoen een goede vochttoevoer, waardoor de twee groeiseizoenen twee uitersten in groeiomstandigheden vertegenwoordigen en een solide vergelijkingsbasis vormden voor de behandelingen. Gezien het gebrek aan representativiteit worden de resultaten van proefveld Vredepeel niet verder besproken en worden de conclusies alleen gebaseerd op de resultaten van proefveld Beltrum.

Effect van zeoliet

In tegenstelling tot de hypothese gaf het strooien van zeoliet geen lagere maar een hogere nitraatuitspoeling. Hoewel het effect tegenovergesteld was aan de verwachting, bleken de gestrooide hoeveelheden wel groot genoeg om een effect te hebben. De verhoogde nitraatuitspoeling ging in 2021 samen met een licht lagere N-opname door het gras. Blijkbaar werd er door het strooien van zeoliet wel N aan de plantbeschikbare hoeveelheid onttrokken, maar spoelde er ook meer plantbeschikbare N uit. Deze resultaten lijken tegenstrijdig, en voor de werking van het gestrooide zeoliet kon geen passende verklaring worden gevonden. De verhoogde uitspoeling duidt erop dat er een wezenlijk andere interactie is tussen N-bemesting en zeoliet bij bovengronds strooien vergeleken met door de grond mengen. Bij mengen met grond zijn wel positieve effecten gevonden. Aghaalikhani et al. (2012) constateerden bijvoorbeeld bij de teelt van koolzaad (*Brassica napus* L.) een hogere N-benutting en lagere nitraatuitspoeling na het mengen van zeoliet met de bouwvoor, met de grootste reductie van uitspoeling (-37%) bij een toediening van 9 ton zeoliet ha⁻¹. Akbari et al. (2021) vonden bij eenmalig mengen van 8 ton ha⁻¹ zeoliet met de bovenste 15 cm van de bouwvoor een positief effect op de N-benutting dat meerdere jaren aanhield. De keuze om in het huidige onderzoek zeoliet te strooien was gebaseerd op eerdere positieve meetresultaten van het pilotexperiment (Van Mullekom et al., 2019) en ook op het praktische en betaalbare karakter van deze toedieningswijze voor blijvend rasland. Nu deze maatregel niet het verwachte effect blijkt te hebben, is een volgende logische stap om te onderzoeken of het mengen van zeoliet door de bouwvoor, bij de (her)inzaai van grasland, wel positieve effecten heeft.

Effecten van rundveedrijfmest

Vervanging van 60% van de KAS-gift door een vergelijkbare hoeveelheid plantopneembare N uit RDM gaf in Beltrum in beide proefjaren duidelijk lagere nitraatconcentraties in het poriewater en bovenste grondwater, zowel in het uitspoelseizoen als in het groeiseizoen. De verschillen waren, als hoofdeffect van type bemesting, significant in het eerste uitspoelseizoen, na een droog groeiseizoen, maar niet in het tweede uitspoelseizoen, na een 'nat' groeiseizoen. In het tweede uitspoelseizoen waren de verschillen in nitraatconcentraties kleiner dan in het eerste seizoen, waardoor vanwege de grote achtergrondvariatie van de poriewatermetingen verschillen niet significant aangetoond konden worden. De LSD voor paarsgewijze vergelijking van de gemiddelde nitraatconcentraties van de vier behandelingen was voor beide uitspoelseizoenen 41 mg l^{-1} . De variatiecoëfficiënt (VC) van de nitraatconcentratie was in het eerste uitspoelseizoen bij behandeling RDM+KAS (29%) lager dan bij behandeling KAS (53%), en in het tweede uitspoelseizoen opnieuw lager bij behandeling RDM+KAS (34%) vergeleken met behandeling KAS (48%). De VC lag bij behandeling RDM+KAS dus in een kleinere bandbreedte dan bij behandeling KAS, en is voor alleen RDM nog weer lager dan voor alleen KAS. Wat verder opvalt is dat in het tweede uitspoelseizoen het verschil in gemiddelde nitraatconcentratie tussen behandeling RDM+KAS en alleen KAS (17 mg l^{-1}) gelijk was aan het verschil tussen RDM+KAS+ZEO en KAS+ZEO (17 mg l^{-1}), wat eenzelfde kwantitatieve bijdrage van RDM suggereert. Overigens was in het eerste uitspoelseizoen het verschil tussen RDM+KAS+ZEO en KAS+ZEO groter dan tussen RDM+KAS en KAS. De voor KAS gecorrigeerde gemiddelde nitraatconcentratie bij behandeling RDM+KAS lag in het tweede uitspoelseizoen (13 mg l^{-1}) dicht bij het niveau van het eerste uitspoelseizoen (11 mg l^{-1}), wat een stabiel effect van RDM op de nitraatuitspoeling suggereert. Daartegenover was bij behandeling KAS de nitraatconcentratie in het tweede uitspoelseizoen (49 mg l^{-1}) duidelijk lager dan in het eerste (73 mg l^{-1}). Gelet op bovenstaande observaties wordt geconcludeerd dat de resultaten in het tweede uitspoelseizoen in overeenstemming waren met het eerste uitspoelseizoen.

Bij bemesting met RDM en KAS werd 40% van de plantopneembare N als KAS gegeven. Om een meer zuivere vergelijking van nitraatuitspoeling uit RDM en KAS te maken, werden de nitraatconcentraties bij behandeling RDM+KAS voor het KAS-deel gecorrigeerd. Hierbij is aangenomen dat het percentage nitraatuitspoeling van KAS bij de gecombineerde bemesting vergelijkbaar was met uitspoeling bij bemesting met alleen KAS. Uit de verschillen in bovengrondse jaarlijkse N-opname van het gras kan namelijk afgeleid worden dat de N-beschikbaarheid in de bodem bij behandeling RDM+KAS en behandeling KAS op jaarbasis niet (betekenisvol) verschilde, met een 4% hogere N-opname in 2020 en een 5% lagere N-opname in 2021 bij behandeling KAS vergeleken met behandeling RDM+KAS (paragraaf 3.5). In 2020 was de gecorrigeerde nitraatconcentratie op basis van bemesting met alleen RDM lager dan bij de niet-bemeste controle. Om eenzelfde vergelijkingsbasis te hebben voor bemesting met alleen RDM en de controle, werd daarbij een iets andere correctiemethode toegepast. De nitraatconcentratie van behandeling RDM+KAS, na aftrek van 40% bijdrage van KAS, werd gedeeld door de resterende relatieve toediening van plantopneembare N ten opzichte van behandeling KAS (60%) en was dan $(11 / 0,60) = 19 \text{ mg l}^{-1}$, vergeleken met 34 mg l^{-1} bij de niet-bemeste controle. De lagere nitraatconcentratie bij bemesting op basis van alleen RDM kan erop wijzen dat in dat jaar de beschikbare N door het gewas beter benut kon worden als gevolg van bemesting met RDM. In 2021 was dit niet het geval, maar was het verschil in nitraatconcentratie tussen de niet-bemeste controle (15 mg l^{-1}) en de nitraatconcentratie op basis van bemesting met alleen RDM ($13 / (1,00-0,38) = 21 \text{ mg l}^{-1}$) relatief klein, als het verschil in hoeveelheid N-bemesting, grasopbrengst, en N-opname door het gewas wordt meegewogen.

Achtergrond van lagere nitraatuitspoeling uit rundveedrijfmest

De lagere nitraatuitspoeling uit RDM wordt verklaard vanuit de andere samenstelling van N in RDM vergeleken met N in KAS. Een uitgebreide onderbouwing werd eerder gegeven door De Boer (2017), hier volgt een verkorte versie. Bij RDM is de helft van de N in minerale vorm aanwezig, maar bij KAS is alle N mineraal. De 50% minerale N van RDM is voor 100% aanwezig als ammonium, en de 100% minerale N van KAS voor 50% als ammonium en 50% als nitraat. Omdat nitraat veel makkelijker uitspoelt dan ammonium, spoelt van de minerale N in RDM al minder uit dan van de minerale N in KAS. De grootste bijdrage aan de lagere uitspoeling uit RDM wordt waarschijnlijk geleverd door de andere helft van de N, die aanwezig is in organische vorm. Deze N mineraliseert langzaam en gedraagt zich als een slow-release meststof. Zolang de N nog in organische vorm is, kan deze niet uitspoelen als nitraat, en wanneer deze in minerale vorm beschikbaar komt, is dat in eerste instantie

als ammonium, en in hoeveelheden die kleiner zijn dan wat het gras op korte termijn kan opnemen. Doordat het grasland een constante 'sink' is voor deze ammonium, zal er weinig nitraat in de bodem ophopen. Hierdoor is de nitraatconcentratie in de bodem lager bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, en spoelt er minder nitraat uit.

Nitraatuitspoeling in het groeiseizoen

Uit metingen in het groeiseizoen blijkt dat bemesting al relatief vroeg in het groeiseizoen effect had op de nitraatconcentratie op 0,55 en 1,0 m diepte (Fig. 19 t/m 22). Op proefveld Beltrum begonnen nitraatconcentraties in 2020 toe te nemen in juni, en in 2021 waren er duidelijk verhoogde concentraties bij de meting in juli. De effecten zijn zowel waarneembaar bij bemesting met alleen KAS als bij bemesting met RDM en KAS. Verhoogde concentraties betekent niet meteen dat er grote hoeveelheden naar 1 m diepte zijn uitgespoeld. Uitspoeling in het groeiseizoen omvat ook uitspoeling naar diepere bodemlagen, onder de bewortelde zone, waardoor deze N moeilijker of niet meer door het gewas kan worden opgenomen. Deze N is effectief al 'uitgespoeld', maar komt pas in het grondwater als in de herfst en winter het neerwaartse waterfront passeert, en/of het grondwater stijgt.

4.2 Fosfor- en kaliumuitspoeling

In het eerste uitspoelseizoen was de fosforuitspoeling bij behandeling RDM+KAS bijna drie keer zo hoog als bij behandeling KAS, zij het op een erg laag niveau. De gemiddelde P-concentratie bij behandeling RDM+KAS ($0,08 \text{ mg P l}^{-1}$) lag ver onder de drempelwaarde van $2,0 \text{ mg l}^{-1}$ voor zoet grondwater in de zand- en lössregio, en lag ook onder de gemiddelde P-concentratie in uitspoelend water van de LMM-bedrijven in de zandregio in 2020 (bij 230 kg N uit dierlijke mest) (Van Duijnen et al., 2022). De hogere P-uitspoeling in het eerste uitspoelseizoen kan niet verklaard worden uit een relatief hogere P-bemesting: de P-gift was 3% lager en de bovengrondse N-opname was 4% lager bij behandeling RDM+KAS vergeleken met alleen KAS. Op basis hiervan zou de P-uitspoeling vergelijkbaar moeten zijn. Een hogere P-uitspoeling bij RDM kan veroorzaakt worden doordat onder bepaalde omstandigheden organische P uit RDM makkelijker kan uitspoelen dan minerale P uit kunstmest, ook omdat uitspoelende organische C (DOC) uit RDM met organische P concurreert om bindingsplaatsen aan het bodemcomplex (McDowell et al., 2021; Glæsner et al., 2011; Kang et al., 2011). De RDM die in het voorliggende onderzoek werd toegediend had een hogere DOC in het eerste jaar vergeleken met het tweede jaar (Tabel 2), wat bijgedragen kan hebben aan de hogere P-uitspoeling in het eerste jaar. In het tweede uitspoelseizoen kon de hogere P-concentratie bij behandeling RDM+KAS (+16%) wel grotendeels verklaard worden uit een hogere P-bemesting (+14%), bij een 5% hogere N-opname. Door zodebemesten wordt de P uit RDM in strookjes geplaatst, waardoor de plaatselijke P-concentratie hoger is dan bij het volvelds strooien van P met kunstmest. Het is niet waarschijnlijk dat dit een oorzaak is geweest voor de hogere P-uitspoeling in het eerste uitspoelseizoen; Glæsner et al. (2011) constateerden voor zandgrond geen effect van mestinjectie op de P-uitspoeling, en in het voorliggende onderzoek trad een dergelijk effect in het tweede uitspoelseizoen niet op. Waarschijnlijk heeft in het eerste uitspoelseizoen vooral de droogte in het groeiseizoen bijgedragen aan de hogere P-uitspoeling van organische P.

Bij de niet-bemeste controle was in het eerste uitspoelseizoen de gemiddelde P-concentratie ($0,09 \text{ mg l}^{-1}$) hoger dan bij bemesting met alleen KAS ($0,03 \text{ mg l}^{-1}$), en in het tweede uitspoelseizoen ($0,14 \text{ mg l}^{-1}$) hoger dan bij alle bemeste behandelingen ($0,03\text{-}0,04 \text{ mg l}^{-1}$). Het achterwege laten van N-bemesting leidde daarmee tot een grotere P-uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater.

Het achterwege laten van de 88 kg ha^{-1} K-bemesting voor de vierde snede van 2020, bij bemesting met alleen KAS (paragraaf 2.3), had bij de behandeling met zeoliet geen positieve effecten op de nitraatuitspoeling (vanwege mogelijk minder concurrentie om adsorptiesites van zeoliet tussen K^+ en NH_4^+) of op de K-uitspoeling. De K-opname in de vierde en vijfde snede werd door het weglaten van de K-gift niet beïnvloed (Fig. 13); de aanwezige kleine verschillen in K-opname kunnen worden verklaard uit verschillen in N-opname, gelet op de sterke interactie tussen de N- en K-opname (paragraaf 3.8). De K-uitspoeling was in het eerste uitspoelseizoen eerder lager dan hoger bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met bemesting met alleen KAS, hoewel er in totaal meer K werd bemest bij bemesting met RDM en KAS vergeleken met alleen KAS (Bijlage 1). In het tweede uitspoelseizoen was de K-concentratie in poriewater alleen lager bij behandeling RDM+KAS+ZEO

vergeleken met behandeling KAS+ZEO. Evenals bij het verschil in P-concentratie kan dit verschil in K-concentratie (-19%) grotendeels verklaard worden door een verschil in K-bemesting (-15%). Echter, zonder het strooien van zeoliet was er geen verschil in K-uitspoeling tussen behandeling RDM+KAS en behandeling KAS, hoewel er bij behandeling KAS 68 kg K ha⁻¹ extra werd bemest. De jaaropname K was bij behandeling RDM+KAS slechts 7 kg lager vergeleken met behandeling KAS, en het verschil van 61 kg werd daarmee waarschijnlijk toegevoegd aan de bodemvoorraad. Evenals bij de P-uitspoeling is er geen aanwijzing dat het in strookjes concentreren van de K uit RDM leidt tot meer K-uitspoeling, vergeleken met volvelds strooien van kunstmest-K.

4.3 Grasopbrengst en stikstofopname

Strooien van zeoliet

Strooien van zeoliet had alleen op proefveld Beltrum enkele significante effecten op de grasopbrengst, met een positief effect in de eerste snede van 2020 bij bemesting met KAS, een positief effect in de tweede snede bij bemesting met RDM en KAS, en een negatief hoofdeffect over alle sneden in 2021. De significante verschillen in de eerste twee sneden van 2020 in Beltrum zijn niet terug te vinden in de bovengrondse N-opname, en blijkbaar niet het gevolg van een effect van zeoliet op de N-opname door het gras. In 2021 was het negatieve hoofdeffect van zeoliet op de grasopbrengst van alle sneden (-2%) terug te vinden in een negatief effect van zeoliet op de N-jaaropname bij bemesting met RDM en KAS (-6%), maar niet bij bemesting met alleen KAS (+2%). Het is niet duidelijk waarom er in 2020 enkele tijdelijke positieve effecten van zeoliet waren, en in 2021 een structureel (beperkt) negatief effect. Omdat het negatieve effect in 2021 werd gemeten na twee keer zeoliet strooien, kan dit effect als het meest representatief gezien worden. De positieve effecten van zeoliet op de grasopbrengst in 2020 kunnen niet worden verklaard door positieve effecten van een groter watervasthoudend vermogen van zeoliet. Daarvoor was de gegeven hoeveelheid te klein.

Lagere stikstofgebruiksefficiëntie bij rundveedrijfmest

Bij bemesting met RDM werd uit de opgenomen N minder gras geproduceerd dan bij bemesting met KAS, ofwel RDM had een lagere N-gebruiksefficiëntie (Tabel 10, 11). Op proefveld Beltrum was in groeiseizoen 2021 de N-gebruiksefficiëntie bij bemesting met alleen RDM (34 kg N kg⁻¹ DS) duidelijk lager dan bij bemesting van alleen KAS (42 kg N kg⁻¹ DS) (-19%). Een reden hiervoor is dat bij bemesting met KAS alle (minerale) N direct beschikbaar was voor opname door het gras, waardoor de groeirespons maximaal kon zijn. Bij bemesting met RDM kwam een deel van de N langzaam vrij tijdens de groei van een snede, waardoor ook een deel van de grasgroei later gerealiseerd werd. Een andere reden is dat het geogste oppervlak deels werd bereiden bij bemesting met RDM, maar niet bij bemesting met KAS. Ook hierdoor kan, als gevolg van meer bodemverdichting en schade aan het gras, de grasgroei bij bemesting met RDM zijn achtergebleven vergeleken met KAS. Als gevolg van de lagere grasproductie was bij een gelijke N-opname wel het N-gehalte (~eiwitgehalte) van het gras hoger bij bemesting met RDM vergeleken met KAS. Naast een lagere N-gebruiksefficiëntie had RDM ook een lagere schijnbare N-benutting, die voor een groot deel veroorzaakt werd doordat een deel van de gegeven N in organische vorm aan de bodemvoorraad werd toegevoegd, en in latere jaren ter beschikking van het gewas kan komen. Een beoordeling van de schijnbare N-benutting wordt hier niet gegeven, omdat dit alleen zinvol is als ook de veranderingen in bodemvoorraden worden meegenomen.

Ammoniakvervluchtiging uit rundveedrijfmest

Bij de bemesting met RDM heeft de hoeveelheid ammoniakvervluchtiging tijdens en na het mest uitrijden een duidelijk effect gehad op de opbrengst en N-benutting van het gras. Het uitrijbeeld van de RDM week duidelijk af op proefveld Vredepeel vergeleken met proefveld Beltrum, met op proefveld Vredepeel een slordig uitrijbeeld, met kronkelige meststrookjes, meer mest buiten de sleuven, een groter besmeurd oppervlak, en daardoor een hogere ammoniakemissie. De oorzaak van het verschil in uitrijbeeld was grotendeels te herleiden naar de gebruikte machines. Op proefveld Vredepeel was de zodebemester uitgerust met bolle schijven, waardoor een minder goede snede gemaakt werd en niet alle uitgereden mest ook in de sleuven paste. Op proefveld Beltrum had de zodebemester dubbele snijdende schijven, waarmee de zode voldoende werd ingesneden en de giften goed in de sleuven pasten. Naast de vorm van de schijven kan ook een verschil in

mestverdelingstechniek een rol hebben gespeeld. De duidelijk lagere schijnbare N-benutting en N-gebruiksefficiëntie (Tabel 9,11) van RDM toegediend in Vredepeel vergeleken met RDM toegediend in Beltrum, vooral in de eerste snede, wordt vooral verklaard vanuit een hogere ammoniakemissie als gevolg van een groter emitterend mestoppervlak, en demonstreert dat precieze zodebemesting een positief effect op de N-benutting van de mest kan hebben.

Botanische samenstelling

Acht keer zodebemesten, vier keer in een droog jaar en vier keer in een 'nat' jaar, had in Beltrum geen negatief effect op het aandeel Engels raaigras en de overige botanische samenstelling van de graszode. Het verschil in aandeel Engels raaigras aan het einde van de proefperiode tussen behandeling RDM+KAS en behandeling KAS kan niet verklaard worden uit schade door zodebemesting, omdat er tevens geen verschil was tussen behandelingen KAS+ZEO en RDM+KAS, en ook niet tussen behandelingen KAS en RDM+KAS+ZEO.

Conclusies

- Regelmatig meten van de nitraatconcentratie in uitspoelend water tijdens het groei- en uitspoelseizoen heeft een duidelijk toegevoegde waarde vergeleken met eenmalig meten in het voorjaar;
- Op proefveld Vredepeel waren de nitraatconcentraties in het diepe poriewater en in het grondwater ongebruikbaar laag, en week het patroon van verandering van nitraatconcentraties over het groei- en uitspoelseizoen sterk af van een normaal patroon. Vanwege dit gebrek aan representativiteit zijn voor de conclusies alleen de resultaten van proefveld Beltrum gebruikt;
- In tegenstelling tot de hypothese gaf het strooien van zeoliet geen lagere maar een hogere nitraatuitspoeling, gemeten aan de nitraatconcentratie in poriewater op 1,0 m diepte:
 - In het eerste uitspoelseizoen (2020/2021) was de gemiddelde nitraatconcentratie bij wel of niet strooien van zeoliet respectievelijk 75 en 57 mg l⁻¹ (P = 0,01);
 - In het tweede uitspoelseizoen (2021/2022) was de gemiddelde nitraatconcentratie bij wel of niet strooien van zeoliet respectievelijk 67 en 39 mg l⁻¹ (P ≥ 0,21);
- Strooien van zeoliet had in beide uitspoelseizoenen geen effect op de P- en K-uitspoeling, gemeten aan de concentraties P-totaal en K-totaal in poriewater op 1,0 m diepte;
- Strooien van zeoliet had in het groeiseizoen van 2020 bij enkele sneden effecten op de grasopbrengst, maar niet op de N-opname. In 2021 was de grasopbrengst als gevolg van strooien van zeoliet licht lager (-2%) over de sneden, en was de N-opname lager (-6%) bij behandeling RDM+KAS+ZEO vergeleken met RDM+KAS;
- In overeenstemming met de hypothese gaf vervanging van 60% van kunstmest KAS door een vergelijkbare hoeveelheid plantopneembare N uit RDM een lagere nitraatuitspoeling, gemeten aan de nitraatconcentratie in poriewater op 1,0 m diepte:
 - In het eerste uitspoelseizoen was de gemiddelde nitraatconcentratie bij bemesting met RDM en KAS (44 mg l⁻¹) lager dan bij bemesting met KAS (88 mg l⁻¹) (P < 0,001), en was deze bij behandelingen RDM+KAS en KAS respectievelijk 41 en 73 mg l⁻¹ (P = 0,94);
 - In het tweede uitspoelseizoen was de gemiddelde nitraatconcentratie bij bemesting met RDM en KAS (41 mg l⁻¹) lager dan bij bemesting met KAS (58 mg l⁻¹) (P = 0,15), en was deze bij behandelingen RDM+KAS en KAS respectievelijk 32 en 49 mg l⁻¹ (P = 0,69);
- Na aftrek van de bijdrage van 40% KAS was bij behandeling RDM+KAS de nitraatconcentratie, gebaseerd op bemesting met alleen RDM, in het eerste en tweede groeiseizoen respectievelijk 11 en 13 mg l⁻¹, en na dezelfde aftrek bij behandeling KAS was de nitraatconcentratie respectievelijk 44 en 30 mg l⁻¹. Daarmee was op basis van bemesting met alleen RDM de nitraatuitspoeling in het eerste en tweede groeiseizoen respectievelijk 74% en 57% lager vergeleken met bemesting met alleen KAS;
- In het groeiseizoen namen de nitraatconcentraties op 1,0 m diepte toe en ontstonden verschillen tussen behandelingen, wat aangeeft dat ook in het groeiseizoen er nitraat naar grotere diepte uitspoelde;
- Vervanging van 60% KAS door RDM, en van P uit kunstmest door P uit RDM, gaf in beide uitspoelseizoenen een hogere P-uitspoeling, gemeten aan de concentratie P-totaal op 1,0 m diepte, hoewel op een erg laag niveau:
 - In het eerste uitspoelseizoen was de gemiddelde P-concentratie bij bemesting met RDM en KAS of alleen kunstmest respectievelijk 0,08 en 0,03 mg l⁻¹ (P = 0,09);

-
- In het tweede uitspoelseizoen was de gemiddelde P-concentratie bij bemesting met RDM en KAS of alleen kunstmest respectievelijk 0,04 en 0,03 mg P l⁻¹ (P = 0,01). In het tweede uitspoelseizoen werd de hogere P-concentratie (+16%) bij bemesting met RDM en KAS, vergeleken met alleen kunstmest, verklaard door een hogere P-bemesting (+14%) bij bemesting met RDM en KAS;
 - Bij de niet-bemeste controle was in het eerste uitspoelseizoen de gemiddelde P-concentratie (0,09 mg l⁻¹) hoger dan bij bemesting met alleen KAS (0,03 mg l⁻¹), en in het tweede uitspoelseizoen (0,14 mg l⁻¹) hoger dan bij alle bemeste behandelingen (0,03-0,04 mg l⁻¹). Het achterwege laten van N-bemesting leidde daarmee tot een grotere P-uitspoeling;
 - Vervanging van 60% van de KAS door RDM, en van K uit kunstmest door K uit RDM, had in beide uitspoelseizoenen enkele kleinere effecten op de K-uitspoeling, gemeten aan de K-concentratie in poriewater op 1,0 m diepte:
 - In het eerste uitspoelseizoen was de K-concentratie op twee van de zeven meettijdstippen lager bij bemesting met RDM en KAS (gem. 17 mg l⁻¹) vergeleken met bemesting met alleen kunstmest (gem. 25 mg l⁻¹) (P = 0,05);
 - In het tweede uitspoelseizoen was de K-concentratie lager bij behandeling RDM+KAS+ZEO (12 mg l⁻¹) vergeleken met behandeling KAS+ZEO (15 mg l⁻¹) (P = 0,06). Deze lagere K-concentratie (-19%) kan grotendeels worden verklaard door een lagere K-bemesting (-15%);
 - Vervanging van 60% KAS door RDM gaf een lagere grasopbrengst en hoger N-gehalte in het gras, door het trager ter beschikking komen van de N uit RDM en meer berijdingsschade bij zodebemesten;
 - Regelmatige zodebemesting en snijden in de graszode had geen negatief effect op het aandeel Engels raaigras en de overige botanische samenstelling van de graszode;
 - Vervanging van 60% van de KAS en 100% van P- en K-kunstmest met RDM gaf een lagere grasopbrengst, maar had geen negatieve neveneffecten van betekenis op de P- en K-uitspoeling of op de botanische samenstelling;
 - Vervanging van 60% van kunstmest KAS door een vergelijkbare hoeveelheid plantopneembare N met RDM gaf een aanzienlijk lagere nitraatuitspoeling na zowel een droog als 'nat' groeiseizoen, met het grootste effect na het droge seizoen.

Betekenis voor de praktijk

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat rundveedrijfmest, toegepast volgens goede landbouwpraktijk, op grasland op uitspoelingsgevoelige zandgrond een duidelijk lagere nitraatuitspoeling heeft dan kunstmest KAS, met een nitraatconcentratie in uitspoelend water van minder dan de helft van KAS. Deze lage nitraatuitspoeling werd behaald bij een drijfmestgift die aanzienlijk hoger was dan melkveehouders op hun grasland mogen toedienen, en die twee keer zo hoog was als de EU-norm van $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$. Duidelijk is dat met de toegediende hoeveelheden drijfmest een goede grasproductie gehaald kan worden, terwijl daarnaast ook de uitspoeling van nitraat en fosfor naar de omgeving laag gehouden kan worden.

Toedienen van drijfmest volgens goede landbouwpraktijk betekent de drijfmest niet te vroeg of te laat uitrijden. In het voorliggende onderzoek werd de drijfmest pas uitgereden als de bodem voldoende was opgedroogd en opgewarmd; op de laaggelegen proefvelden was dit in de tweede helft van maart. De laatste mestgift werd gegeven eind juli. Dit tijdstip werd gekozen uit voorzichtigheid, om er zeker van te zijn dat de organische stof en organische N uit de mest in de bodem voldoende tijd hadden om te stabiliseren, en dat de daarbij vrijkomende N door het gras kon worden opgenomen. Een te late gift kan ertoe leiden dat er meer nitraat uit drijfmest uitspoelt. Het is echter niet duidelijk waar het omslagpunt ligt en of dit een uitspoeling van betekenis is. Om dit duidelijk te krijgen is verder veldonderzoek noodzakelijk.

Goede landbouwpraktijk betekent ook dat bij zodebemesten de drijfmest voldoende precies wordt uitgereden en daardoor het stikstofverlies door ammoniakemissie beperkt blijft. In het uitgevoerde onderzoek bleek de gebruikte zodebemester een belangrijk effect te hebben op de manier waarop de mest op het grasland kwam. De machine met snijdende dubbele schijven gaf een duidelijk betere toediening dan de machine met bolle schijven. Mogelijk heeft ook een verschil in mestverdelingstechniek een rol gespeeld. In het voorliggende onderzoek kon met de zodebemester met dubbele snijdende schijven, en een rijsnelheid van 4 km uur^{-1} , voor de eerste snede 30 ton ha^{-1} en voor latere sneden 20 ton ha^{-1} , precies worden toegediend.

Bij relatief hoge drijfmestgiften, zoals in dit onderzoek, is het niet alleen belangrijk om voldoende aandacht te besteden aan het beperken van de ammoniakemissie, maar ook aan het in balans houden van de N/P-verhouding van de bemesting. Wanneer relatief veel drijfmest wordt bemest, kan er in droge jaren een P-overschot in de bodem ontstaan, omdat niet alle bemeste P wordt opgenomen (dit onderzoek). In natte en groeizame jaren kan dit overschot (deels) weer worden opgenomen (dit onderzoek). Als er structureel meer P wordt bemest dan wordt opgenomen, zal op termijn de P-bodemvoorraad toenemen en kan mogelijk ook de P-uitspoeling toenemen. Ophoping van P in de bodem kan voorkomen worden door bijvoorbeeld het P-gehalte van de drijfmest te verlagen en/of door een drijfmestgift aan te vullen met voldoende enkelvoudige N-meststof. In het huidige onderzoek was het niveau van P-uitspoeling erg laag ($< 5\%$ van de algemene KRW-norm voor zoet grondwater), maar na het droge groeiseizoen van 2020 wat hoger bij bemesting met de hoge drijfmestgift vergeleken met de bemesting met alleen kunstmest.

De veelgebruikte kunstmest KAS blijkt op droogtegevoelige zandgrond ook op grasland behoorlijk uitspoelingsgevoelig, en, afgaande op de verhoogde nitraatconcentraties in het groeiseizoen, werd een deel van de uitspoeling al in het groeiseizoen gerealiseerd. Het betreft dan niet meteen uitspoeling van een grote hoeveelheid direct naar het grondwater, maar vooral ook uitspoeling naar een diepere bodemlaag, buiten het bereik van de graswortels. In de winter spoelt deze nitraat dan definitief uit naar grond- en oppervlaktewater.

Onze resultaten geven aan dat er op droogtegevoelige zandgrond verstandig met nitraathoudende kunstmest omgegaan dient te worden, niet alleen op bouwland maar ook op grasland. Bij bemesting van de eerste snede van grasland met drijfmest en kunstmest is het niet verstandig om KAS al in de

eerste helft van maart te geven, maar is het beter te wachten tot eind maart, en mogelijk zelfs tot begin april. Bij gebruik van een minder uitspoelingsgevoelige voorjaarsmeststof kan er wel eerder bemest worden. Na de eerste snede is het wenselijk om bij verwachte of aanhoudende droogte de aanvullende kunstmestgift te korten, en voor de laatste snede kan de kunstmestgift beperkt blijven of overgeslagen worden, wanneer er voldoende nalevering is uit de laatste drijfmestgift en de bodemvoorraad.

Het strooien van zeoliet bracht niet de verwachte grote reductie van nitraatuitspoeling, een verwachting die mede was gewekt op basis van het pilotexperiment. In tegenstelling tot die resultaten nam de nitraatuitspoeling toe, en het is dus af te raden om zeoliet bovengronds op grasland te strooien. De vraag blijft openstaan of de nitraatuitspoeling mogelijk wel verlaagd kan worden door zeoliet bij de (her)inzaai van gras door de bouwvoor te mengen.

Dankwoord

Wij danken de VOF Lenkens-Thomassen (Vredepeel) en Mts. te Fruchte (Beltrum) hartelijk voor het ter beschikking stellen van de proefvelden, het uitvoeren van beregening, en overige ondersteuning bij het uitvoeren van het onderzoek; de medewerkers van proefbedrijf Vredepeel (WPR) en Unifarm (WPR) voor het uitvoeren van proefveldwerkzaamheden; de loonwerkers voor het nemen van de tijd om de veldjes netjes te bemesten; de veldmedewerkers van B-WARE voor het installeren en verwijderen van de keramische cups; Daan van Pul (B-WARE) voor het verzamelen van een groot deel van de poriewatermonsters; de labmedewerkers van B-WARE voor het uitvoeren van de gewas- en poriewateranalyses; Jos van der Aast voor het leveren van de gebruikte zeoliet; en Nyncke Hoekstra (LBI) voor het reviewen van een conceptversie van dit rapport. Het onderzoek in dit rapport werd gefinancierd door Stichting Mesdag Zuivelfonds, Projecten LTO Noord, PPS Ruwvoer en Bodem, Provincie Limburg, en NV Waterleiding Maatschappij Limburg.

Referenties

- Aghaalikhani M, Gholamhoseini M, Dolatabadian A, Khodaei-Joghan A, Sadat, Asilan, KS (2012) Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58:1149-1169.
- Akbari, H, Modarres-Sanavy, SAM, Heidarzadeh, A (2021) Fertilizer systems deployment and zeolite application on nutrients status and nitrogen use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 44:196-212.
- Anonymus (2020) Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen, Wageningen Livestock Research, Wageningen.
- De Boer HC (2017) Nitrate leaching from liquid cattle manure compared to synthetic fertilizer applied to grassland or silage maize in the Netherlands. Report 1055, Wageningen Livestock Research, Wageningen.
- De Boer HC, Bloem J (2010) Voorspelling van de bemestende waarde (N) van runderdrijfmest. Rapport 359, Wageningen Livestock Research, Wageningen.
- De Boer HC, Deru JGC, Van Eekeren N (2018) Sward lifting in compacted grassland: effects on soil structure, grass rooting and productivity. *Soil & Tillage Research* 184:317-325.
- Glæsner N, Kjaergaard C, Rubæk GH, Magid J (2011) Interactions between soil texture and placement of dairy slurry application: II. Leaching of phosphorus forms. *Journal of Environmental Quality* 40:344-351.
- Kang J, Amoozegar A, Hesterberg D, Osmond DL (2011) Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. *Geoderma* 161:194-201.
- McDowell RW, Worth W, Carrick S (2011) Evidence for the leaching of dissolved organic phosphorus to depth. *Science of the Total Environment* 755:1-11.
- Ramesh K, Reddy DD (2011). Zeolites and their potential uses in agriculture. *Advances in Agronomy* 113:219-241.
- Sikkema K (1997) Handleiding Beoordeling grasland- en slootvegetatie. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Van Duijnen R, Blokland PW, Fraters D, Doornewaard GJ, Daatselaar CHG (2022) Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie in 2020. RIVM-rapport 2022-0034, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Van Mullekom M, Vernooy B, Verstijnen Y, van Dijk G, Smolders F (2019) Zeoliet als mogelijke oplossing voor de nitraatuitspoeling uit landbouwgronden? Vakblad Natuur, Bos en Landschap. Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Nijmegen.
- Schröder JJ, Assinck FBT, Uenk D, Velthof GL (2010) Nitrate leaching from cut grassland as affected by the substitution of slurry with nitrogen mineral fertilizer on two soil types. *Grass and Forage Science* 65:49-57.
- Steenvoorden JHAM (1992). 3.2. Uitspoeling van stikstof onder invloed van drijfmest en kunstmest. In: Wadman WP, Sluijsmans CMJ (Eds.), Mestinjectie op grasland: de betekenis voor de bodemvruchtbaarheid en risico's voor nitraatuitspoeling: Ruurlo 1980-1984. Rapport DLO Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.
- Yolcu H, Seker H, Gullap M, Lithourgidis A, Gunes A (2011) Application of cattle manure, zeolite and leonardite improves hay yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under semiarid conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5:926-931.

Bijlagen

Bijlage 1. Bemeste hoeveelheden

Tabel 15 Hoeveelheden N, P, en K (kg ha⁻¹) toegediend met rundveedrijfmest (RDM) en kunstmest (KM) bij de behandeling met RDM en kunstmest KAS en de behandeling met alleen KAS, op proefvelden Vredepeel en Beltrum, in 2020 en 2021.

Jaar	Proefveld	Snedes	Stikstof			Fosfor		Kalium	
			Met RDM (totaal)	Met RDM ('werkzaam')	Met KM KAS	Met RDM	Met KM	Met RDM	Met KM
2020	Vredepeel	1	100	37	78	14,0	15,3	108	112
		2	87	41	40	10,9	10,2	75	75
		3	81	42	17	11,6	10,2	72	75
		4	101	46	0	14,7	10,2	71	75
		5	0	16	0	0	0	0	0
2020	Beltrum	1	99	43	75	14,3	16,5	132	147
		2	79	43	38	11,2	11,2	107	98
		3	80	42	15	10,9	11,2	105	98
		4	72	40	0	10,8	11,0	88	0
		5	0	13	0	0	0	0	0
2021	Beltrum	1	119	33	66	20,1	16,5	126	152
		2	79	34	32	12,6	11,2	91	108
		3	75	36	18	12,5	10,6	85	104
		4	70	36	0	11,4	11,2	88	95
		5	0	13	7	0,0	0,0	0	0

Bijlage 2. Datums van bemesten en maaien

Tabel 16 Datums van bemesten en maaien op proefveld Vredepeel en Beltrum in 2020 en 2021.

Jaar	Proefveld	Snedes	Datum bemesten		Datum maaien
			Drijfmest	Kunstmest	
2020	Vredepeel	1	01-04-2020	06-04-2020	06-05-2020
		2	11-05-2020	13-05-2020	08-06-2020
		3	15-06-2020	16-06-2020	13-07-2020
		4	16-07-2020	15-07-2020	21-08-2020
		5	- ¹⁾	25-08-2020	15-10-2020
		6	-	-	01-12-2020
2020	Beltrum	1	23-03-2020	26-03-2020	08-05-2020
		2	15-05-2020	18-05-2020	19-06-2020
		3	26-06-2020	23-06-2020	23-07-2020
		4	29-07-2020	28-07-2020	31-08-2020
		5	-	02-09-2020	16-10-2020
2021	Beltrum	1	24-03-2021	26-03-2021	14-05-2021
		2	19-05-2021	18-05-2021	11-06-2021
		3	18-06-2021	18-06-2021	19-07-2021
		4	26-07-2021	22-07-2021	24-08-2021
		5	-	03-09-2021	01-10-2021

¹⁾ Geen bemesting

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

