



Effect MgCl_2 verrijkte mest op bodem en gewas

Dr.ir. D.W. Bussink

Ir. K. van den Dool

Referaat

Bussink DW & Van den Dool K, 2021, Effect $MgCl_2$ verrijkte mest op bodem en gewas , Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1867.N.21, pp. 20

Rapport in het kort

Door toevoegen van $MgCl_2$ aan mest ontstaat struviet. Een deel van de in de mest aanwezige ammonium wordt daarin vastgelegd. Daardoor neemt de ammoniakemissie af. Wel neemt door het toevoegen van $MgCl_2$ aan mest het Mg-gehalte van mest sterk toe. Van belang is daarom na te gaan wat de effecten zijn van met Mg-verrijkte mest voor het milieu en de bodem- en de gewaskwaliteit. In deze studie wordt daar nader op ingegaan.

© 2021 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

De noordelijke provincies

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	5
2 Magnesium, plant en dier en bodem	6
2.1 Magnesium in de plant	6
2.2 Magnesium in het dier	6
2.3 Magnesium in de bodem	7
3 Toevoegen $MgCl_2$ aan mest	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Emissiereductie via $MgCl_2$	9
3.3 De landbouwkundige werking mbt fosfaat	10
3.4 Fosfaatneerslag in de mestopslag	11
3.5 Hardheid van water	11
3.6 Bodemstructuur	11
3.7 Interacties	12
3.8 Samengevat	12
4 De magnesiumbehoefte en balans in Noord-Nederland	14
4.1 De magnesiumtoestand	14
4.2 De magnesiumbalans voor de melkveehouderij	16
5 Discussie en aanbevelingen	18
Literatuur	20

Samenvatting en conclusies

Door MgCl_2 toe te voegen aan mest ontstaat er struviet. Daarbij worden magnesium en ammonium gebonden aan fosfaat. Door deze reactie daalt het ammoniumgehalte in mest en daarmee neemt het risico op ammoniakemissie bij toedienen af, mogelijk wel met 30-40%. Met het toevoegen van MgCl_2 stijgt het Mg-gehalte van de mest. Het gevolg van MgCl_2 toevoegen aan mest is dat de toevoer van Mg naar percelen toeneemt en het bemestingsadvies voor magnesium op gras- en bouwland kan overtreffen. De vraag is wat de gevolgen zijn van een te hoge bemesting met magnesium vanuit oogpunt van bodemkwaliteit en milieu. Tegelijk is de vraag of het omzetten van gemakkelijk beschikbaar fosfaat in mest naar struviet gevolgen heeft voor de bemestende waarde van dierlijke mest en of er neveneffecten op kunnen treden bij de vorming van struviet.

Op basis van het huidige doseringsvoorschrift blijkt dat er op mol basis ongeveer vijf keer zoveel Mg wordt toegediend (op mol basis) dan dat er aan fosfaat aanwezig is. Daarmee stijgt het Mg-gehalte van mest van 1,2 naar 3,9 kg MgO per ton. Niet duidelijk is of een kleinere hoeveelheid ook volstaat om struvietvorming te realiseren. Een vraag bij vervolgonderzoek kan zijn om na te gaan welke overmaat aan Mg en of welke Mg-concentratie in mest minimaal nodig is om volledige struviet vorming te realiseren.

Een hoger Mg-gehalte in mest is gunstig voor het Mg-gehalte van voorjaarsgras. Vaak is dit gehalte lager dan gewenst is voor hoog productief melkvee. Extra aanvoer van Mg via mest zal leiden tot hogere Mg-gehalten in gras. Een risico op te hoge gehalten is uitgesloten. Door het toevoegen van Mg ontstaat struviet, wat in feite een (Mg)NP-meststof is. Vooral op grasland mag een goede P-werking worden verwacht omdat de aanwezigheid van ammonium in struviet de opname van P stimuleert en de struviet in mest waarschijnlijk homogeen verdeeld is en aanwezig is in kleine deeltjes. Een goede P-werking is gunstig in het vroege voorjaar wanneer de bodemtemperatuur nog vrij laag is zeker voor percelen met een (vrij) lage fosfaattoestand (bijna 30%).

Een negatief effect kan zijn dat struviet in rundveedrijfmest bij langdurige mestopslag gaat neerslaan op de bodem van de mestopslag. Monitoring moet uitwijzen of dit een reëel risico is. Ook leidt de toevoeging van extra Mg aan mest tot een grote toevoer van magnesium aan percelen en daarmee tot meer uitspoeling van magnesium. De uitspoeling van Ca en Mg bepalen samen de hardheid van water. Verwacht wordt dat dit geen grote problemen geeft. Een grote Mg-aanvoer op kleibouwland kan er voor zorgen dat de Mg-bezetting van het kleihumuscomplex toeneemt. Een hoge bezetting kan leiden tot een sterker zwelgedrag van klei en daarmee tot een slechtere bodemstructuur. Het risico hierop wordt vooralsnog als laag ingeschat. Op grasland (klei, zand of veen) speelt dit niet. Daar is een dichte grasmat aanwezig met veel wortelmassa dat de grond bijeenhoudt.

Op basis van het huidige doseringsvoorschrift stijft het Mg-overschot sterk. In Noord-Nederland bedraagt die 40- 60 MgO per ha op basis van de huidige landbouwkundige praktijk. Met het toevoegen van MgCl_2 neemt dat in de melkveehouderij met ongeveer 140 kg per ha toe. Kernvraag zou dan ook kunnen zijn of deze hoge overdosering aan Mg echt nodig is om de gemeten emissiereductie te realiseren. Mogelijk volstaat de helft zonder dat het effect op de emissiereductie sterk daalt. Het balansoverschot op perceelsniveau daalt daarmee sterk. Bovendien nemen de kosten voor de veehouder af om de emissie te beperken via het toevoegen van MgCl_2 . Mitigerende maatregelen zijn beperkt mogelijk. In de praktijk worden Mg-houdende minerale meststoffen toegepast. Deze kunnen achterwege blijven indien struviethoudende mest wordt toegepast. Dit kan in het geval van de

rundveehouderij 10-20 kg minder aanvoer van MgO opleveren. Bij akkerbouwmatige teelten kan dit nog beduidend hoger zijn. De combi van geen aanvoer van Mg via kunstmest en bijvoorbeeld een halvering van de $MgCl_2$ dosering kan het overschot op perceelsniveau van de berekende 180 kg naar ongeveer een overschot van 100 kg per ha terugbrengen.

Op basis van de uitgevoerde studie zijn *geen grote nadelen* te verwachten voor het milieu en de bodemkwaliteit door het in overmaat bemesten van percelen met magnesium. Er geldt echter nog wel een ander criterium en dat is om zo efficiënt mogelijk om te gaan met grond- en hulpstoffen en specifiek vanuit de optiek van bemesting niet meer nutriënten geven dan strikt noodzakelijk is. Dit dient afgewogen te worden tegen het grote belang van het verminderen van ammoniakemissies, wat via de toevoeging van $MgCl_2$ op een laagdrempelige manier kan.

Conclusies:

- Het toevoegen van extra $MgCl_2$ aan mest leidt tot een verhoging van het magnesiumoverschot op melkveehouderij bedrijven met een factor vier.
- Het is niet te verwachten dat het toevoegen van extra $MgCl_2$ aan mest om de struvietvorming te stimuleren negatief uitwerkt op de bodemkwaliteit. Alleen op kleibouwland is er op langere termijn een risico dat het zwelgedrag toeneemt.
- Het is onduidelijk waarom vijf keer zoveel $MgCl_2$ wordt toegediend dan nodig is om alle aanwezige fosfaat om te zetten in struviet. Waarschijnlijk kan ook met minder $MgCl_2$ worden volstaan.

Aanbevelingen:

- Het wordt aangeraden om nader te onderzoeken of het doseringsvoorschrift voor $MgCl_2$ aan mest niet fors naar beneden kan worden bijgesteld.
- Het wordt aangeraden om nader te onderzoeken of de gemeten ammoniakemissiereductie onder alle omstandigheden wordt gerealiseerd en of een lagere dosering een groot effect heeft op de emissiereductie.
- Het kan zinvol zijn om de graskwaliteit te monitoren in het voorjaar op minerale samenstelling (waaronder P en Mg).

1 Inleiding

De ammoniakemissie moet omlaag in Nederland. Aanvullend op bestaande technieken wordt gezocht naar nieuwe oplossingsrichtingen die tijdelijk of structureel bijdragen aan het verlagen van de emissie. Eén van de mogelijke opties is het toevoegen van MgCl_2 aan mest. Dat leidt tot struvietvorming in mest, waarbij magnesium en ammonium worden gebonden aan fosfaat. Door deze reactie daalt het ammoniumgehalte in mest en daarmee neemt het risico op ammoniakemissie af. Containerproeven geven aan dat de ammoniakemissie daardoor met 30-40% kan dalen bij het toedienen van mest. Monitoringproeven in het veld moeten nog plaatsvinden. Het toepassen van deze maatregel kan voor een paar duizend veehouderijbedrijven in Noord-Nederland een optie zijn om snel aan de slag te gaan met het verminderen van de ammoniakemissie uit mest. De drie noordelijke provincies willen deze maatregel stimuleren en daar per 1 januari een (subsidie)regeling voor openstellen. Wel hebben de provincies nog enkele vragen aangaande eventuele effecten op bodemkwaliteit en milieu.

Met het toevoegen van MgCl_2 stijgt het Mg-gehalte van de mest. Het gevolg is dat de toevoer van Mg naar percelen toeneemt en het bemestingsadvies voor magnesium op gras- en bouwland kan overtreffen. De vraag is wat de gevolgen zijn van een te hoge bemesting met magnesium vanuit oogpunt van bodemkwaliteit en milieu. Tegelijk is de vraag of het omzetten van gemakkelijk beschikbaar fosfaat in mest naar struviet gevolgen heeft voor de bemestende waarde van dierlijke mest en of er neveneffecten op kunnen treden bij de vorming van struviet. De noordelijke provincies hebben NMI gevraagd om deze vragen te beantwoorden.

Doelstelling

Er wordt een deskstudie uitgevoerd met de volgende doelen:

- nagaan wat de effecten zijn van extra aanvoer van Mg naar percelen op de bodemkwaliteit en het risico van uitspoeling.
- nagaan hoe met aangepast management eventuele (negatieve) effecten van hogere Mg-toevoer en binding van beschikbaar fosfaat in struviet geminimaliseerd kunnen worden.
- opstellen van concrete aanbevelingen en of het adviseren van mitigerende maatregelen voor de agrarische praktijk om optimaal om te gaan met struviethoudende mest en de daarmee verhoogde aanvoer van magnesium naar percelen en een mogelijk lagere P-beschikbaarheid.

Opzet en uitvoering

Er wordt een korte deskstudie uitgevoerd naar de agronomische en milieukundige effecten van een verhoogde magnesium aanvoer. Daarin wordt ook meegenomen in hoeverre struviet van invloed is op de P-beschikbaarheid van mest. Voor de deskstudie wordt gebruik gemaakt van proefresultaten van NMI en de bodemdata van Noord-Nederland qua Mg- en P-toestand (op basis van de NMI database Nationaal Bodemarchief). Daarbij rekening wordt gehouden met de aanwezige grondsoorten (zand-, dal- en kleigrond en veengrond). Er wordt ingegaan op de uitspoelingsgevoeligheid van magnesium voor de verschillende grondsoorten, kalium magnesium interacties (zowel bodem als gewas) en eventuele effecten op bodemstructuur.

Er wordt een indicatie gegeven van de magnesiumbalans van veehouderijbedrijven en verkend of er andere bronnen zijn van magnesiumaanvoer (bijv. kunstmest) die verminderd kunnen worden (als mitigerende maatregel).

2 Magnesium, plant en dier en bodem

2.1 Magnesium in de plant

De belangrijkste rol van magnesium (Mg) in planten is de vorming van chlorofyl (bladgroen) en het is een bouwsteen van vele enzymen. De fotosynthese, eiwitvorming en energieoverdracht zijn deels afhankelijk van een goede magnesiumvoorziening. Het element wordt door planten opgenomen als Mg^{2+} ion. Het is mobiel en kan zich in de plant verplaatsen van oudere naar jongere bladeren. Een tekort wordt daarom meestal het eerst vastgesteld in de oudere bladeren. Voor veel gewassen schommelen de kritische gehalten (lagere waarden duiden op suboptimale groei) rond de 0,2% van de blad drogestof (Hauer-Jákli & Tränkner, 2019). Meer specifiek ligt het kritische gehalte voor grasachtigen tussen 0,1 en 0,15%. Vanuit oogpunt van diervoeding zijn de gewenste gehalten veelal hoger. Een suboptimale magnesiumvoorziening van gewassen kan voorkomen op lichte gronden (akkerbouw, mais). Een eventueel gebrek aan magnesium is te herkennen aan een lichte groene kleur tussen de nerven die bij verergering gevolgd wordt door vergeling (chlorose), die begint aan de bladpunten en -randen en zich uitbreidt tot het hele blad is aangetast. De symptomen kunnen lijken op stikstof- of mangaangebrek. Graangewassen kunnen in het vroege voorjaar kortstondige symptomen van magnesiumgebrek vertonen, maar deze verdwijnen vaak weer en hebben niet altijd een effect op de opbrengst. Hoge bodemgehalten en of hoge Mg-bemesting leiden niet tot magnesiumtoxiciteit en hebben geen effect op de opbrengst. Wel kunnen hoge magnesiumopnames de opname van andere nutriënten zoals K onderdrukken (zie verderop) (Bussink et al., 2020, Mengel & Kirkby, 1987).

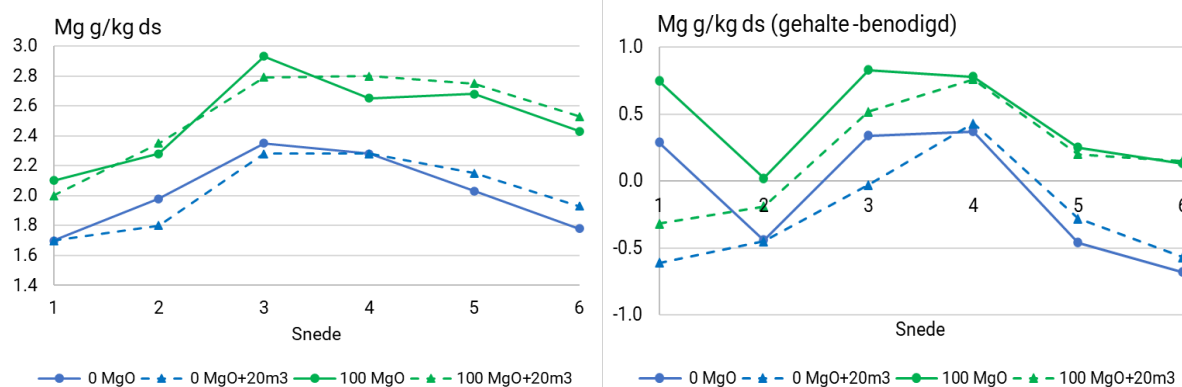
De gewasopname kan sterk variëren. Voor gewassen op het veehouderijbedrijf als gras en mais bedraagt deze zo tussen de 30 en 40 kg Mg per ha in de bovengrondse delen afhankelijk van opbrengst, bodemtoestand en de bemesting. Inclusief wat aanwezig is in wortel en stoppel kan dat nog 10-15 kg Mg meer zijn. Op basis van Eurofins analyses schommelt het Mg-gehalte in graskuil rond de 2,5 g per kg droge stof. In het algemeen is het Mg-gehalte in het vroege voorjaar in gras duidelijk lager dan in de rest van het jaar. Ter illustratie zijn in Figuur 2-1 de resultaten van een proef in 1994 weergegeven. Het Mg-gehalte bij mais schommelt rond de 1.3 g per kg ds (met een bandbreedte van ongeveer 1,0- 1,6).

2.2 Magnesium in het dier

Magnesium neemt deel aan de belangrijkste functies van het lichaam. Het speelt een rol bij de botvorming, de celdeling, de hormoonhuishouding, in het zenuwstelsel (spiersamentrekking), de vruchtbaarheid en de weerstand tegen infecties. Een adequate voorziening met magnesium is van belang temeer dieren geen of slechts een zeer beperkte lichaamsreserve Mg hebben. De gevoeligheid voor een Mg-tekort is dan ook groot. Hierdoor is bij rundvee beweiding op grasland met te weinig Mg direct een aanvulling nodig (via bijv krachtvoer). Sinds jaar en dag zijn er voedernormen voor magnesium. De COMV (2005) stelt dat gemiddeld ongeveer 1,7-2,0 Mg per kg ds aanwezig dient te zijn in het voer voor jongvee. Voor melkvee zijn de normen hoger; voor een koe met een dagproductie van 40 kg bedraagt deze 2,4 g Mg per kg ds. Een magnesiumoverschot komt niet snel voor, aangezien dieren mogelijkheden hebben om het overtollige magnesium via de urine weer uit te scheiden. Een

extreem overschot kan leiden tot een verlaagde spierspanning en diarree. Het CVB (2005) geeft een toxische grens aan van 6 g Mg per kg ds (bij chronisch hoge gehalten).

Rundvee is voor de voeding –en daarmee ook voor de Mg-voorziening– in belangrijke mate aangewezen op weidegras en op van grasland gewonnen ruwvoer, vooral in de vorm van graskuil. Daarnaast heeft snijmaïs een belangrijke plaats in de voedervoorziening van het rundvee. Een voldoende aanbod vanuit ruwvoerders zorgt voor een goede basisvoorziening met mineralen. Hiernaast vormen ook krachtvoerders en bijproducten een bron van voedingsstoffen. Door toevoeging van mineralen aan krachtvoerders kan men de mineralen voorziening beter laten aansluiten op de behoefte van het dier. In het verleden kwam een tekort aan magnesium regelmatig voor nog versterkt door hoge ruweiwitgehalten en kaliegehalten in gras (een hoge kalitoestand en of een hoge kaliumbemesting onderdrukt het Mg-gehalte in gras). Dat kan tot hypomagnesemie (kopziekte) leiden. Tegenwoordig komt dat veel minder voor door lagere bemesting met N en K.



Figuur 2-1. Links: Het Mg-gehalte op zandgrasland gedurende het seizoen 1994 (proef NMI) bij 0 en 100 kg MgO per ha (verdeeld over 6 sneden) en wel of geen bemesting met 20 m3 dunne rundermest per ha voor de eerste snede. De N-bemesting bedroeg 350 kg N per ha. De Mg-toestand was voldoende bij geen mest en hoog bij wel mest. De K-toestand was voldoende. Rechts: Dezelfde gegevens als links waarbij nu het benodigde Mg-gehalte vanuit oogpunt van diervoeding in mindering is gebracht op het gemeten gehalte.

2.3 Magnesium in de bodem

Magnesium in de bodem is geadsorbeerd aan het adsorptiecomplex. Zandgronden hebben in het algemeen een lagere bindingscapaciteit dan klei- en veengronden. Tekorten kunnen daar dan ook veel eerder optreden dan op klei en veen. Het Mg-gehalte varieert veelal tussen 0,05% voor zandgronden en 0,5% voor kleigronden. Indien er kalk aanwezig is in de bodem, dan kan hier ook Mg inzitten. Weinig (minder dan 1%) van het in de bodem aanwezige Mg is geassocieerd aan de organische stof. Ongeveer 5% (Mengel & Kirkby, 1987) van de totale hoeveelheid Mg in de bodem is uitwisselbaar. De uitwisselbare hoeveelheid tezamen met de oplosbare Mg bepaalt de hoeveelheid die beschikbaar is voor het gewas.

In Nederland bevat de grond in het algemeen voldoende Mg voor een optimale grasgroei. Om substantieel bij te kunnen dragen aan de Mg-voorziening van het melkvee dient het Mg-gehalte van het gras aanmerkelijk hoger te zijn dan voor optimale gewasgroei. Daarom wordt de Mg-bemesting van grasland vooral benaderd vanuit het oogpunt van de diergezondheid.

Bemestingsadviezen (Tabel 2-1) zijn er voor magnesium op zand, dalgrond en löss voor gras, mais en bouwland. (Voor klei en veen zijn er slechts globale adviezen omdat de respons op bemesting zwak is). Het Mg-bemestingsadvies bestaat uit een advies voor het eerste jaar na grondonderzoek en een advies voor latere jaren. Met het advies voor het eerste jaar wordt de Mg-toestand op de waardering 'voldoende' gebracht. Het advies voor latere jaren is erop gericht de toestand te handhaven en kan worden gezien als een onderhoudsbemesting. Het bemestingsadvies is gericht op:

- een redelijk peil ($\pm 150 \text{ mg MgO kg}^{-1}$ grond) bewerkstelligen of handhaven van de Mg-toestand; en
- het bereiken van zodanige Mg-gehalten in het gras dat buiten de kopziekteperioden een goede Mg-voorziening van het vee mag worden verwacht.

Na het eerste jaar is het advies 50 kg MgO per ha met uitzondering van de toestand hoog (0 kg).

Via bemesting sturen op een hoge bodemtoestand heeft niet zo veel zin want magnesium kan zeker op zand vrij gemakkelijk uitspoelen. In oudere NMI-proeven (zo'n 50 jaar geleden) is wel gemeten dat op zandgrasland in een natte winter de toestand hoog kon dalen tot vrij laag. Het bemestingsadvies voor magnesium stuurt op een toestand voldoende. Naast de magnesiumtoestand en de magnesiumgift is de kalitoestand en kaliumbemesting van invloed op het Mg-gehalte in gras. Een hoge K-gift en of een hoge K-toestand onderdrukt de Mg-opname en daarmee het magnesiumgehalte van gras. In Figuur 2 1 leidt een dierlijke mestgift (blauwe stippellijn) tot een iets lager Mg-gehalte ondanks dat met de mest ook ongeveer 25 kg MgO per ha wordt gegeven. Een startgift met goed oplosbaar magnesium (20 kg MgO per ha) leidt direct tot een hoger Mg-gehalte in gras.

Tabel 2-1. Waardering en advies voor Mg-bemesting op zand, dalgrond en löss (www.bemestingsadvies.nl).

Waardering	MgO-gehalte grond, (mg kg^{-1}) (0-10) cm	bemesting in kg MgO ha^{-1}	
		1 ^e jaar	2 ^e jaar
Laag	<71	200	50
Vrij laag	71 – 136	100	50
Voldoende	137 – 219	50	50
Hoog	>219	0	0

Opmerkingen:

- Het advies geldt bij toepassing van Mg in de vorm van magnesiumsulfaat (kieseriet) of dierlijke mest. De werking van Mg in magnesiumcarbonaat is bij najaars- en voorjaarstoediening respectievelijk circa 50% en 25% van de werking van magnesiumsulfaat. De nawerking van magnesiumcarbonaat is echter groter dan die van magnesiumsulfaat.
- Het is niet zinvol om bij hoge Mg-toestanden nog extra Mg te verstrekken. Het risico bestaat dan dat de Ca-voorziening van het gras in gevaar komt.

Tabel 2-2. Waardering en advies voor Mg-bemesting op zand, dalgrond en löss (www.bemestingsadvies.nl).

Waardering	MgO-gehalte grond, (mg kg^{-1}) (0-25) cm	Jaar na grondonderzoek			
		1 ^e jaar	2 ^e jaar	3 ^e jaar	4 ^e jaar
Laag	<75	1	2	2	2
vrij laag	75 – 110	0	2	2	2
Voldoende	110 – 175	0	0	2	2
Hoog	175 - 300	0	0	0	2
Zeer hoog	>300	0	0	0	0

Opmerkingen met betrekking tot de nummers:

- 0 : geen MgO-gift nodig.
- 1 : $\text{MgO-gift in kg/ha} = (75 - \text{MgO gehalte}) \times \text{dikte bouwvoor in dm} \times \text{dichtheid grond}$.
- 2 : $\text{MgO-gift in kg/ha} = 20,7 \times \text{dikte bouwvoor in dm} \times \text{dichtheid grond}$.

3 Toevoegen MgCl_2 aan mest

3.1 Algemeen

Struviet is één van de minerale vormen die tot de struvietgroep behoren. Lindsay et al. (1989) rekenen de volgende mineralen tot deze struvietgroep. Newberyiet ($\text{HMg}(\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), Phosphorrossleriet $\text{HMg}(\text{PO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Struviet ($\text{NH}_4\text{Mg}(\text{PO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ of $\text{KMg}(\text{PO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Scherteliet ($(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{Mg}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Stercoriet ($\text{NH}_4\text{NaH}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), Hannayiet ($(\text{NH}_4)_2\text{H}_4\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Modelberekeningen wijzen uit dat hydroxyapatiet en struviet voorkomen in het pH-bereik van 7-8, boven de pH 8 domineren struviet en calciet. Onder een pH van 7,4 zijn struviet en calciet niet stabiel.

Struviet is opgenomen in Bijlage Aa in de Meststoffenwet. Destijds is door Ehlert et al. (2013) ook gekeken naar de eigenschappen van struviet. Een zuivere struviet bevat 57,0 g N per kg, 289 g P_2O_5 per kg en 164,2 g MgO per kg. Ehlert et al. (2013) citeren Montag et al. (2009) die een overzicht geven van de variatie in samenstelling van struviet in de praktijk. Gemiddeld vinden zij op basis 33 van monsters een stikstofgehalte in de drogestof van 11,8 g N per kg, met een bereik van 1,0 tot 30,3 g N per kg. Voor fosfaat (P_2O_5) is het gemiddelde 213 met een bereik van 124 tot 357 g per kg; voor magnesium (als MgO) is het gemiddelde 252 met een bereik van 32 tot 696 g MgO per kg. Ehlert et al. (2013) geven aan dat andere literatuurgegevens passen bij de door Montag et al. (2009) beschreven samenstellingen. De gegevens maken duidelijk er weinig materialen zijn die voor 100% uit struviet bestaan. Het grote bereik in MgO wijst uit dat bij onderverzadiging met MgO andere fosfaatvormen geprecipiteerd worden; waarschijnlijk calciumfosfaten. Oververzadiging met MgO kan leiden tot de aanwezigheid van magnesiumfosfaten en andere magnesiumhoudende precipitaten.

De bovenstaande resultaten duiden er dus op dat zuiver struviet met een 1:1:1 verhouding van ammoniumstikstof, magnesium en fosfaat in niet vaak gerealiseerd wordt. Deze variatie is geen belemmering bij toepassing van 'struviet' als meststof, mits de gebruiker de feitelijke samenstelling en werkzaamheid kent (Ehlert, 2013).

3.2 Emissiereductie via MgCl_2

Zoals hiervoor is aangegeven kan bij zuivere struviet per mol mineraal fosfaat één mol magnesium en één mol ammonium worden vastgelegd of in landbouwtermen; kan per kg minerale P_2O_5 in mest 0,2 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ en 0,34 kg Mg worden vastgelegd. Rundermest kan sterk in samenstelling variëren maar gemiddeld bevat dunne rundermest 1,9 kg $\text{NH}_4\text{-N}$, 1,5 kg P_2O_5 en 1,2 kg MgO per m^3 mest. Indien alle P_2O_5 mineraal is kan door het toevoegen van MgCl_2 maximaal 0,3 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ worden gebonden. Dat zou overeenkomen met 15% (0,3/1,9) emissiereductie in mest. Bekend is dat een overmaat aan magnesium ook de hydrolyse van ureum in verse mest (urine en mest direct onder de staart van de koe vandaan) kan remmen. Dat zou kunnen verklaren waarom in eerste metingen emissiereducties van 30-40% zijn gevonden indien echt verse mest is gebruikt. Ureum en ureumachtige verbindingen in urine worden in de mestopslag vrij snel omgezet naar ammonium. Indien verse mest uit de mestopslag is gebruikt dan zijn de gevonden emissiereducties opvallend hoog en niet zo goed te verklaren. Dan zou eerder een lagere emissiereductie verwacht worden. Mogelijk dat dit duidelijk wordt bij vervolgonderzoek wat nog gaat plaatsvinden.

In de proeven die tot dusver zijn uitgevoerd op Dairy Campus werd een dosering van 15 Liter van MgCl_2 oplossing (32% w/w, Mg^{2+} 8.1% en Cl^- ongeveer 23,8%, dichtheid ongeveer 1,3 kg/l) gebruikt. Dit verrijkt één m^3 (~ 1000 kg) mest dan met 1,61 kg Mg en 4,64 kg Cl. Ofwel er is bijna 5 keer ($1,61/0,34$) meer Mg toegediend dan dat er aan P_2O_5 aanwezig is in de mest. Bovendien is niet alle fosfaat in mest mineraal fosfaat (veelal tussen de 60-80%, de rest is organische gebonden). Bekend is dat voor het volledig laten verlopen van een gewenste chemische reactie – in dit geval de vorming van struviet – een overmaat van het reagens (in dit geval MgCl_2) nodig is. Mogelijk kan deze overmaat worden teruggebracht. Een vraag bij vervolgonderzoek kan zijn om na te gaan welke overmaat aan Mg en of welke Mg-concentratie in mest minimaal nodig is om volledige struviet vorming te realiseren.

3.3 De landbouwkundige werking mbt fosfaat

Over het algemeen is struviet als korrelmeststof langzaam werkend omdat het een lage oplosbaarheid. De werking van struviet wordt daarbij vooral bepaald door het soort struviet, de fijnheid (poeders werken beter dan korrel) en door de zuurgraad van de bodem (maar ook gewastype en fosfaattoestand). Toegepast als zuivere meststof is het dan ook beter geschikt voor grasland dan akkerbouwgewassen. Echter het struviet in mest is waarschijnlijk zeer goed verdeeld en fijn (in suspensie). Verwacht mag worden dat zeker op grasland de werking vergelijkbaar is aan die van wateroplosbare fosfaten. Daarnaast is struviet in zekere zin een (Mg)NP-meststof. Vanuit proeven uit het verleden is bekend dat wateroplosbare NP-meststoffen wat beter werken in het voorjaar dan superfosfaat of tripelsuperfosfaat. Opname van ammonium door het gewas stimuleert ook de opname van P. Vooral in het vroege voorjaar is dat gewenst temeer dan de bodemtemperatuur vrij laag is hetgeen de beschikbaarheid van fosfaat en de opname door de plant niet ten goede komt. Interessant zou zijn om te monitoren of het P-gehalte in de 1^e snede gras dan ook toeneemt met struviethoudende mest ten opzichte van reguliere mest. Vanuit Veevoedingsoogpunt kan dat gewenst zijn, omdat in rantsoenen waarin ook mais (laag P-gehalte) gevoerd wordt de koe gemiddeld voldoende P binnenkrijgt voor een goed fysiologisch functioneren. Bij een duidelijk hoger P-gehalte kan de aanvoer van P via krachtvoerders mogelijk zelfs omlaag.

Tabel 3-1. Waardering P-toestand grasland op basis van de PBI (fosfaat buffer index) voor alle grondsoorten (www.bemestingsadvies.nl).

Waardering	Percentage areaal	Areaal (ha)
Hoog	12,7	41.740
Ruim voldoende	16,9	55.490
Voldoende	42,3	139.010
Vrij laag	18,7	61.450
Laag	9,5	31.250

In het algemeen is de fosfaattoestand goed in Noord-Nederland. Echter de variatie tussen percelen is vrij groot. Een deel van het graslandareaal, ongeveer 28% (Tabel 3-1), heeft de toestand laag of vrij laag. (Bij bouwland is dit aandeel lager, minder dan 20%). Sinds kort gebruiken we de PBI (fosfaatbufferindex) om de fosfaattoestand voor grasland en maisland te beschrijven. De PBI is opgebouwd uit 2 kengetallen, P-CaCl_2 en PAL (zie www.bemestingsadvies.nl). Op de percelen met vrij laag en laag zou voor een optimale productie en N-benutting vooral in het voorjaar de benutting en de beschikbaarheid van fosfaat moeten stijgen. Meer fosfaat geven via drijfmest kan niet. De

beschikbaarheid van fosfaat proberen te verhogen is wel een optie. Mest met fosfaat op struvietbasis kan daar mogelijk aan bijdragen, zoals hiervoor is aangegeven.

3.4 Fosfaatneerslag in de mestopslag

Met het toedienen van $MgCl_2$ aan de mestopslag ontstaat struviet of struvietachtige verbindingen. Struviet is een mineraal met een lage oplosbaarheid. Bij het gebruik van $MgCl_2$ (website [Nedmag](#) en website [Farmin](#)) staat dat per 1 september een starthoeveelheid gedoseerd dient te worden en vervolgens dient er kort voor toedienen nog $MgCl_2$ gedoseerd te worden. Bekend is vanuit varkensstallen dat er struviet vorming op kan treden waarbij het struviet neerslaat op de bodem van de mestopslag. Deze processen (neerslaan op de bodem van de opslag) verlopen in het algemeen vrij traag. Of dit op kan treden in rundveestallen is niet duidelijk, maar is via monitoring vast te stellen. Tegelijk wordt waarschijnlijk de bulk van de $MgCl_2$ toegediend kort voor toedienen. De kans op neerslagvorming op de bodem van de mestopslag is dan nihil.

3.5 Hardheid van water

In Nederland hebben we een jaarlijks neerslagoverschot van ongeveer 300 mm. Met het neerslagoverschot spoelen nutriënten uit naar diepere lagen. Naast nitraat, sulfaat en chloride zullen ook kationen als Ca en Mg uitspoelen. Voor zover bekend is de uitspoeling van Mg niet milieu bezwaarlijk (behalve dat het algemene voorzorgprincipe geldt om zo efficiënt mogelijk met mineralen om te gaan en verliezen zoveel mogelijk te vermijden). Uitspoeling van Ca en Mg leidt wel tot een iets hogere hardheid van water. Dat kan betekenen dat in drinkwaterwinningsgebieden er op de langere termijn wat meer kosten gemaakt moeten worden voor het ontharden van water. Ook dit kan een reden zijn om te verkennen of de benodigde toevoer van $MgCl_2$ nog te optimaliseren is. Op basis van de huidige samenstelling van mest neemt het potentieel voor uitspoeling van hardheid (Ca en Mg op molbasis) met zeker een factor 2 toe.

Bij toevoeging van 15 liter $MgCl_2$ oplossing wordt de mest naast Mg ook verrijkt met chloride en wel met 4,64 kg. Chloride wordt niet als bezwaarlijk gezien. Bovendien zijn de chloridegehalten de laatste jaren geleidelijk aan het dalen omdat het K-gehalte in mest ook wat is gedaald. Chloride kan betoncorrosie versterken, maar daar voor moeten de gehalten veel hoger zijn die in mest worden aangetroffen (anonymus, 2021)

3.6 Bodemstructuur

Voor akkerbouw op kleigronden (in tegenstelling tot zandgronden) is de bezetting van het adsorptiecomplex met kationen sterk bepalend voor de bodemstructuur en aggregaatstabiliteit. In het algemeen geldt dat een hogere Ca-bezetting gunstig is voor de aggregaatstabiliteit. Bij voorkeur bedraagt de Ca-bezetting minimaal rond de 80- 90% (waarden die bijvoorbeeld ook in Oostenrijk en Frankrijk gehanteerd worden). De overige kationen en zijn dan vooral K, Mg en een beetje Na. Lange tijd werd gedacht dat ook een hoge bezetting met het tweewaardige ion Mg^{2+} gunstig was, maar uit onderzoek van 20 jaar geleden blijkt dat Mg^{2+} duidelijk minder gunstig is dan Ca^{2+} (Dontsova & Norton, 2002). Bij bezettingen boven 25% met Mg neemt het zwelgedrag sterk toe (overigens komen deze percentages niet voor in NL, meestal maar enkele procenten), mogelijk geldt het voorkomen van zwelgedrag ook al voor wat lagere waarden. Met het toedienen van $MgCl_2$ aan het gewas wordt structureel meer Mg gegeven dan er onttrokken wordt door het gewas (en of uitspoelt). Dit zal leiden tot een toename van de Mg-bezetting. Stel een kleigrond heeft een CEC van 200 mmol+/kg droge grond dan komt dat ruwweg overeen met een bindingscapaciteit van 700 kmol per ha. Indien dit volledig bezet zou zijn met Ca of Mg dan komt dat overeen met respectievelijk 14000 kg Ca of 8200 kg

Mg. Ofwel 1% bezetting met Mg komt overeen 82 kg Mg voor deze situatie. Structureel meer Mg toedienen dan er onttrokken wordt zal op langere termijn tot een duidelijke verhoging leiden van de Mg-bezetting aan het adsorptiecomplex. Hoe snel dat gaat hangt ook af van de omgevingscondities (uitspoeling door natte winters) en de uit te voeren bekalkingen, waarbij Ca^{2+} beschikbaar komt. Het adsorptiecomplex heeft een veel grotere affiniteit voor Ca^{2+} dan voor Mg^{2+} . Op zandbouwland is het veel meer de Fe/Al hydroxide op het oppervlak van zandkorrels in combinatie met organisch stof die voor de structuur/pakking van gronden zorgt.

Op grasland (klei, zand of veen) speelt bovengenoemde problematiek niet. Daar is een dichte grasmat aanwezig met veel wortelmassa dat de grond bijeenhoudt.

3.7 Interacties

De opname processen van planten zijn complex en worden door diverse factoren beïnvloed. Planten nemen zowel kationen als anionen. Indien een kation wordt opgenomen wordt ook een anion opgenomen (of een OH^-) afgegeven door de wortel om elektrisch neutraal te blijven. Tegelijk heeft de verhouding van het aanbod aan kationen als Ca, K, en Mg en de bodemvruchtbaarheid voor deze elementen effect op de hoeveelheid die van elk van de kationen wordt opgenomen (Daarnaast speelt ook een rol of de N-meststof vooral in de nitraatvorm of de ammoniumvorm aanwezig is). Zoals eerder al is aangegeven onderdrukt een hoog aanbod van K de opname van Mg door gras. In het voorjaar kan dat tot te lage Mg-gehalten in gras leiden. Met het toevoegen van MgCl_2 is er veel minder kans op te lage Mg-gehalten in gras. Tegelijk onderdrukt een hoog Mg aanbod de opname van K enigszins, maar dat stelt niet zoveel voor omdat het K-gehalte van gras meestal 10-15 keer hoger is als dat van Mg in gras. Evenzo kan het Ca-gehalte in gras wat onderdrukt worden door een hoog aanbod van Mg.

De verzorgingstoestand van de Nederlandse bodems met K en Ca is in het algemeen goed tot zeer goed. Het kan dan ook nooit voorkomen dat een hoog aanbod van magnesium de opname van K of Ca zodanig remt dat er een tekort ontstaat. Eigenlijk is alleen andersom bekend. Indien de Mg-toestand van een grond laag is en er wordt dan extra K gegeven dan kan het tekort aan Mg (door verdringing) groter worden en daarmee ook de opbrengstderving. Dit gebeurt alleen als de verzorgingstoestand al niet goed was (zie Bussink et al. 2020 voor meer informatie).

3.8 Samengevat

Struviet is meestal geen zuiver struviet, ook andere magnesium- en fosfaathoudende verbindingen zijn mogelijk. Voor de vorming van struviet in mest wordt ongeveer vijf keer zoveel Mg toegediend dan dat er aan fosfaat aanwezig is. Niet duidelijk is of een kleinere hoeveelheid ook volstaat om struvietvorming te realiseren. Een vraag bij vervolgonderzoek kan zijn om na te gaan welke overmaat aan Mg en of welke Mg-concentratie in mest minimaal nodig is om volledige struvietvorming te realiseren.

Naast het hoofddoel, beperken van ammoniakemissie door de vorming van struviet, zijn er een aantal positieve en mogelijk ook negatieve neveneffecten. De toediening van struviet zal naar verwachting positief werken op de P-benutting uit mest. Struviet is in feite een (Mg)NP-meststof, waarbij de struviet in mest waarschijnlijk homogeen verdeeld is en aanwezig is in kleine deeltjes. Vooral op grasland mag een goede P-werking worden verwacht, juist ook omdat de aanwezigheid van ammonium de opname van P stimuleert. Dit is gunstig in het vroege voorjaar wanneer de bodemtemperatuur vrij laag is en voor percelen met een vrij lage fosfaattoestand. Een negatief effect kan zijn dat struviet in rundveedrijfmest bij langdurige mestopslag gaat neerslaan op de bodem van de

mestopslag. Monitoring moet uitwijzen of dit een reëel risico is. Ook leidt de toevoeging van extra Mg aan mest tot een grote toevoer van magnesium aan percelen en daarmee tot meer uitspoeling van magnesium. De uitspoeling van Ca en Mg bepalen samen de hardheid van water. Verwacht wordt dat dit geen grote problemen geeft. Een grote Mg-aanvoer op kleibouwland kan er voor zorgen dat de Mg-bezetting van het kleihumuscomplex toeneemt. Een hoge bezetting kan leiden tot een sterker zwelgedrag van klei en daarmee tot een slechtere bodemstructuur. Het risico hierop wordt vooralsnog als laag ingeschat. Op grasland (klei, zand of veen) speelt dit niet. Daar is een dichte grasmatt aanwezig met veel wortelmassa dat de grond bijeenhoudt.

4 De magnesiumbehoefte en balans in Noord-Nederland

4.1 De magnesiumtoestand

NMI beschikt over een database met bodemgegevens (NABA). Op basis van deze gegevens zijn schattingen gemaakt van de magnesiumtoestand van Noord-Nederland. Het is een schatting omdat het gebaseerd is op basis van meerjarige gegevens. Indien de winter 2021/2022 zeer nat wordt dan kan zeker op zandgronden de toestand zomaar een klasse dalen. Er zijn in Nederland voor Mg alleen bemestingsadviezen voor de grondsoorten zand, dalgrond en löss. In het verleden is gebleken dat de respons op veen- en kleigrasland op Mg-bemesting beperkt was (www.bemestingsadvies.nl). Op bouwland op klei en veen is er geen gevalideerd bemestingsadvies. Eventuele gebreksverschijnselen kunnen op kleigrond en zeezand het beste worden bestreden door een bespuiting met magnesiumbladmeststoffen (www.handboekbodemenbemesting.nl). Hoewel er voor sommige grondsoorten geen op grondonderzoek gebaseerd bemestingsadvies is voor deze grondsoorten wordt ter informatie dezelfde indeling voor de waardering voor de Mg-toestand gehanteerd als bij zand- en dalgronden.

Ongeveer 80% van het areaal grasland op zand- en dalgronden heeft een toestand hoog (Tabel 4-1). Voor veen- en kleigrasland is dat percentage hoger dan 90%. Op bouwland op zand- en dalgrond is in ruim 90% van de situaties de toestand vrij hoog, hoog of zeer hoog. Voor bouwland op veen (komt weinig voor) en klei zijn de percentages goed en hoger respectievelijk 65% en ruim 90%. Op maisland op zand- en dalgrond is in ruim 40% van de situaties de toestand hoog of zeer hoog. Voor maisland op veen (komt weinig voor) en klei zijn die percentages ruim 80% en 70%.

Voor de zand- en dalgronden is op basis van de Mg-waardering in onderstaande tabellen te berekenen wat de gemiddelde Mg-bemestingsbehoefte (over een cyclus van 4 jaar) per ha bedraagt. De berekeningen geven aan dat gemiddeld respectievelijk 11, 27 en 31 kg MgO per ha per jaar nodig is op respectievelijk grasland, bouwland en mais op zand- en dalgronden. Dit is een hoeveelheid die ruimschoots gedekt wordt via de basisbemesting met dierlijke mest. Rundveedrijfmest bevat gemiddeld 1,2 kg MgO per ton mest. In het algemeen krijgen gras- en maisland duidelijk meer dan 30 m³ mest per ha. Daarmee is de gewasbehoefte meer dan gedekt. Op bouwland wordt naast rundmest ook wel varkensmest toegepast. Vanaf 20 m³ mest per ha is gemiddeld ook via varkensmest de Mg-behoefte gedekt. Vaak wordt bovendien nog aanvullend Mg gegeven met kunstmest.

Tabel 4-1. De Mg-toestand van **grasland** op zand- & dalgrond, veen en klei en de verdeling over het areaal in Noord-Nederland.

Waardering	Zand- & dalgrond		Veengrasland		Kleigrasland	
	%	ha	%	ha	%	ha
Hoog	80,7	113.320	94,6	22321	90,5	147.080
Voldoende	7,8	10.900	2,9	685	9,0	14.550
Vrij laag	11,4	15.970	2,4	566	0,5	840
Laag	0,2	230	0,1	16	0,01	10

Tabel 4-2. De Mg-toestand van **bouwland** op zand- & dalgrond, veen en klei en de verdeling over het areaal in Noord-Nederland.

Waardering	Zand- & dalgrond		Veen		Klei	
	%	ha	%	ha	%	ha
Zeer hoog	10,3	10.560				
Hoog	16,0	165.270	37,3	463	11,6	8.270
Vrij hoog	66,4	68.000				
Goed	6,6	6.760	27,2	337	81,1	57.790
Laag	0,1	100	35,6	442	7,1	5.070
Vrij laag	0,5	540			0,2	120

Tabel 4-3. De Mg-toestand van **maisland** op zand- & dalgrond, veen en klei en de verdeling over het areaal in Noord-Nederland.

Waardering	Zand- & dalgrond		Veen		Klei	
	%	ha	%	ha	%	ha
Zeer hoog	11,0	3.490				
Hoog	33,0	10.500	81,1	1.440	71,8	5.620
Ruim voldoende	52,3	16.620				
Voldoende	3,2	1.012	8,2	150	26,0	2.030
Laag	0,6	190	10,7	190	2,2	170

4.2 De magnesiumbalans voor de melkveehouderij

In Tabel 4-4 is de geschatte aan- en afvoerbalans voor Mg op een melkveebedrijf weergegeven (om praktische redenen is eerst begonnen met de afvoer). Verondersteld is een opbrengst 6 ton droge stof gras per ha aan gemaaid gras. De rest van het gras komt door beweiding direct weer op het grasperceel. In de praktijk kan de totale grasopbrengst variëren tussen 10 en 15 ton per ha (weiden en maaien samen). De opbrengst van mais is op 16 ton per ha gezet. De bandbreedte in maisopbrengsten is zeer groot. NMI heeft tussen 2008 en 2018 diverse praktijkproeven gehad op maisland. De opbrengsten varieerden van 10 tot meer dan 22 ton ds per/ha. Op basis van deze opbrengsten en bij een verdeling 80% gras en 20% mais bedraagt de gewasafvoer ~ 30 kg MgO per ha. (~16 kg Mg) met een bandbreedte van 20-40 kg per ha. (Overigens bedraagt de afvoer van Mg via

Tabel 4-4. De geschatte aan- en afvoer balans voor Mg op een melkveebedrijf met 80% grasland en 20% mais.

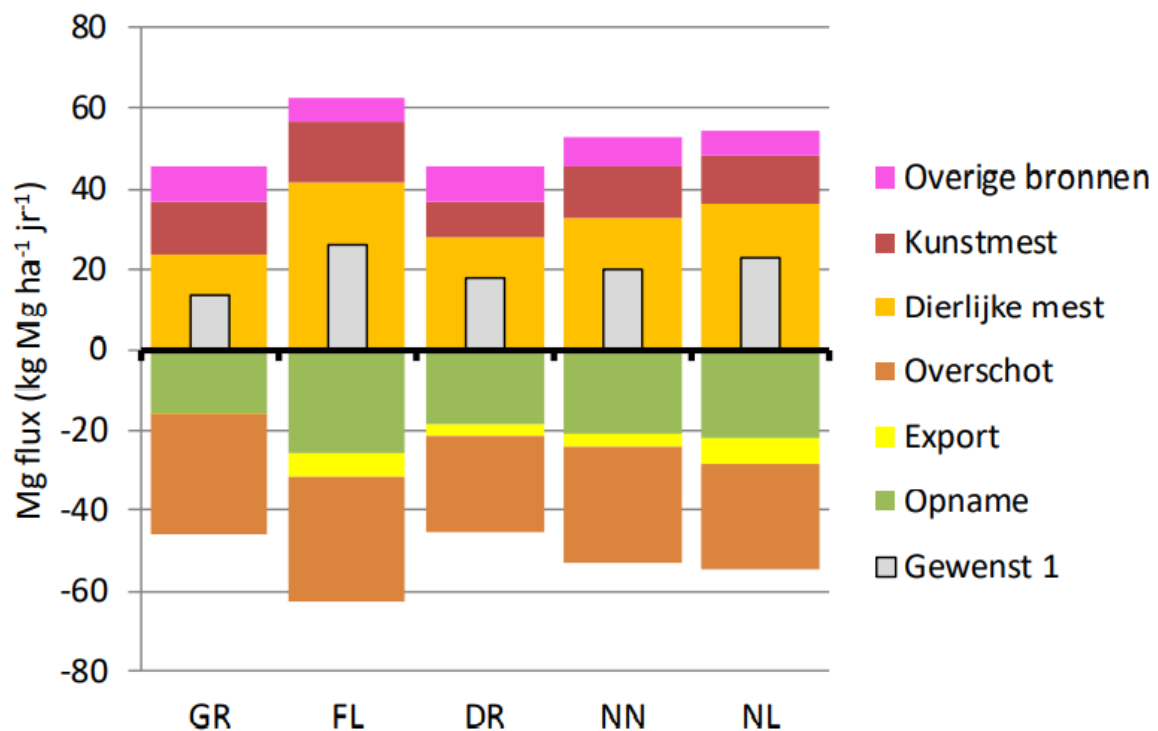
	Fractie	Opbrengst/ gift	Mg-gehalte (g/kg)	MgO-gehalte (g/kg)	MgO (kg/ha)
Afvoer					
<i>Via gewassen</i>		ton ds/ha			
Grasland (2 maaisneden)	0,8	12	2,5		20
maisland	0,2	16	1,3		7
Gemiddeld (kg/ha)					27
Aanvoer					
<i>Via mest</i>		m ³ /ha			
grasland	0,8	55		1,2	53
mais	0,2	35		1,2	8
Gemiddeld (kg/ha)					61
<i>Via kunstmest (kas)</i>		kg/ha			
grasland	0,8	350		0,04	11
mais	0,2	0		0,04	0
Gemiddeld (kg/ha)					11
<i>Via toevoegen MgCl₂</i>		m ³ /ha		extra Mg	
grasland	0,8	55	1,61		119
mais	0,2	35	1,61		19
Gemiddeld (kg/ha)					138
Overschot zonder MgCl₂					45
Overschot met MgCl₂					183

melk en vlees van het melkveebedrijf op ha basis maar enkele kilo's.)

Bij een bemesting van 55 m³ per ha op grasland en 35 m³ per ha op maisland bedraagt de gemiddelde aanvoer 61 kg MgO per ha (met een bandbreedte van ongeveer 10 kg). Naast dierlijke mest gebruiken de bedrijven kunstmest. Veelal varieert dit tussen 100 en 175 kg N per ha op grasland en tussen de 20-40 kg N via rijenbemesting op mais. De stikstofbemesting bestaat vooral na de eerste snede overwegend uit KAS. Deze meststof bevat veelal dolomiet als vulstof. Dat betekent dat per 100 kg meststof ook 4 kg MgO wordt aangevoerd. Bij een geschat gebruik van 350 kg kas per ha grasland komt dat overeen met 11 kg MgO (op maïsland wordt meestal geen kas gebruikt). Gemiddeld overtreft de huidige aanvoer uit mest en kunstmest dus de afvoer met ongeveer 45 kg per ha. Dat kan dus verklaren waarom de Mg-toestand relatief hoog is op de zand- en dalgronden. Bij toevoegen van MgCl₂ in de huidige dosering neemt het overschot aan MgO ongeveer met 140 kg per ha toe tot ongeveer 180 kg MgO per ha. Dat is ongeveer een factor vier.

Noord-Nederland is ook een belangrijk akkerbouwgebied. De afvoer van Mg met geoogst product bedraagt ruwweg 35, 50 en 20 kg MgO voor gewassen als suikerbieten, aardappelen en tarwe (inclusief het blad ofwel de gewasopname bedraagt ongeveer 80, 75 en 30 kg MgO). De afvoer per ha is gemiddeld wat lager dan op een melkveehouderijbedrijf. Vaak is de voorziening met mest al toereikend om de afvoer via het gewas te dekken, maar zeker bij belangrijke gewassen als aardappel en suikerbiet wordt ervoor gezorgd dat er ruim magnesium beschikbaar is door een aanvullende kunstmest- en of bladbemesting om eventuele risico's op tekorten uit te sluiten.

Enkele jaren geleden is een balansstudie uitgevoerd voor Noord-Nederland voor diverse mineralen (De Vries et al., 2017). Daaruit blijkt dat voor Noord-Nederland als geheel de Mg-balans (Figuur 4-1) ongeveer sluitend is. Naast dierlijke mest is ongeveer 15 kg Mg (25 kg MgO) per ha afkomstig uit kunstmest en ruim 5 kg uit andere bronnen. Gemiddeld bedraagt het overschot ongeveer 30 kg Mg (50 kg MgO) per ha. Dat is dus nog hoger dan dat hierboven is berekend voor de melkveehouderij.



Figuur 4-1. Een overzicht van de Mg-flux voor de provincies Groningen (GR), Friesland (FL), Drenthe (DR) en Noord-Nederland (NN), uit De vries et al. (2018).

5 Discussie en aanbevelingen

Met het toevoegen van MgCl_2 wordt rundveedrijfmest sterk verrijkt. Het MgO -gehalte stijgt van 1,2 naar 3,9 MgO per m^3 . Deze toevoeging wordt gedaan om struvietvorming te realiseren waarbij het in mest aanwezige minerale fosfaat gebonden wordt met ammonium en magnesium. Daardoor neemt de drijvende kracht voor ammoniakemissie uit mest af. Eerste meetresultaten duiden op 30-40% reductie. Dit is erg hoog daar via struvietvorming maar ongeveer 15% van het aanwezige ammonium wordt vastgelegd. Niet duidelijk is waarom er zo'n hoge reductie wordt gemeten. Mogelijk wordt ook de ureumhydrolyse geremd. Indien de pH van de mest daalt (niet waarschijnlijk) zou ook de emissie kunnen dalen. Nader onderzoek moet uitwijzen of de emissiereductie bij mest die al een tijd in de opslag heeft gezeten gelijk is aan die van vers van de koe (waar de N in urine nog overwegend in ureumvorm is).

Het toevoegen van MgCl_2 aan mest heeft een aantal voordelen. In het algemeen is het Mg-gehalte in gras aan de lage kant in het vroege voorjaar. Dit komt enerzijds door een lage temperatuur en anderzijds door een vrij hoge K-gift met mest. Door de sterke stijging van het MgO -gehalte van mest zal het Mg-gehalte van voorjaarsgras ook stijgen. Daarnaast kan struviethoudende mest op grasland de fosfaatbeschikbaarheid verhogen. Dat is gewenst in het vroege voorjaar vooral op die percelen met een lage fosfaattoestand. Of dit effect erg groot is kan monitoring uitwijzen. Mogelijke nadelen of risico's zijn dat struvietvorming kan leiden tot neerslagvorming die zich gaat afzetten op de bodem van de mestput. Ook kan op kleigrond een hoge aanvoer van Mg negatief werken op de structuur van de bodem doordat het een groter aandeel in gaat nemen in de bezetting van het adsorptiecomplex waardoor het zwelgedrag zou kunnen toenemen. (Op zandgronden speelt dit effect niet.) De verwachting is dat dit op korte termijn zeker niet het geval zal temeer weer (veel neerslag) en bekalking ook van invloed zijn op de bezetting van het adsorptiecomplex. Of dit op langere termijn echt gaat optreden is afhankelijk van het structurele overschot op de Mg-balans. Deze bedraagt voor Noord-Nederland nu al 40- 60 MgO per ha op basis van de huidige landbouwkundige praktijk. Met het toevoegen van MgCl_2 neemt dat in de melkveehouderij met ongeveer 140 kg per ha toe op basis van de huidige doseringsvoorschriften waarbij vijf keer zoveel Mg (op molaire basis) wordt gegeven dan dat er aan ammonium (op molbasis) kan worden gebonden. Kernvraag zou dan ook kunnen zijn is deze hoge overdosering aan Mg echt nodig om de gemeten emissiereductie te realiseren. Volstaat de helft ook, ook al zou het effect op de emissiereductie iets lager kunnen zijn? Het balansoverschot op perceelsniveau daalt daarmee sterk. Bovendien nemen de kosten voor de veehouder af om de emissie te beperken via het toevoegen van MgCl_2 . Mitigerende maatregelen zijn beperkt mogelijk. In de praktijk worden nu ook magnesiumhoudende minerale meststoffen toegepast. Deze kunnen achterwege blijven indien struviethoudende mest wordt toegepast. Dit kan in het geval van de rundveehouderij 10-20 kg minder aanvoer van MgO opleveren. Bij akkerbouwmatige teelten kan dit nog beduidend hoger zijn. De combi van geen aanvoer van Mg via kunstmest en bijvoorbeeld een halvering van de MgCl_2 dosering kan het overschot op perceelsniveau van de berekende 180 kg (Tabel 4-4) naar ongeveer een overschot van 100 kg per ha terugbrengen.

Op basis van de uitgevoerde studie zijn *geen grote nadelen* te verwachten voor het milieu en de bodemkwaliteit door het in overmaat bemesten van percelen met magnesium. Er geldt echter nog wel een ander criterium en dat is om zo efficiënt mogelijk om te gaan met grond en hulpstoffen en specifiek vanuit de optiek van bemesting niet meer nutriënten geven dan strikt noodzakelijk is. Dit

dient afgewogen te worden tegen het grote belang van het verminderen van ammoniakemissies, wat via de toevoeging van MgCl_2 op een laagdrempelige manier kan.

Conclusies:

- Het toevoegen van extra MgCl_2 aan mest leidt tot een verhoging van het magnesiumoverschot op melkveehouderij bedrijven met een factor vier.
- Het is niet te verwachten dat het toevoegen van extra MgCl_2 aan mest om de struvietvorming te stimuleren negatief uitwerkt op de bodemkwaliteit. Alleen op kleibouwland is er op langere termijn een risico dat het zwelgedrag toeneemt.
- Het is onduidelijk waarom vijf keer zoveel MgCl_2 wordt toegediend dan nodig is om alle aanwezige fosfaat om te zetten in struviet. Waarschijnlijk kan ook met minder MgCl_2 worden volstaan.

Aanbevelingen:

- Het wordt aangeraden om nader te onderzoeken of het doseringsvoorschrift voor MgCl_2 aan mest niet fors naar beneden kan worden bijgesteld.
- Het wordt aangeraden om nader te onderzoeken of de gemeten ammoniakemissiereductie onder alle omstandigheden wordt gerealiseerd en of een lagere dosering een groot effect heeft op de emissiereductie.
- Het kan zinvol zijn om de graskwaliteit te monitoren in het voorjaar op minerale samenstelling (waaronder P en Mg).

Literatuur

- Anonymus** (2021). *Wapeningscorrosie door chloride*. <https://www.vbr.nl/uploads/Techn-2-3-Wapeningscorrosie-door-chloriden507ff3337a7a5.pdf>
- Bussink W, Specken J & De Haan J** (2020). Effecten bemesting K, Mg, Ca, N, Cl en hun interacties op de gewasopbrengst en –kwaliteit. NMI Wageningen, rapport 1763, pp. 43
- CVB** (2005). *Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten*. Commissie Onderzoek Minerale Voeding. Pp. 228
- De Vries W, Kros H, Voogd JC, van Duivendijk K & Ros G** (2017). *Sluiten regionale mineralenkringlopen Noord-Nederland*. WenR, Wageningen, Rapport 2925. Pp71. (<https://edepot.wur.nl/467746>)
- Dontsova KM & Norton LD** (2002). *Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg*. Soil Science. 167(3):184-193.
- Ehlert PAI, van Dijk TA & Oenema** (2013). *Opname van struviet als categorie in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet*. WOt-werkdocument 332. Wageningen. Pp. 98
- Hauer-Jákli M & Tränkner M** (2019). *Critical Leaf Magnesium Thresholds and the Impact of Magnesium on Plant Growth and Photo-Oxidative Defense: A Systematic Review and Meta-Analysis From 70 Years of Research*. Frontiers in Plant science, Volume 10, article 766. P. 1-10.
- Lindsay WL, Vlek PLG & Chen SH** (1989). Chapter 22. Phosphate minerals. In: **Dixon JB and Weed SB (Eds.)**, Minerals in Soil Environments. Second Edition. Soil Science Society of America Book Series; no 1. ISBN 0-89118-787-1, pp. 1089-1130.
- Mengel K & Kirkby EA** (1987). *Principles of plant nutrition*. Fourth edition, International Potash Institute, Bern, Switzerland, 687 pp.
- Montag D, Gethke K, Everding W & Pinnekamp J** (2009). *Nährstoff- und Schadstoffgehalte in Sekundärphosphaten*. GWA Band 217, 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Aachen 2009, ISBN 978-3-938996-23-2.



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl