



---

# Toevoegen van magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) aan runderdrijfmest

Huidige stand van zaken van onderzoek naar het effect van MgCl<sub>2</sub> in mest op emissies,  
bodem en gewas

Emma van Boxmeer, Jantine van Middelkoop, Hendrik Jan van Dooren

Rapport 1428



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



# Toevoegen van magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) aan runderdrijfmest

Huidige stand van zaken van onderzoek naar het effect van MgCl<sub>2</sub> in mest op emissies, bodem en gewas

Emma van Boxmeer, Jantine van Middelkoop, Hendrik Jan van Dooren

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research en gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema 'A1 Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht' (projectnummer BO-43-101-055).

Wageningen Livestock Research  
Wageningen, juni 2023

---

Rapport 1428

---

Van Boxmeer, E.G.G., J.C. van Middelkoop, H.J.C. van Dooren, 2023. *Toevoegen van magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) aan runderdrijfmest; Huidige stand van zaken van onderzoek naar het effect van MgCl<sub>2</sub> in mest op emissies, bodem en gewas*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1428.

In de afgelopen jaren is door verschillende partijen onderzoek gedaan naar de werking en effecten van toepassing van magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) als toevoegmiddel aan (drijf)mest. De interesse naar emissie reducerende maatregelen in de veehouderij, waaronder additieven aan mest is groot. Dit heeft geleid tot de vraag van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) naar een overzichtsdokument waarin de huidige beschikbare kennis over de effecten van het toevoegen van MgCl<sub>2</sub> aan mest wordt samengebracht en in perspectief worden geplaatst. Uit de beschikbare informatiebronnen kan worden geconcludeerd dat MgCl<sub>2</sub> tot een reductie van de ammoniakemissie uit melkveestallen kan leiden en dat er mogelijk ook een emissiereductie plaatsvindt bij toediening van mest. Borging van de toediening van de gewenste hoeveelheid MgCl<sub>2</sub> moet nog verder (technisch) ontwikkeld worden. Op gebied van bemesting, bodem en gewas worden positieve effecten gemeld na toediening van drijfmest met MgCl<sub>2</sub>. Er zijn geen resultaten van onderzoek gevonden die deze aannames ondersteunen of bevestigen. Wel is duidelijk geworden dat bij de benodigde doseringen van MgCl<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> mest de hoeveelheid magnesium en chloride tot overbemesting, mogelijke uitspoeling of ophoping in de bodem en nadelige gevolgen voor bodem, gewas en grondwater kan leiden en dat er extra kosten in de bedrijfsvoering mee gemoeid zijn. Effecten op bodem en gewas bij langdurig gebruik zijn nog onbekend en vragen nader onderzoek.

In recent years, research has been done into the working principle and effects of addition of magnesium chloride to (liquid) manure. There is great interest in emission reducing measures in livestock farming, including additives to manure. This has led to a request from the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality (LNV) for an overview in which the currently available knowledge about the effects of adding MgCl<sub>2</sub> to manure is brought together and placed into perspective. It can be concluded from the available sources of information that MgCl<sub>2</sub> can lead to a reduction of ammonia emissions from dairy barns and that an emission reduction may also take place when manure with MgCl<sub>2</sub> is applied to the field. Securing the administration of the desired amount of MgCl<sub>2</sub> still needs to be further developed. Positive effects are claimed in terms of fertilization, soil quality and crop production when manure with MgCl<sub>2</sub> is applied, but no research results have been found to support or confirm these claims. However, it has become clear that when the necessary doses of MgCl<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> of manure are used, the amount of magnesium and chloride can lead to overfertilization, which possibly leads to leaching or accumulation of magnesium and chloride in the soil and adverse effects on soil, crop and groundwater quality. Furthermore, use of MgCl<sub>2</sub> leads to additional operational costs. The effects on soil and crop quality on the long-term are still unknown and require further research.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/631674> of op [www.wur.nl/livestock-research](http://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, 2023

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 gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1428

---

# Inhoud

<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding	9
1.2 Doel en vraagstelling	9
1.3 Aanpak	10
<b>2 Literatuur en onderzoeksresultaten</b>	<b>11</b>
2.1 Literatuur	11
2.1.1 Vorming van struviet om ammonium vast te leggen	11
2.1.2 Invloed van zuurgraad	12
2.1.3 Ammoniumvastlegging door struvietvorming in runderdrijfmest	12
2.2 Samenstelling magnesiumchloride-oplossing (32%)	14
2.3 Pottenproeven door Meet-ID	14
2.4 Emissiemetingen op stalniveau	15
2.5 Borging met centrale aansturing op afstand	20
2.6 Bodem en gewas	21
2.6.1 Bemestingsadviezen	21
2.6.2 Toevoeging extra magnesium aan bodem door toevoeging $MgCl_2$ aan mest	22
2.6.3 Plantbeschikbaarheid van fosfaat en ammonium in struviet	23
2.6.4 Toevoeging van chloride aan mest	25
2.6.5 Bodem- en gewasanalyses uit de praktijk	25
<b>3 Aanvullende inzichten</b>	<b>26</b>
3.1 Kosten in bedrijfsvoering	26
3.2 Eiwitgehalte in rantsoen	26
3.3 Mestaanwending	27
3.4 Verdunningseffect	27
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>29</b>
<b>Literatuur</b>	<b>31</b>
<b>Bijlage 1: Vragen LNV</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage 2: Ontvangen bestanden van Nedmag (31-08-2022)</b>	<b>35</b>
<b>Bijlage 3: Plantbeschikbaarheid van fosfaat in struviet in gewasproeven</b>	<b>36</b>



---

# Woord vooraf

Medewerkers van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) kunnen via de Kennisdesk LNV kennisvragen indienen bij Wageningen University Research (WUR). In dit rapport worden antwoorden gegeven op een aantal vragen die aan Wageningen Livestock Research (WLR) zijn gesteld over de huidige stand van zaken omtrent de effecten van het toedienen van magnesiumchloride ( $MgCl_2$ ) aan drijfmest van melkvee (KD-2021-078). Bij de beantwoording van de vragen is gebruik gemaakt van beschikbare openbare kennis, voorlopige resultaten van lopend onderzoek en informatie die door de firma's Nedmag B.V. en FarMin B.V. ter beschikking is gesteld. In de tekst wordt via bronvermelding de oorsprong van de informatie aangegeven. Er is veel belangstelling naar de werking van  $MgCl_2$ , waardoor momenteel verschillende onderzoeken worden gedaan om het product verder te ontwikkelen. Dit rapport is een samenvatting van de huidige stand van zaken. We danken Anko Vos (Nedmag B.V.), Rob van Vliet (Nedmag B.V.) en Andries Huisman (FarMin B.V.) voor hun medewerking.

De auteurs





---

# Samenvatting

## Introductie

In Nederland wordt  $MgCl_2$  als oplossing in water (pekkel) gewonnen door Nedmag B.V. in Noord-Nederland (Veendam).  $MgCl_2$  kent verschillende toepassingen, waaronder sinds kort als toevoeging aan (drijf)mest. Door toevoeging van  $MgCl_2$  kan struviet gevormd worden, wat een complex van magnesium, fosfaat en ammonium is. Er berusten verschillende claims op de effecten van de toevoeging van extra magnesium aan mest. Door de vastlegging van ammonium in struviet, kan deze ammonium niet meer als ammoniak naar de omgeving emitteren. Hiermee zou zowel de ammoniakemissie uit de stal als die tijdens aanwending van mest kunnen worden gereduceerd. Verder wordt aangenomen dat struviet zich aan gronddeeltjes hecht, waardoor de werkzame stoffen, met name stikstof, langzamer worden afgegeven. Dit zou kunnen resulteren in betere wortelstructuur, hogere gewasopbrengst en betere verteerbaarheid voor de koeien. In de afgelopen jaren is door verschillende partijen onderzoek gedaan naar de werking en toepassing van het toevoegen van magnesiumchloride ( $MgCl_2$ ) aan (drijf)mest. Door veranderende wet- en regelgeving groeit de interesse naar emissie reducerende maatregelen in de veehouderij waaronder additieven aan mest die de ammoniakemissies uit mest reduceren. Dit heeft geleid tot de vraag van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) naar een overzichtsdokument waarin de huidige beschikbare kennis over het toevoegen van  $MgCl_2$  aan mest naar aanleiding van de resultaten en bevindingen uit deze verschillende onderzoeken worden samengebracht en in perspectief worden geplaatst.

## Bevindingen literatuur/pottenproeven

Er is veel (wetenschappelijke) literatuur beschikbaar over struvietvorming, voornamelijk met het doel om fosfaten terug te winnen uit afvalwater of mest. Verschillende onderzoeken op laboratoriumschaal hebben aangetoond dat circa 40% van de ammoniakemissie uit mest wordt gereduceerd als magnesium wordt toegevoegd. Wel zijn meerdere factoren van invloed op de vorming van struviet en daarmee op de ammoniakemissiereductie. De pH van de mest heeft invloed op de evenwichten tussen verschillende vormen fosfaat en stikstof, bijvoorbeeld tussen ammoniak en ammonium. De ideale pH voor struvietvorming ligt tussen 8,5 en 9,5. Bij een hogere pH kan magnesium worden verdrongen door kalium, waardoor kaliumstruviet ontstaat. In kaliumstruviet wordt wel fosfaat vastgelegd, maar geen ammonium. Ook de aanwezigheid van grote hoeveelheden calcium leiden tot verminderde struvietvorming, omdat fosfaat dan wordt gebonden tot calciumfosfaat. Daarnaast heeft de dosering van  $MgCl_2$  invloed op de ammoniakemissiereductie en kan toevoegen van fosfaat leiden tot meer struvietvorming.

## Bevindingen praktijkonderzoek

Naast het beschreven onderzoek op laboratorium- en pilotschaal is in de literatuur geen grootschaliger onderzoek (in de praktijk) aangetroffen naar het effect van  $MgCl_2$  in rundermest op emissies. Daarom is in 2021 gestart met een onderzoek op semi-praktijkschaal op Dairy Campus in Leeuwarden. Het onderzoek bestaat uit twee fasen en beide fasen hebben als doel om vast te stellen wat de mogelijk effecten van de toevoeging van  $MgCl_2$  aan rundermest op de ammoniakemissie op stalniveau zijn. De in deze rapportage beschreven resultaten zijn voorlopig en nog niet gereviewd. De definitieve resultaten worden in een nog te verschijnen rapportage uitvoeriger beschreven.

Tijdens de eerste fase is de ammoniakemissie gemeten met en zonder dieren, zijn twee doseringen  $MgCl_2$  (10 of 25 liter per  $m^3$  mest) vergeleken met geen toevoeging van  $MgCl_2$  en is eenmalige toediening vergeleken met dagelijkse toediening. Uit de resultaten blijkt dat eenmalig toedienen van  $MgCl_2$  zoals gebruikelijk is in de praktijk en in pottenproeven geeft effect had op ammoniakemissie op stalniveau. Wel is emissiereductie waargenomen wanneer  $MgCl_2$  dagelijks wordt toegediend. Met dagelijkse toediening werd een gemiddelde ammoniakemissiereductie van circa 20% behaald.

Naar aanleiding van de bevindingen uit de eerste fase, is de tweede fase gericht op het effect van dosering en concentratie van  $MgCl_2$  en de frequentie van toediening op de ammoniakemissie. Met deze metingen is bevestigd dat dagelijks toedienen van  $MgCl_2$  leidt tot een reductie in ammoniakemissie en dat deze reductie

---

toeneemt bij een toenemende hoeveelheid  $MgCl_2$ . Verder is duidelijk geworden dat de reductie ook toeneemt als eenzelfde hoeveelheid  $MgCl_2$  verdeeld wordt over meerdere toedieningsmomenten.

### **Bevindingen bodem**

Door  $MgCl_2$  toe te voegen aan de mest in de stal, wordt ook extra magnesium en chloride toegevoegd op het land. Met de gebruikelijke gift rundveedrijfmest wordt al voldoende magnesium toegediend om het onderhoudsadvies te bereiken op gras en maisland, dus elke toevoeging van  $MgCl_2$  aan deze mest leidt tot een dosering die boven het onderhoudsadvies ligt. In het bemestingsadvies wordt afgeraden om meer dan het magnesiumadvies te bemesten. Een overmaat van magnesium leidt tot verslechtering van de structuur van de bodem. Hoewel niet wenselijk kan magnesium wel uitspoelen, zodat daarmee de overmaat uit de bodem kan verdwijnen. Toch zal bij een jaarlijkse bemesting die hoger is dan de onttrekking het magnesiumgehalte in de bodem toenemen. Daarnaast zal een overmaat van magnesium de opname van andere kationen door het gewas verdringen, zoals natrium, kalium en calcium. Dit kan een negatief effect hebben op melkvee omdat er onbalans ontstaat in de voeding van de dieren.

De verwachting met betrekking tot eventuele extra beschikbaarheid van nutriënten voor het gewas is dat de plantbeschikbaarheid van fosfaat in behandelde mest vergelijkbaar zal zijn als voor onbehandelde dierlijke mest. Voor stikstof geldt dat wanneer de in struviet vastgelegde stikstof in de mest blijft, dat de kunstmestgift met of zonder derogatie dan respectievelijk met circa 5 of 2,5% kan worden verminderd. De toediening van extra chloride ( $Cl^-$ ) zou bij hoge doseringen  $MgCl_2$  in mest tot overschrijdingen van de  $Cl^-$  norm in grondwater kunnen leiden.

### **Aanvullende inzichten**

Toevoeging van  $MgCl_2$  in de mestkelder leidt tot verminderde ammoniakemissie door vorming van struviet. De verwachting is dat deze vastgelegde ammonium niet alsnog zal emitteren wanneer de mest wordt aangewend zolang de struviet binding in takt blijft.

Het toedienen van  $MgCl_2$  brengt extra kosten met zich mee, welke afhankelijk zijn van de dosering. Een dosering van 10 liter  $MgCl_2$  per kuub mest zal voor een gemiddeld melkveebedrijf met 100 melkkoeien circa €14.000 aan extra kosten betekenen. Dit betreft enkel de kosten voor het toevoegmiddel en eventuele overige kosten zoals leveringskosten of jaarlijkse kosten voor een doseersysteem komen hier nog bij. Daarnaast kan de prijs voor  $MgCl_2$  nog veranderen het middel met hogere dosering of op groter schaal wordt toegepast.

Verlagen van de Onbestendig Eiwit Balans (OEB) in het rantsoen van melkkoeien leidt tot lagere ureumgehalten in de urine en lagere ammoniakemissies. Aangezien ammonium niet beperkend is in de vorming van struviet, is de verwachting dat een verlaagd eiwitgehalte in het rantsoen niet leidt tot verminderde vorming van struviet in de mest. Dit is echter een theoretische benadering en metingen zullen uit moeten wijzen of deze theorie klopt.

$MgCl_2$  wordt aan de mest toegevoegd als oplossing (32%) en hierdoor wordt ook water aan de mest toegevoegd. Echter is deze hoeveelheid relatief laag, waardoor het onwaarschijnlijk is dat het verdunningseffect van het toedienen van  $MgCl_2$  oplossing aan de mest een verklaring was voor de ammoniakemissiereductie.

### **Conclusie**

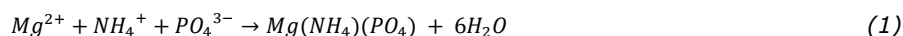
$MgCl_2$  kan een (beperkte) ammoniakemissiereductie geven in stallen (en mogelijk bij aanwending), maar de praktische toepassing dient nog verder ontwikkeld te worden. De huidige benodigde doseringen van 10-30 l/m<sup>3</sup> mest leiden tot nadelige gevolgen voor bodem, gewas en grondwater en hoge kosten in de bedrijfsvoering. Voornamelijk op het gebied van bodem en gewas worden grote voordelen geclaimd, maar het is nog niet duidelijk wat hier (op lange termijn) gebeurt. Momenteel wordt op verschillende gebieden aanvullend onderzoek gedaan naar effecten van  $MgCl_2$ , bijvoorbeeld naar (lagere) dosering en frequentie bij toediening in de stal en emissies bij het aanwenden van de behandelde mest op het land. Ook wordt de toepassing verder ontwikkeld.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Magnesium is één van de aardalkalimetalen dat in de natuur alleen in samenstelling met andere stoffen voorkomt. Het kan een verbinding aangaan met waterstofchloride (HCl) om zo magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) te vormen. Naast natriumchloride (NaCl) is MgCl<sub>2</sub> de meest voorkomende zoutcomponent in zeewater. Door verdamping van voormalige (binnen)zeeën zijn zoutlagen ontstaan die later zijn bedekt met nieuwe kleilagen. Ook in de Nederlandse bodem zijn zoutlagen aanwezig die zijn gevormd door verdamping van de voormalige Zechsteinzee. In Nederland wordt MgCl<sub>2</sub> als oplossing in water (pekkel) gewonnen door Nedmag B.V. in Noord-Nederland (Veendam). MgCl<sub>2</sub> kent verschillende toepassingen in de levensmiddelenindustrie, maar wordt ook gebruikt in cement, als strooizout en bij afvalwaterzuivering. Een nieuwe toepassing is het toevoegen van MgCl<sub>2</sub> aan (drijf)mest, waardoor struviet kan worden gevormd. Struviet is een complex van magnesium, (ortho-)fosfaat en ammonium en wordt gevormd via de volgende reactievergelijking:



In dierlijke mest is naast fosfaat en ammonium van nature ook magnesium aanwezig, waardoor altijd struviet wordt gevormd. Er worden verschillende effecten geclaimd van de toevoeging van extra magnesium aan mest. Door de vastlegging van ammonium in struviet, kan deze ammonium niet meer als ammoniak naar de omgeving emitteren. Hiermee zou zowel de ammoniakemissie uit de stal als tijdens aanwending van mest kunnen worden gereduceerd. Vermindering van de ammoniakemissie uit de veehouderij moet uiteindelijk leiden tot minder stikstofdepositie in kwetsbare natuurgebieden en minder bodemverzuring en -vermesting. Daarnaast kan minder ammoniakemissie in de stal ook leiden tot een beter stalklimaat en daardoor een beter welzijn van de dieren (Vermeer & Hopster, 2017). Verder wordt aangenomen dat struviet zich aan gronddeeltjes hecht, waardoor de werkzame stoffen, met name stikstof, langzamer worden afgegeven. Dit zou volgens gebruikers kunnen resulteren in betere wortelstructuur, hogere gewasopbrengst en betere verteerbaarheid van het gewas voor de koeien. Het werkingsmechanisme van deze effecten en aan welk bestanddeel dit te danken zou zijn, wordt echter niet aangegeven. Aan de andere kant kan de hogere stikstoftoediening leiden tot grotere verliezen door uitspoeling, wanneer dit niet wordt gecompenseerd met minder kunstmest. De toevoeging van MgCl<sub>2</sub> aan mest in de stal kan dus ook effect hebben verderop in de mestketen, zowel positief als negatief.

In de afgelopen jaren is door verschillende partijen onderzoek gedaan naar de werking en toepassing van het toevoegen van MgCl<sub>2</sub> aan (drijf)mest. Door veranderende wet- en regelgeving groeit de interesse naar emissie reducerende maatregelen in de veehouderij waaronder het toevoegen van additieven aan mest die de ammoniakemissies uit mest reduceren. Additieven aan mest hebben in het algemeen het voordeel dat ze eenvoudig toepasbaar zijn, ook bij bestaande bedrijven en worden daarmee vaak gezien als "laaghangend fruit". Dit heeft geleid tot de vraag van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) naar een overzichtsdokument waarin de huidige beschikbare kennis over het toevoegen van MgCl<sub>2</sub> aan mest naar aanleiding van de resultaten en bevindingen uit deze verschillende onderzoeken worden samengebracht en in perspectief worden geplaatst. Deze vraag (KD-2021-078) is gesteld aan de Kennisdesk LNV van Wageningen University & Research (WUR) en uitgevoerd door Wageningen Livestock Research (WLR).

## 1.2 Doel en vraagstelling

Het doel van dit project is het samenbrengen van beschikbare (wetenschappelijke) informatie over de effecten van het toedienen van MgCl<sub>2</sub> aan drijfmest in de kelder van melkveestallen en het gebruik van deze mest als meststof. De centrale vraagstelling luidt: *welk effect op ammoniakemissie, bodem en gewas kan op basis van beschikbare bronnen verwacht worden van het toedienen van MgCl<sub>2</sub> aan runderdrijfmest?*

---

Aanvullende (secundaire) vragen staan beschreven in Bijlage 1. Hiertoe worden de effecten op ammoniakemissies in de stal en bij aanwending en het effect van  $MgCl_2$  in mest op bodem en gewas beschreven.

## 1.3 Aanpak

De gestelde vragen zijn opgenomen in Bijlage 1 van dit rapport. Voor de beantwoording is allereerst literatuuronderzoek gedaan naar het werkingsprincipe en naar reeds uitgevoerd onderzoek naar de toevoeging van  $MgCl_2$  aan mest. Hierbij is gebruik gemaakt van internationale wetenschappelijke literatuur, vertrouwelijke onderzoeksrapporten die ter beschikking zijn gesteld door Nedmag B.V. en openbare onderzoeksrapporten. Daarnaast is gesproken met vertegenwoordigers van twee bedrijven die betrokken zijn bij de toepassing van  $MgCl_2$  in de veehouderij, namelijk Nedmag B.V. uit Veendam en FarMin B.V. uit Gorredijk. Nedmag B.V. is het mijnbouwbedrijf dat in Noord-Nederland zout wint uit de bodem. FarMin B.V. neemt de 32%  $MgCl_2$  oplossing af van Nedmag en verkoopt sinds 2015 het product onder de naam FarMin-G aan melkveehouders. De vertegenwoordigers hebben tijdens het gesprek de werking en de effecten van het toevoegen van  $MgCl_2$  aan mest toegelicht en waar mogelijk onderbouwd met resultaten van eigen (wetenschappelijk) onderzoek (zie Bijlage 2 voor een overzicht van de ontvangen informatie). Alle beschikbare informatie is beoordeeld op geschiktheid en bruikbaarheid, gestructureerd en zo nodig samengevat weergegeven in dit rapport. In Hoofdstuk 2 worden de primaire vragen beantwoord op basis van de aangedragen en beschikbare informatiebronnen en eerste bevindingen van praktijkproeven. In Hoofdstuk 3 worden de aanvullende vragen behandeld. Er is veel belangstelling naar de werking van  $MgCl_2$ , waardoor momenteel verschillende onderzoeken worden gedaan om het product verder te ontwikkelen. Dit rapport is een samenvatting van de huidige stand van zaken.

---

## 2 Literatuur en onderzoeksresultaten

In dit hoofdstuk worden op basis van de aangedragen en beschikbare informatiebronnen de primaire vragen behandeld (Bijlage 1). Begonnen wordt met een overzicht van literatuur en beschrijving van daarin gevonden laboratoriumproeven. Vervolgens worden voorlopige resultaten van een praktijkproef beschreven en dit hoofdstuk wordt afgesloten met het effect van MgCl<sub>2</sub> in mest op bodem en gewas.

### 2.1 Literatuur

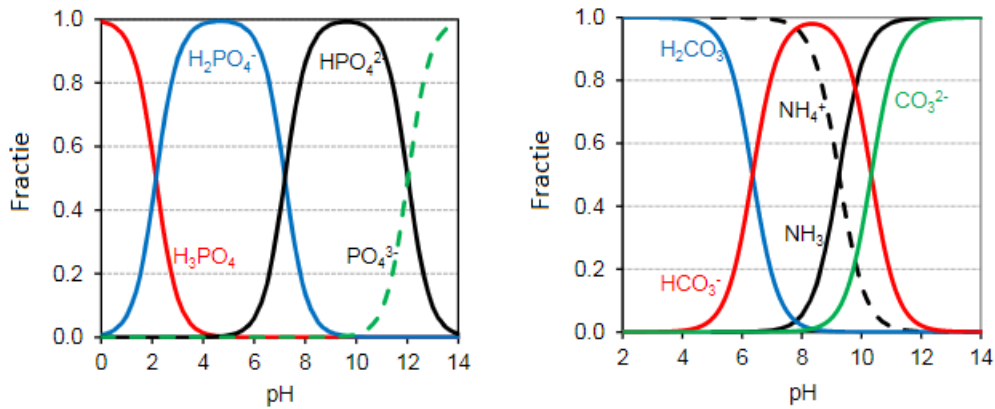
Het toevoegen van magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) is een bekende techniek uit de waterzuivering en wordt daar gebruikt om fosfaat uit afvalwater terug te winnen. Over de toevoeging van MgCl<sub>2</sub> bij waterzuivering is relatief veel (wetenschappelijke) literatuur beschikbaar (o.a. Doyle & Parsons, 2002; Le Corre et al., 2009; Siciliano et al., 2020). Ook in dierlijke mest is onderzocht of door toevoeging van magnesium, en de daaropvolgende struvietvorming, fosfaat kan worden teruggewonnen om mestafzetkosten te verlagen (Burns et al., 2001; Burns et al., 2003). Schoumans et al. (2014;2017) hebben onderzoek gedaan naar het verlagen van het fosfaatgehalte van varkensmest door het eerst te scheiden, vervolgens aan de dunne fractie verschillende vormen van magnesium toe te voegen en dit nogmaals te scheiden. De dunne fractie uit de tweede scheidingsstap wordt bij de dikke fractie uit de eerste scheidingsstap gevoegd om zo per saldo mest met een lager fosfaatgehalte te produceren. Afhankelijk van de vorm waarin magnesium is toegediend, magnesiumhydroxide (Mg(OH)<sub>2</sub>), magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>) of magnesiumoxide (MgO), en de pH kon 38 – 81% van de totale hoeveelheid fosfaat worden teruggewonnen. Regelink et al. (2019) hebben voortbordurend op dit onderzoek het systeem uitgebreid met twee aanzuringsstappen en meerdere scheidingsstappen. Hiermee kon door toevoeging van Mg(OH)<sub>2</sub>, afhankelijk van het gebruikte zuur tijdens de aanzuurstap en de pH, 53 – 90% fosfaat worden teruggewonnen. Çelen et al. (2007) en Gong et al. (2018) laten vergelijkbare resultaten zien voor respectievelijk varkensmest en vergiste rundveemest.

#### 2.1.1 Vorming van struviet om ammonium vast te leggen

Vanwege veranderende wet- en regelgeving groeit de interesse naar de vastlegging van ammonium in struviet door toevoeging van magnesium aan de mest. Het grootste deel van de uitgescheiden stikstof in urine van melkvee is in de vorm van ureum (Dijkstra et al., 2013). Gekatalyseerd door het enzym urease, dat voorkomt in de feces, wordt ureum omgezet in ammoniak (NH<sub>3</sub>) (zie vergelijk 2) dat vervolgens een evenwicht vormt met ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (vergelijking 3).



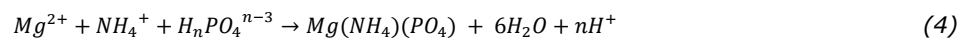
Ammonium is niet vluchtig, maar ammoniak wel. Op de plek waar mest in contact is met de lucht, kan ammoniak overgaan naar gasvormige toestand en vervluchtigen (emitteren). De ammonium die is gebonden in struviet kan niet meer emitteren. Witter & Kirchmann (1989) hebben in een incubatieproef met pluimveemest aangetoond dat toevoeging van 0,2 of 0,4 mmol MgCl<sub>2</sub> per gram mest resulteert in respectievelijk 42 en 52% ammoniakemissiereductie. Daarnaast was ook de CO<sub>2</sub> emissie 11% lager, onafhankelijk van de dosering. Onderzoek naar toevoeging van MgCl<sub>2</sub> en fosfaat tijdens het composteren van zuiveringsslib laat zien dat als de ammoniumconcentratie in het slib tijdens het composteringsproces toeneemt, de ammoniak- en methaanemissie met respectievelijk 58% en 22% afneemt (Li et al., 2020). Echter, de N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> emissies waren hoger dan de controle, maar dit verschil was niet significant. Lee et al. (2009) hebben ook in varkensmest aangetoond dat het toevoegen van MgCl<sub>2</sub> tijdens het composteren van varkensmest leidt tot lagere ammoniakemissies.



**Figuur 1** Afhankelijkheid zuurgraad (pH) van orthofosfaten (links), ammonia en koolstof (rechts) bij 25 graden Celcius (Tao et al., 2016).

### 2.1.2 Invloed van zuurgraad

Uit Figuur 1 blijkt dat pH een effect heeft op de mogelijke vorming tot struviet, doordat het evenwicht tussen ammonium en ammoniak tussen pH 8 en 10 omslaat. Bij een lage pH zal dus minder ammoniak beschikbaar zijn om te emitteren, omdat het evenwicht richting het niet vluchtige ammonium verschuift. In de praktijk wordt dit toegepast door mest aan te zuren (Puente-Rodríguez et al., 2022). Ehlert et al. (2020) hebben dit effect op laboratoriumschaal aangetoond door de pH van mest te verhogen door natriumhydroxide (NaOH) toe te voegen. De mest met een pH van 9,0 (met NaOH) gaf circa twee keer zo veel ammoniakemissie vergeleken met de uitgangsmest met een pH van 7,2. De pH heeft ook invloed op de vorm waarin het orthofosfaat aanwezig is in de mest (Figuur 1). De vorm van orthofosfaat is echter niet beperkend voor de vorming van struviet, waardoor de reactievergelijking (4) van struviet ten opzichte van vergelijking 1 kan worden uitgebreid naar:



Afhankelijk van de pH is  $n = 0, 1$  of  $2$ . Magnesium komt in een oplossing met fosfaat vooral voor als  $Mg^{2+}$  bij een pH lager dan 8,5, als  $MgPO_4$  bij een pH tussen 8,5 en 11,4 en als  $MgOH^+$  bij een pH hoger dan 11,4 (Buchanan et al., 1994 geciteerd in Tao et al. 2016). Andere vormen van magnesium fosfaat zijn  $MgHPO_4$  dat zich vormt bij een pH lager dan 6, verschillende vormen van trimagnesium fosfaat ( $Mg_3(PO_4)_2$ ) en magnesium carbonaat ( $MgCO_3$ ). Trimagnesium fosfaat is echter nog nooit waargenomen bij een pH tussen 6 en 9 en magnesiumcarbonaat heeft een hogere oplosbaarheid vergeleken met struviet, waardoor wordt verwacht dat deze vormen van magnesiumfosfaat niet voorkomen in gemiddelde drijfmest (Marti et al., 2008).

Tao et al. (2016) concludeert dat een pH tussen 8,5 en 9,5 optimaal is voor struvietvorming. Bij deze pH zal orthofosfaat in de vorm van  $HPO_4^{2-}$  worden vastgelegd in struviet, waarbij dus ook  $H^+$  ontstaat. Hierdoor leidt struvietvorming in mest met een initiële pH tussen 8,5 en 9,5 tot een verlaging van de pH. Ehlert et al. (2020) hebben aangetoond dat toediening van magnesium en fosfor (in de vorm van respectievelijk  $MgCl_2$  en  $Na_3PO_4$ ) leidt tot minder ammoniakemissies, maar dat een verhoogde pH in de mest door toevoeging van NaOH dit effect verzwakt. Daarnaast heeft Monteny et al. (2021b) aangetoond dat als de pH van de mest hoger is, er meer  $MgCl_2$  nodig is voor eenzelfde reductie in ammoniakemissie. Bovendien kan bij een pH hoger dan 10 magnesium worden verdrongen door kalium, waardoor kaliumstruviet ( $MgKPO_4$ ) ontstaat (Shih & Yan, 2016). In kaliumstruviet wordt wel fosfaat vastgelegd, maar geen ammonium.

### 2.1.3 Ammoniumvastlegging door struvietvorming in runderdrijfmest

Het gemiddelde ammonium stikstof ( $N-NH_4$ ), fosfaat ( $P_2O_5$ ) en magnesium ( $MgO$ ) gehalte in runderdrijfmest is in de praktijk respectievelijk 2,0, 1,5 en 1,2 kg per ton drijfmest (Boer et al., 2012). Omgerekend naar  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$  en  $Mg^{2+}$  is dit respectievelijk 2,58, 2,01 en 0,72 kg per ton drijfmest (Tabel 1). In afvalwater is magnesium het beperkende nutriënt voor struvietvorming en wordt magnesium toegevoegd. Echter, in rundveedrijfmest bevindt zich voldoende magnesium om in theorie alle fosfaat te kunnen binden in struviet

en lijkt fosfaat juist beperkend (Tabel 1). Daarnaast is niet alle fosfaat in mest beschikbaar voor struvietvorming. Timmerman et al. (2018a,b) hebben aangetoond dat hooguit 0 – 8,5% van de totale fosfaat aanwezig in drijfmest ortho-fosfaat is en dat de rest van het fosfaat aanwezig is als mineraal of organisch fosfaat. Echter ontbrak op dat moment een standaard meetprotocol voor de bepaling van orthofosfaat in mestmonsters en verschillende analysemethodes laten verschillende resultaten zien.

**Tabel 1** Berekening van de hoeveelheid ammonium ( $NH_4^+$ ), fosfaat ( $PO_4^{3-}$ ) en magnesium ( $Mg^{2+}$ ) die maximaal kan worden vastgelegd in struviet en het restant in de drijfmest (kg per ton mest), uitgaande van een molverhouding voor struvietvorming van  $NH_4^+ : PO_4^{3-} : Mg^{2+}$  van 1:1:1. Fosfaat- en magnesiumgehalten in drijfmest zijn omgerekend van  $P_2O_5$  naar  $PO_4^{3-}$  en van  $MgO$  naar  $Mg^{2+}$ .

	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	$Mg^{2+}$
Drijfmest	2,58	2,01	0,72
Vastgelegd in struviet	0,38	2,01	0,51
Resterend in drijfmest	2,19	0	0,21

Door toevoeging van fosfaat kan de ammoniakemissie verder worden verlaagd (Tao et al., 2016; Monteny et al., 2021b; Ehler et al., 2020). Tabel 2 laat zien dat door toevoeging van 0,5 kg  $PO_4^{3-}$  per ton mest 0,10 kg meer ammonium kan worden vastgelegd in struviet. Het is echter in de huidige mestwetgeving niet voor de hand liggend om extra fosfaat op het bedrijf aan te voeren. Mogelijk wordt dit wel interessant als in 2026 de derogatie, en waarschijnlijk daarmee ook het verbod op kunstmestfosfaat, ophoudt.

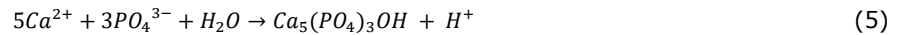
**Tabel 2** Berekening van de hoeveelheid ammonium ( $NH_4^+$ ), fosfaat ( $PO_4^{3-}$ ) en magnesium ( $Mg^{2+}$ ) die maximaal kan worden vastgelegd in struviet als 0,5 kg  $PO_4^{3-}$  aan de mest wordt toegevoegd en hoeveel over blijft (in andere vormen) in de drijfmest (kg per ton mest), uitgaande van een molverhouding voor struvietvorming van  $NH_4^+ : PO_4^{3-} : Mg^{2+}$  van 1:1:1. Fosfaat- en magnesiumgehalten in drijfmest zijn omgerekend van  $P_2O_5$  naar  $PO_4^{3-}$  en van  $MgO$  naar  $Mg^{2+}$ .

	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	$Mg^{2+}$
Drijfmest	2,58	2,01	0,72
Toevoeging extra fosfaat		0,5	
Vastgelegd in struviet	0,48	2,51	0,64
Resterend in drijfmest	2,10	0	0,08

Zelfs als fosfaat wordt toegevoegd, is er theoretisch gezien voldoende magnesium in de mest aanwezig voor de vorming van struviet. Dit kan betekenen dat de magnesium in mest niet volledig beschikbaar is voor struvietvorming. Christensen & Sommer (2013) omschrijven dat deeltjes in mest bestaan uit organische stof met functionele groepen van carboxylaten, ammonium en thiolen. Afhankelijk van de pH zullen deze functionele groepen een waterstofatoom afscheiden (deprotoneren), waardoor ze negatief geladen worden. Hoe hoger de pH, hoe meer waterstofatomen er afscheiden en hoe sterker de deeltjes negatief geladen worden. Mest heeft een voldoende hoge pH, waardoor met name de carboxylaat-groepen een waterstofatoom afscheiden. Vluchtige vetzuren zijn een voorbeeld van organische carbonzuren waarbij een carboxylaat-groep ontstaat als een waterstofatoom afgescheiden wordt. Kationen in de mest, zoals magnesium, calcium, kalium en natrium zullen worden aangetrokken tot de negatief geladen carboxylaat-groepen. Aangezien magnesium en calcium tweewaardige kationen zijn, zullen zij makkelijker aan de carboxylaat-groepen binden dan de eenwaardige kationen (kalium en natrium). Het is niet bekend in welke hoeveelheid magnesium aan organische deeltjes zoals vluchtige vetzuren bindt. Daarom is het aannemelijk dat niet alle magnesium in de mest beschikbaar is voor struvietvorming, waardoor toevoegen van magnesium toch kan leiden tot meer struvietvorming. Als de binding van magnesium aan vluchtige vetzuren leidt tot het vastleggen van vluchtige vetzuren in de mest, kunnen deze mogelijk niet meer emitteren en kan dit de geurconcentratie in de stal, voor zover afkomstig van mest, verminderen.

Verder kan de aanwezigheid van grote hoeveelheden calcium leiden tot verminderde struvietvorming, omdat fosfaat dan wordt gebonden tot calciumfosfaat (Tao et al., 2016; Le Corre et al., 2005). Hierdoor is dit fosfaat niet meer beschikbaar om ammonium vast te leggen in struviet. Tao et al. (2016) geven aan dat wanneer de verhouding  $Mg^{2+} : Ca^{2+}$  hoger wordt dan 0,2 de struvietvorming vermindert en bij een verhouding

groter dan 1:1 zal geen struviet meer gevormd worden, maar zal de calcium aan fosfaat binden volgens de volgende reactievergelijking (5) (Le Corre et al., 2005):



## 2.2 Samenstelling magnesiumchloride-oplossing (32%)

NedMag B.V. produceert een 32% MgCl<sub>2</sub> oplossing met een chemische samenstelling zoals weergegeven in Tabel 3. Deze oplossing valt onder in de natuur voorkomende mineralen die niet chemisch zijn gemodificeerd, waardoor dit product is vrijgesteld van registratie en evaluatie van chemische stoffen (Registratie, Evaluatie, Autorisatie en restrictie van Chemische stoffen, REACH). De MgCl<sub>2</sub> oplossing is licht corrosief voor zacht staal en aluminium (Nedmag, 2017). Bij gebruik van de recentelijk onderzochte range aan doses MgCl<sub>2</sub> zal de corrosiviteit van het zout naar verwachting geen probleem vormen voor de betonkwaliteit, omdat het wordt verdund met een grote hoeveelheid mest. In een doseersysteem kan het wel schadelijk zijn, wat kan worden voorkomen door geen staal maar polypropyleen, polyethyleen of polyester te gebruiken (Nedmag, 2017).

**Tabel 3** Chemische samenstelling van de magnesiumchloride-oplossing van Nedmag B.V.

Element	Aandeel (% w/w)	Concentratie (g/kg)
Magnesiumchloride (MgCl <sub>2</sub> )	32	320
Magnesiumsulfaat (MgSO <sub>4</sub> )	0,25	2,5
Magnesium (Mg) Totaal	8,10	81,0
Kaliumchloride (KCl)	0,40	4,0
Natriumchloride (NaCl)	0,45	4,5
Calciumchloride (CaCl <sub>2</sub> )	0,02	0,2
Broom (Br)	0,40	4,0
IJzer (Fe)	0,0005	0,005
pH	4,0 – 6,0	
Dichtheid	1.290 – 1.330 kg/m <sup>3</sup>	

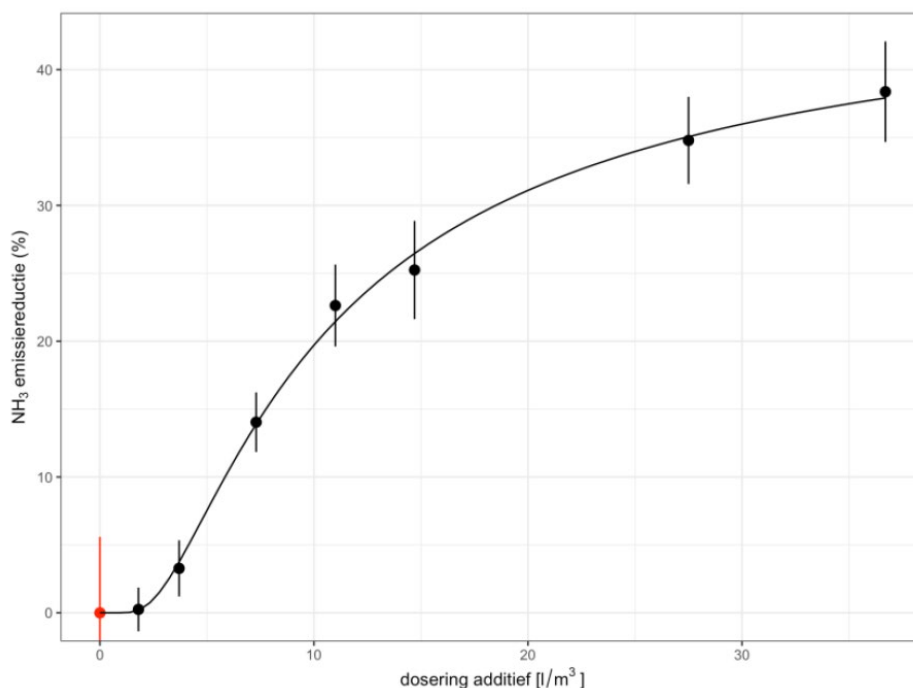
## 2.3 Pottenproeven door Meet-ID

In opdracht van het ministerie van LNV is door Monteny et al. (2021a) case/control onderzoek gedaan naar het effect van drie verschillende additieven (waaronder MgCl<sub>2</sub> van Nedmag B.V.) aan rundveedrijfmest op de emissies van methaan en ammoniak. Achteraf is echter gebleken dat tijdens de proef de meetmethode tussen de potten verschilde, waardoor geen conclusies over de invloed van de verschillende toevoegingen op de emissies uit mest getrokken konden worden. Monteny & Keuskamp (2022) hebben deze proef herhaald voor vier additieven, waaronder ook weer MgCl<sub>2</sub>, echter dit keer onder de productnaam No-Ch. De dosering bedroeg 400 gram No-Ch en 1,68 liter water per 12 liter drijfmest, echter is de exacte samenstelling van het No-Ch product onbekend. Ten opzichte van een niet behandelde referentie lagen de gemiddelde ammoniak- en methaanemissie (n=2) respectievelijk 37% en 28% lager.

In opdracht van Nedmag B.V. heeft Monteny et al. (2021b) een vergelijkbare proef uitgevoerd met alleen de toevoeging van MgCl<sub>2</sub> en eveneens is onderzocht welke optimalisatiemogelijkheden er zijn bij toepassing in de praktijk. Uit dit onderzoek is gebleken dat de ammoniakemissiereductie sterk afhankelijk is van de MgCl<sub>2</sub> dosering. De maximale emissiereductie die behaald kan worden is bijna 40% bij een dosering van minimaal 35 liter MgCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> mest (

Figuur 2). Vertaald naar de praktijk betekent dit dat maximaal 40% van de kelderemissie gereduceerd zou kunnen worden. Aangezien in een melkveestal circa 50–70% van de stalemissies afkomstig is van de (bevuilde) vloer (Dooren & Mosquera, 2016), zou het toevoegen van deze hoeveelheden MgCl<sub>2</sub> in de kelder tot een reductie van de ammoniakemissie leiden van maximaal 12–20% op stalniveau.





**Figuur 2** Relatie tussen  $MgCl_2$  dosering ( $L/m^3$ ) en ammoniakemissiereductie (%) bij  $pH = 7,5$  (Monteny et al., 2021b).

## 2.4 Emissiemetingen op Dairy Campus

Naast het beschreven onderzoek op laboratorium- en pilotschaal is in de literatuur geen grootschaliger onderzoek (in de praktijk) aangetroffen naar het effect van  $MgCl_2$  in rundermest op emissies. In deze paragraaf wordt een deel van de uitkomsten van onderzoek op semi-praktijkschaal beschreven dat op Dairy Campus in Leeuwarden is uitgevoerd. De resultaten van beide fasen die hier beschreven worden zijn eerder voor het ERAMM projectteam gepresenteerd maar zijn nog *voorlopige* en *niet gereviewde* resultaten. De definitieve resultaten worden in een nog te verschijnen rapportage uitvoeriger beschreven. De hier beschreven uitkomsten blijven daarom beperkt tot de hoofdlijnen die al eerder zijn gepresenteerd.

**Tabel 4** Overzicht van fasen en ronden in onderzoek op Dairy Campus.

	Eerste fase		Tweede fase	
	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 1	Ronde 2
Start	25-10-2021	13-12-2021	8-8-2022	8-9-2022
Einde	12-12-2021	6-2-2022	7-9-2022	29-1-2023
Referentieafdeling	14	15	14	15
Dosering $MgCl_2$ ( $l/m^3$ mest)	0/10/25	0/25	20	10/25
Frequentie	Eenmalig	Eenmalig/1x per dag	1x per dag	1/4/6x per dag
Toediening	Kelder	Kelder en vloer	Vloer	Vloer

Het onderzoek bestaat uit twee fasen (zie Tabel 4). De eerste fase tussen oktober 2021 en maart 2022 is gefinancierd door het ministerie van LNV en Nedmag B.V. in het kader van het ERAMM<sup>1</sup> project dat getrokken wordt door de Noordelijk Ontwikkelingsmaatschappij (NOM). De tweede fase, die duurde van augustus 2022 tot en met januari 2023, is gefinancierd door de Provincie Groningen. Doel van beide projecten was het vaststellen van het mogelijke effect van de toevoeging van  $MgCl_2$  aan rundermest op de ammoniakemissie op stalniveau.

<sup>1</sup> Emissie Reductie van Ammoniak uit Mest middels Magnesiumchloride

### 2.4.1 Faciliteiten Dairy Campus

Op de Dairy Campus in Leeuwarden zijn faciliteiten beschikbaar die case-control onderzoek naar emissies mogelijk maken. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van twee van de vier milieufdelingen in de praktijkstal op Dairy Campus die ingericht zijn voor het doen van vergelijkende metingen naar emissies. In één afdeling is de ammoniakemissie gemeten terwijl  $MgCl_2$  aan de mest is toegevoegd (case) en in een andere afdeling is de ammoniakemissie gemeten zonder toevoeging (control). Elke afdeling is uitgevoerd als een mechanisch geventileerde 1-rijige ligboxenstal met ruimte voor 16 melkkoeien. De afdelingen zijn geheel onderkelderd, maar zonder verbinding in de mestkelders tussen de afdelingen onderling. Boven de roosters zijn de afdelingen van elkaar gescheiden door een tentconstructie van enigszins licht-doorlatende folie. De tent is bij het voerhek voorzien van een gordijn dat opgetrokken kan worden om de luchtinlaat te regelen (Figuur 3). Aan de onderkant van dit gordijn wordt de achtergrondconcentratie van de ingaande lucht gemeten. Elke afdeling bevat twee ventilatoren voor de luchtafvoer en daar wordt de ammoniakconcentratie van de uitgaande lucht gemeten. Het voordeel van deze proefopzet is dat versturende factoren die voor variatie zorgen buiten spel worden gezet terwijl wel onder praktijkomstandigheden wordt getest.



**Figuur 3** Meetopstelling op de Dairy Campus in Leeuwarden. Het gordijn voor regulering van de luchtinlaat is omhoog. De rode lijn geeft de meetpunten voor de achtergrondconcentratie aan en de gele pijlen wijzen naar de ventilatoren waar ammoniakconcentratie in de uitgaande lucht wordt gemeten.

### 2.4.2 Proefopzet

Tijdens het onderzoek in de beide fases zijn verschillende parameters gevarieerd. Zo is gemeten met en zonder koeien, is er zowel met als zonder toevoeging van  $MgCl_2$  in de behandelde afdeling gemeten en is gevarieerd met de dosering (10 of 30 liter  $MgCl_2/m^3$  mest), de frequentie van toedienen (eenmalige of dagelijkse toediening van  $MgCl_2$ ), de concentratie en de wijze van toediening (zie Tabel 4).

#### *Eerste fase*

Het onderzoek in de eerste fase bestond uit twee rondes van elk zeven weken. In de eerste ronde is begonnen met een periode van 14 dagen waarin in beide afdelingen (14 en 15) geen  $MgCl_2$  is toegediend om een eventueel verschil in ammoniakemissie tussen de twee afdelingen vast te stellen. Daarna zijn de dieren uit de afdeling verwijderd om de situatie van de pottenproeven (paragraaf 2.3) zo dicht mogelijk te benaderen en is nog zeven dagen doorgemeten. Vervolgens is in de behandelde afdeling (15) een hoeveelheid  $MgCl_2$  toegevoegd die overeenkomt met een dosering van 10 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$ . Hierbij is rekening gehouden met het verwachte mestvolume aan het eind van de meetperiode. Dus gedurende de metingen daalt de  $MgCl_2$  concentratie in de mest. Na zeven dagen is dit verhoogd naar een dosering van 25 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  drijfmest. In beide gevallen is de  $MgCl_2$  direct aan de mest in de kelder toegediend met

een daarvoor door FarMin B.V. ontwikkeld doseersysteem (zie paragraaf 2.5) en is de mest daarna gemixt. Daarna zijn de dieren teruggebracht en is het emissieverloop van beide afdelingen 14 dagen gevolgd.

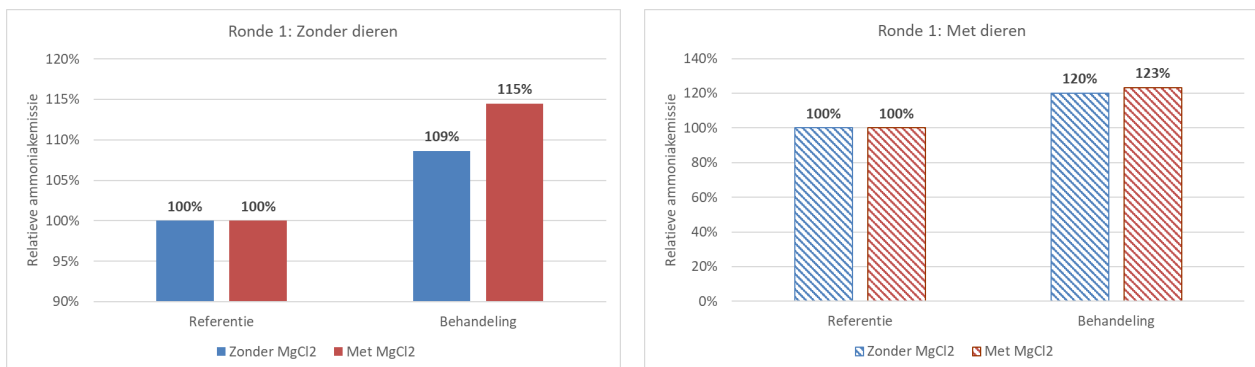
Na de eerste ronde zijn de behandelde en de referentieafdeling gewisseld, nadat alle mest uit beide afdelingen is verwijderd en vervangen door verse (onbehandelde) drijfmest. In de tweede ronde is begonnen met een periode van zeven dagen waarin geen  $MgCl_2$  is toegediend. Daarna is in afdeling 14  $MgCl_2$  toegediend met een dosering van 25 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  drijfmest. Ook nu is de  $MgCl_2$  net als in de eerste ronde direct aan de mest in de kelder toegediend. Hierna is drie weken de ammoniakemissie gemeten. Tenslotte is overgeschakeld naar een dagelijkse toediening van  $MgCl_2$  en is nog drie weken de emissie gemeten. Tijdens de deze periode is elke dag een hoeveelheid  $MgCl_2$  met een gieter over de roostervloer verdeeld die overeen kwam met een dosering van 25 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  drijfmest rekening houdend met de dagelijks mestproductie van de aanwezige dieren.

#### Tweede fase

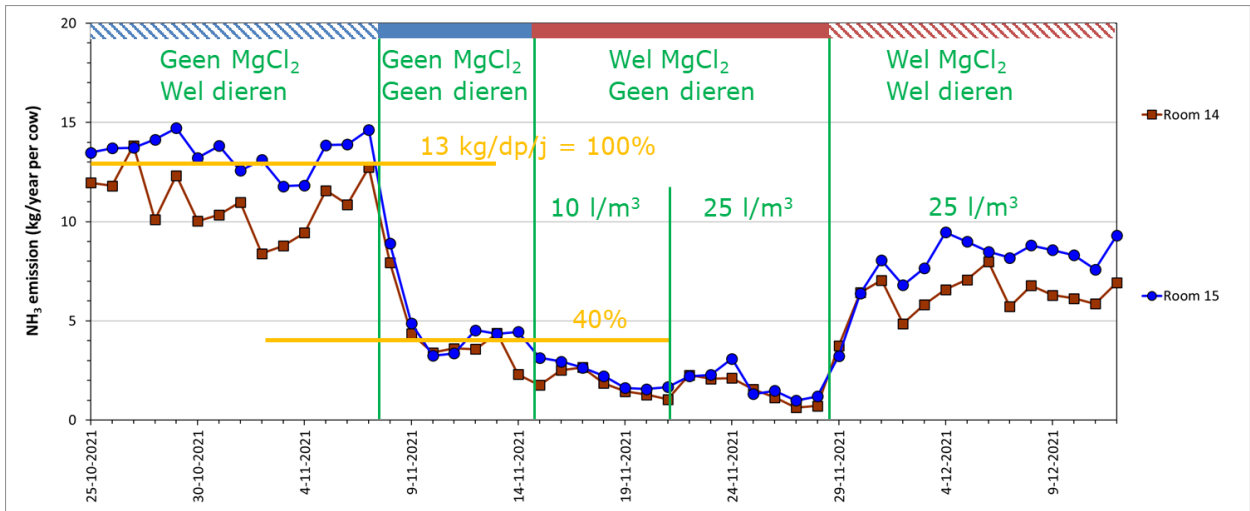
Het onderzoek in de tweede fase heeft zich gericht op een verdere verkenning van de relatie tussen de dosering en concentratie van  $MgCl_2$  en de frequentie waarmee het wordt toegediend aan de ene kant en de ammoniakemissie aan de andere kant. De opzet van het onderzoek op Dairy Campus was vergelijkbaar met die in de eerste fase: in twee afdelingen is de ammoniakemissie gemeten waarbij steeds in één afdeling de behandeling met  $MgCl_2$  werd uitgevoerd en de andere afdeling als referentie fungeerde. In deze fase is begonnen met het dagelijks toedienen van  $MgCl_2$  (ronde 1) en daarna is verder gevarieerd met dosering en frequentie. Uitgangspunt bij de doseringen is een inschatting van de dagelijkse hoeveelheid geproduceerde mest en een daarbij behorende hoeveelheid  $MgCl_2$  om de gewenste  $MgCl_2$  concentratie te krijgen. Bij de dagelijkse dosering is gebruik gemaakt van een gieter, een rugspuit en een sproeisysteem.

### 2.4.3 Resultaten eerste fase

In Figuur 4 en Figuur 5 worden de resultaten van de eerste ronde weergegeven en in Figuur 6 en Figuur 7 die van de tweede ronde. Uit deze resultaten blijkt dat er bij de start van de metingen, toen nog geen  $MgCl_2$  werd toegediend, er een verschil in ammoniakemissie van ongeveer 10% in ronde 1 en 20% in ronde 2 bestond tussen de twee afdelingen 14 en 15. Bij de interpretatie van de resultaten in Figuur 4 na de toediening van  $MgCl_2$  moeten daar rekening mee gehouden worden. De gemiddelde emissie over beide afdelingen was in de periode zonder behandeling 12,4 kg  $NH_3$  per dierplaats per jaar. De Rav emissiefactor voor dit huisvestingssysteem is 13 kg  $NH_3$  per dierplaats per jaar, dus komt de gemeten emissie goed overeen met deze emissiefactor. Toen hierna de dieren uit de afdeling verwijderd werden daalde de ammoniakemissie in een paar dagen tot circa 40% van de periode met dieren (zie Figuur 5). Dat is vergelijkbaar met wat in eerder onderzoek is gevonden (van Dooren et al., 2019). Na toediening van  $MgCl_2$  in afdeling 15 blijft de ammoniakemissie in die afdeling hoger dan in de referentieafdeling. Ook als gecorrigeerd wordt voor de hogere emissies tijdens de periode zonder behandeling met  $MgCl_2$  (zie Figuur 4, links). Ook als de dieren weer terugkeren in de afdelingen is er geen effect te zien van het toegediende  $MgCl_2$  (zie Figuur 4, rechts).

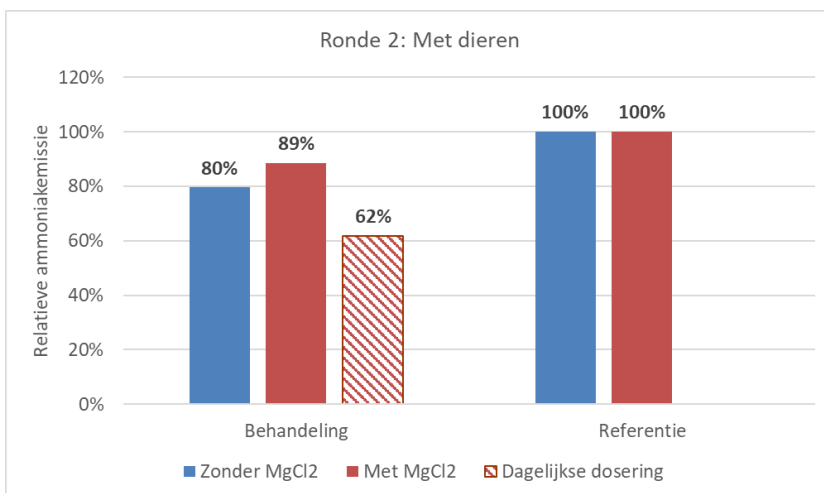


**Figuur 4** Relatieve ammoniakemissie tijdens ronde 1 van eerste fase met de periode zonder dieren (links) en met dieren (rechts). De kleuren en arcering in de balken verwijzen naar Figuur 5.

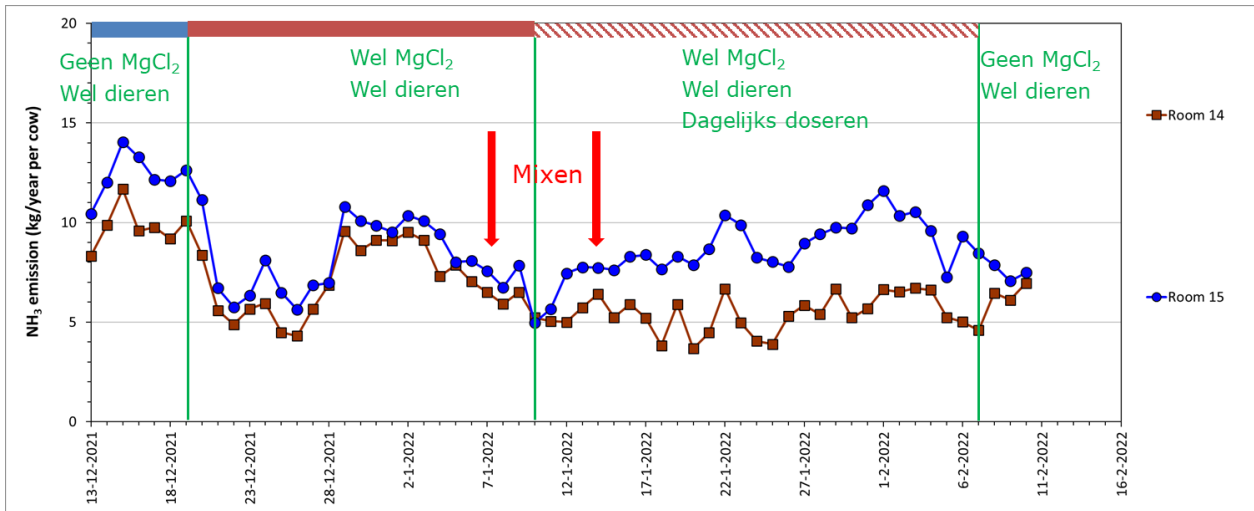


**Figuur 5** Emissieverloop (ongecorrigeerd) tijdens ronde 1 van eerste fase. Referentieafdeling is 14 en de behandelde afdeling 15. De kleuren en arcering in de balken verwijzen naar Figuur 4.

De emissiemetingen in de tweede ronde (Figuur 6 en 7) geven hetzelfde beeld. De gemiddelde emissie over de afdelingen is 11,3 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar en het toedienen van MgCl<sub>2</sub> (dit keer in afdeling 14) heeft geen effect op het verschil tussen de afdelingen. De dosering MgCl<sub>2</sub> (10 of 25 liter per m<sup>3</sup> mest) maakt daarbij geen verschil. Deze resultaten komen niet overeen met de resultaten uit de pottenproeven, waarin een reductie van de ammoniakemissie door toediening van MgCl<sub>2</sub> is gemeten die daarnaast toenam bij een hogere dosering. Een mogelijke verklaring voor deze afwijkende resultaten op stalniveau is dat door de dagelijkse productie van mest en urine door de aanwezige dieren de toegediende MgCl<sub>2</sub> niet in contact komt met de nieuwe aangevoerde fosfaat en ammonium, waardoor geen struviet gevormd kan worden. De met MgCl<sub>2</sub> behandelde mest wordt continue afgedekt met een verse laag ammonium op de vloer en in de kelder en juist dat bepaalt de ammoniakemissie. Een vergelijkbaar effect is gezien bij de eenmalige toediening van water in de kelder (van Dooren et al., 2022). Daarom is in de laatste weken van de eerste fase de MgCl<sub>2</sub> dagelijks met een gieter over de roostervloer toegediend. De dagelijkse dosering was afgestemd op de dagelijkse mestproductie en kwam overeen met 25 liter MgCl<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> mest. Na deze aanpassing van de toediening was wel een effect op de ammoniakemissie te zien (zie Figuur 7) dat ook weer snel verdween na het stoppen van de dagelijks toediening aan het einde van deze ronde. De emissiereductie in de behandelde afdeling (14) lag tijdens de dagelijkse toediening gemiddeld 38% lager dan de emissie uit de referentieafdeling (zie Figuur 6) en varieerde per dag van 19% tot 55%. Gecorrigeerd voor het verschil tussen de afdelingen van de periode zonder toediening van MgCl<sub>2</sub> is gemiddeld 18% daarvan toe te schrijven aan de toediening van MgCl<sub>2</sub>.



**Figuur 6** Relatieve ammoniakemissie tijdens ronde 2 van eerste fase. De kleuren in de balken verwijzen naar Figuur 7.



**Figuur 7** Emissieverloop (ongecorrigeerd) tijdens ronde 2 van eerste fase. Referentieafdeling is 15 en de behandelde afdeling 14. Referentieafdeling is 14 en de behandelde afdeling 15. De kleuren in de balken verwijzen naar Figuur 6.

#### Conclusies eerste fase

- Eenmalig toedienen van MgCl<sub>2</sub> zoals gebruikelijk is en in de praktijk en toegepast in de pottenproeven heeft geen effect op ammoniakemissie op stalniveau.
- Wel is een emissiereductie waargenomen wanneer MgCl<sub>2</sub> dagelijks wordt toegediend.
- Met dagelijks toedienen werd een gemiddelde ammoniakemissiereductie van circa 20% behaald.
- Naar aanleiding van deze bevindingen is besloten om een vervolgonderzoek (tweede fase) te starten naar het effect van de dagelijkse toediening van MgCl<sub>2</sub>.

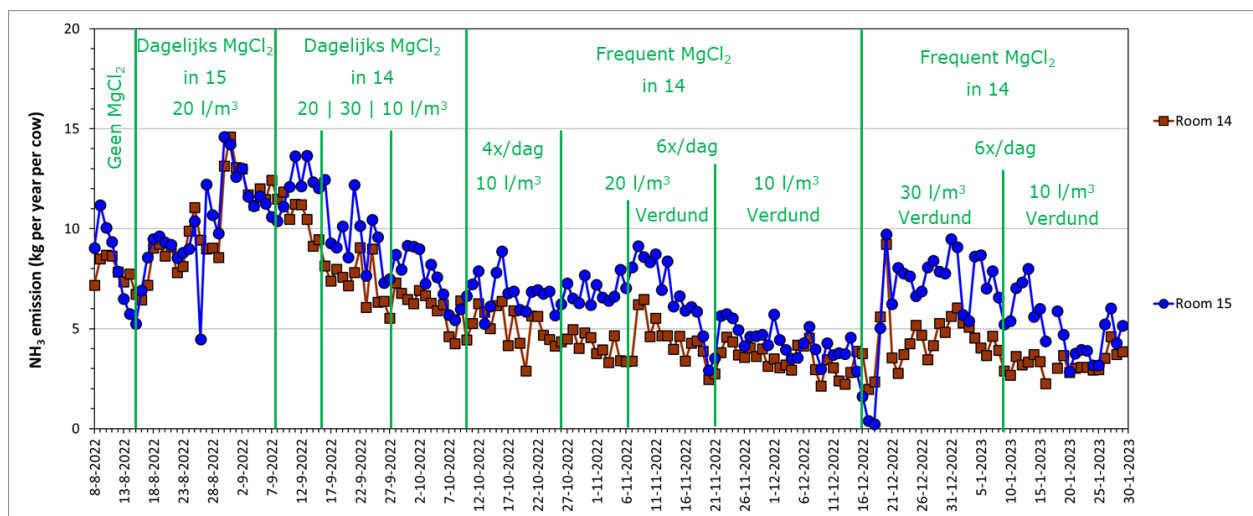
#### 2.4.4 Resultaten tweede fase

Het onderzoek in de tweede fase richtte zich op het effect van dosering en concentratie van MgCl<sub>2</sub> en de frequentie van toediening op de ammoniakemissie. De resultaten van de metingen in de tweede fase zijn weergegeven in Tabel 5 en Figuur 8. Het verschil tussen de afdelingen in de eerste periode zonder behandeling met MgCl<sub>2</sub> was 4%. Bij de interpretatie van de resultaten in Tabel 5 na de toediening van MgCl<sub>2</sub> moeten daar rekening mee gehouden worden. Uit de resultaten blijkt dat de ammoniakemissie afneemt bij een toenemende frequentie van toediening. Bij éénmaal daags toedienen van MgCl<sub>2</sub> bedroeg de reductie gemiddeld 15%. Als dezelfde hoeveelheid in vier keer toegediend werd, steeg de reductie naar 20% en als een gelijke hoeveelheid over zes keer verdeeld werd, steeg de reductie naar gemiddeld 25%. Een toenemende hoeveelheid MgCl<sub>2</sub> per dag leidt ook tot een grotere emissiereductie. Bij een dosering van 10, 20 en 30 liter per m<sup>3</sup> mest bedroeg de gemiddelde emissiereductie respectievelijk 19%, 25% en 28%.

**Tabel 5** Overzicht van resultaten tweede fase van onderzoek op Dairy Campus in kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. De laatste twee behandelingen zijn uitgevoerd met een sproeisysteem.

Behandeling	Dosering (l/m <sup>3</sup> )	Behandeling		Ammoniakemissie		
		Frequentie (per dag)	Verdunnen	MgCl <sub>2</sub>	Referentie	Verhouding
1		Geen		8,1	7,8	104%
2	20	1	Nee	9,9	9,9	100%
3	20	1	Nee	10,7	12,2	88%
4	30	1	Nee	7,7	9,9	78%
5	10	1	Nee	6,0	7,5	80%
6	20	4	Nee	5,1	6,8	76%
7	20	6	Nee	3,7	6,9	54%
8	20	6	Ja	4,1	6,0	68%
9	10	6	Ja	3,4	4,2	81%
10	30	6	Ja	4,4	7,5	59%
11	10	6	Ja	3,3	5,0	65%

In de laatste twee behandelingen (zie Tabel 5) werd de toe te dienen hoeveelheid  $MgCl_2$  niet meer handmatig met een gieter of rugsput over de roosters verdeeld, maar toegediend via een daarvoor aangebracht sproeisysteem. Eerdere metingen (behandelingen 2 en 3 in Tabel 5) met een ander sproeisysteem lieten geen reductie zien. Mogelijk dat de verdeling over het vloeroppervlak bij het tweede sproeisysteem beter was. De toegediende hoeveelheden waren bij het tweede sproeisysteem groter door verdunning van de  $MgCl_2$ -oplossing.



**Figuur 8** Emissieverloop tijdens fase twee.

#### Conclusies tweede fase

Met de metingen in de tweede fase worden de resultaten uit de eerste fase bevestigd. Dagelijkse toediening van een hoeveelheid  $MgCl_2$  leidt tot een reductie van de ammoniakemissie en deze reductie neemt toe bij een toenemende hoeveelheid  $MgCl_2$ . Verder wordt duidelijk dat de reductie toeneemt als eenzelfde hoeveelheid  $MgCl_2$  verdeeld wordt over meerdere toedieningsmomenten.

#### 2.4.5 Discussie

De behandelingen in de eerste fase van de emissiemetingen op Dairy Campus waren wat betreft dosering gebaseerd op de resultaten van de eerder uitgevoerde pottenproeven en wat betreft toedieningsmethode op de beschikbare, door FarMin BV ontwikkelde, techniek. Uit de resultaten van deze eerste fase bleek dat de toedieningsmethode een grote invloed heeft de (reductie van de) ammoniakemissie. De aanname dat toevoeging van  $MgCl_2$  tot een gemiddelde verlaging van het ammoniumgehalte in de mest en dus tot reductie van de ammoniakemissie zou leiden bleek niet terecht. Dit sluit aan bij onderzoek door Van Dooren *et al.* (2022) naar de invloed van de toediening van water op de ammoniakemissie, waarin ook bleek dat de samenstelling van de bovenste laag mest bepalend is voor de bijdrage van de kelder aan de ammoniakemissie. Alleen het frequent (dagelijks) toedienen van  $MgCl_2$  leidde tot een reductie van de ammoniakemissie. Dit spoor is in fase 2 verder uitgewerkt waarbij bleek dat het meerdere keren per dag toedienen van  $MgCl_2$  tot een extra emissiereductie kan leiden. Een ander spoor dat niet is uitgewerkt is het regelmatig mixen van de aanwezig mest zodat (ook met éénmalige toediening van  $MgCl_2$  bij begin van de opslagperiode) er zich altijd een met  $MgCl_2$  behandelde mest zich in de toplaag bevindt.

## 2.5 Borging met centrale aansturing op afstand

Magnesiumchloride ( $MgCl_2$ ) wordt door FarMin BV onder de naam Farmin-G op de markt gebracht als mestverbeteraar. De toeleverancier van Farmin-G is Nedmag B.V. die ook leverancier is van de  $MgCl_2$  dat gebruikt is in het onderzoek op Dairy Campus beschreven in paragraaf 2.4. De toediening van Farmin-G gebeurt met een installatie die is ontwikkeld door FarMin B.V.. De installatie bestaat uit een voorraadvat voor de  $MgCl_2$  oplossing, een doseerunit en een regelkast en de installatie kan op afstand worden bestuurd en gecontroleerd. Reden voor de ontwikkeling van deze toedieningsmethode is om op termijn de mogelijkheid te bieden om toediening van de juiste hoeveelheid  $MgCl_2$  te borgen. Voor het toedienen van de  $MgCl_2$  in het

onderzoek op Dairy Campus is ook gebruik gemaakt van een dergelijke installatie. Ondanks herhaald verzoek is geen verdere informatie over deze installatie ontvangen. Wel is in de loop van de tweede fase van het onderzoek op Dairy Campus gebleken dat de hoeveelheid toegediende  $MgCl_2$  aangegeven door het doseersysteem af ging wijken van de werkelijke hoeveelheid. Regelmatige controle en ijking van de volumebepaling zijn daarom nodig voordat dit systeem op grote schaal in de praktijk kan worden toegepast. In de tweede fase is voor het frequent toedienen van de  $MgCl_2$  een IBC vat geplaatst, die gevuld werd door de installatie van FarMin B.V. en waaruit de dagelijks toe te dienen hoeveelheid  $MgCl_2$  gehaald werd. In de laatste periode van deze tweede fase is gebruik gemaakt van een sproei-installatie die in opdracht van Nedmag B.V. ontwikkeld is door de firma Wijha uit Hardenberg. Aan borging en aansturing van deze installaties moet in een vervolg nog verder technisch ontwikkeld en juridisch uitgewerkt worden.

## 2.6 Bodem en gewas

### 2.6.1 Bemestingsadviezen

In de Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen ([www.bemestingsadvies.nl](http://www.bemestingsadvies.nl); <https://edepot.wur.nl/413891>) en in het Handboek Bodem en Bemesting ([www.handboekbodemenbemesting.nl/](http://www.handboekbodemenbemesting.nl/)) zijn bemestingsadviezen opgenomen voor grasland en voedergewassen, akkerbouw- en vollegrondsgroenten gewassen die gebaseerd zijn op wetenschappelijk onderzoek. De adviesbases worden voortdurend ge-update met nieuwe informatie uit onderzoek.

#### *Magnesiumadvies voor grasland*

Voor grasland is onder Nederlandse omstandigheden in principe voldoende magnesium aanwezig voor de groei van het gewas. Het magnesium-bemestingsadvies voor grasland is gericht op het behalen van een magnesiumgehalte in het gras voor een goede magnesiumvoorziening van het vee. Onvoldoende magnesium in het rantsoen kan kopziekte veroorzaken, doordat de opname van kalium en magnesium niet in evenwicht zijn, omdat deze nutriënten elkaar verdringen in het dier (Schonewille & Beynen, 2005; CVB, 2005). Met name bij beweiding en rantsoenen met veel gras(kuil) dient er voldoende magnesium in het gras te zitten. Daarnaast beoogt het advies om een goede magnesiumtoestand in de bodem te bereiken of te behouden. Het magnesiumbemestingsadvies hangt af van de grondsoort en de waardering van de magnesiumtoestand. Voor zand, dalgrond en löss bestaat het bemestingsadvies voor magnesium uit een advies voor het eerste jaar na grondonderzoek en een advies voor de latere jaren. Met het bemestingsadvies voor het eerste jaar wordt de magnesiumtoestand op de waardering "voldoende" gebracht. Het advies voor de latere jaren is onderhoudsbemesting.

In een studie van NMI (Bussink et al., 2020) naar interacties tussen effecten van kalium, Mg, calcium, stikstof en  $Cl^-$  werd geen interacties gevonden van  $Mg^{2+}$  of  $Cl^-$  met andere nutriënten gevonden om een positief effect op gewasgroei door toevoeging van  $MgCl_2$  aan mest te kunnen verklaren.

Voor zandgrond, dalgrond en löss is er een goede relatie tussen de hoeveelheid magnesium in de bodem en het gehalte in het gras. Het bemestingsadvies voor onderhoud is op deze grondsoorten is 50 kg  $MgO/ha$  per jaar, dat is omgerekend 30 kg  $Mg/ha$  per jaar. Hierin telt het magnesium uit dierlijke mest ook mee. Voor kleigrond en veen is er in het veld geen goede relatie tussen de hoeveelheid magnesium in de bodem en in het gras gevonden. Daarom wordt voor deze grondsoorten geen bemestingsadvies gegeven. Wanneer het gehalte van het gras te laag is wordt aangeraden om magnesium over het gras of graskuil te strooien, likstenen direct aan de dieren te verstrekken of magnesiumbrok te voeren.

#### *Magnesiumadvies voor akkerbouwgewassen/open teelten (inclusief voedergewassen)*

Voor open teelten/akkerbouwgewassen is het bemestingsadvies voor magnesium ook afhankelijk van de grondsoort. Op zand, dalgrond en löss hangt het bemestingsadvies af van de voorraad in de bodem, de dikte van de bemonsterde laag en de dichtheid van de bodem. Bij een "normale" magnesium voorraad in de bodem (tot 300 kg  $MgO$  mg/kg droge grond) wordt de onderhoudsbemesting (vierde jaar na bemonstering) via de volgende formule bepaald:

$$\text{Magnesiumbemesting (MgO/ha)} = 20,7 * \text{bemonsteringsdiepte (dm)} * \text{dichtheid van de grond (kg/dm}^3\text{)} \quad (6)$$

---

Bij snijmais met een bemonstering van 25 centimeter diep en een organisch stofgehalte van 3% is dat (20,7×25×1,37) 71 kg MgO/ha oftewel 43 kg Mg/ha. Dat is 1,3 tot 1,7 keer het advies voor grasland (50 kg MgO/ha). Op kleigrond en alluviaal zand is er geen relatie gevonden tussen magnesium-bemesting en het oplossen van magnesium gebrek. Aangeraden wordt om dat op te lossen met een bespuiting van het gewas met magnesium.

#### *Bemesting magnesium boven het bemestingsadvies*

In het bemestingsadvies wordt afgeraden om meer dan het magnesiumadvies te bemesten. Met name op kleigronden zorgt een overmaat van magnesium dat calcium aan het CEC ('cation exchange capacity') wordt verdrongen door magnesium waardoor de structuur van de bodem verslechtert. Hoewel magnesium wel uit kan spoelen en daarmee de overmaat uit de bodem kan verdwijnen, zal bij een jaarlijkse bemesting die hoger is dan de onttrekking het magnesiumgehalte in de bodem toenemen. Een overmaat aan magnesium in met name kleibodems vermindert de aggregaatstabiliteit en hydraulische geleidbaarheid door zwelling van klei en het verminderen van het aantal grote poriën (Zhang & Norton, 2002). Op lange termijn kunnen er daardoor structuurproblemen ontstaan. Daarnaast zal een overmaat van magnesium de opname van andere kationen door het gewas verdringen, zoals natrium, kalium en calcium. Dit kan een negatief effect hebben op melkvee omdat er onbalans ontstaat in de voeding van de dieren.

Nutriënten gehalten in dierlijke mest zijn afhankelijk van de voeding van de dieren en kunnen daardoor sterk verschillen tussen bedrijven. Als echter door toediening van magnesium aan de mest extra magnesium in de kringloop van het bedrijf gebracht wordt, dan is te verwachten dat, via de verhoging van magnesium in gras, de gehalten aan magnesium in mest omhoog zal gaan. Hoeveel magnesium uitspoelt en, daarmee samenhangend, hoe snel de accumulatie van magnesium zal zijn en de mogelijke achteruitgang van de bodemstructuur is niet bekend.

### 2.6.2 Toevoeging extra magnesium aan bodem door toevoeging MgCl<sub>2</sub> aan mest

Runderdrijfmest is een mestsoort die vooral op grasland en voedergewassen wordt toegediend. In runderdrijfmest zit gemiddeld circa 1,2 kg/m<sup>3</sup> MgO (zie adviesbasis bemesting: [www.bemestingsadvies.nl](http://www.bemestingsadvies.nl)). Op derogatiebedrijven wordt zo'n 60 m<sup>3</sup> drijfmest per ha grasland toegediend. Dat betekent dat gemiddeld in Nederland circa 72 kg MgO/ha voldoende magnesium met drijfmest aan grasland zou worden toegediend om aan het onderhoudsadvies van 50 kg MgO/ha te kunnen voldoen. Vanaf 2026 zal echter de derogatie vervallen en zal er minder drijfmest toegediend kunnen worden, ongeveer 2/3 van wat er nu toegediend mag worden, dus circa 40 m<sup>3</sup>/ha. Dan wordt er net voldoende magnesium toegediend voor het onderhoudsadvies (48 kg MgO/ha toegediend versus 50 kg MgO/ha onderhoudsadvies).

Een liter MgCl<sub>2</sub> oplossing weegt 1,3 kg (Nedmag, 2017). De concentratie van de oplossing is 32% MgCl<sub>2</sub> ~ 8,1 % Mg ~ 81 g/kg Mg (135 g/kg MgO) ~ 105 g/liter Mg (175,5 g/liter MgO). De optimale dosering MgCl<sub>2</sub> om NH<sub>3</sub>-emissie in de stal te voorkomen is nog niet bekend. De huidige aanbevolen dosis is 3,3 l per m<sup>3</sup> mest (zie website Farmin B.V.). Dat zou een toevoeging zijn van 3,3 \* 105 g Mg = 346,5 g Mg (579,2 g MgO) extra per m<sup>3</sup> mest. Dat is een verhoging van 1,2 naar 1,8 kg MgO/m<sup>3</sup> mest, het gehalte neemt met een factor 1,5 toe. In de proef op Dairy Campus wordt echter 10-30 liter per m<sup>3</sup> mest toegediend. Bij gebruik van 20 liter per m<sup>3</sup> mest wordt 2,1 kg Mg oftewel ongeveer 3,5 kg MgO per m<sup>3</sup> mest toegevoegd. Deze dosering betekent daarmee het magnesiumgehalte in mest gemiddeld bijna vier keer zo hoog wordt. In Tabel 6 is de toename van het MgO gehalte in mest bij doseringen van 3,3 tot 25 liter/m<sup>3</sup> mest en de daaruit volgende dosering met hectare weergegeven.

In het begin van deze paragraaf is berekend dat met een gebruikelijke gift rundveedrijfmest voldoende MgO wordt toegediend aan gras en maisland. Elke extra toevoeging van MgCl<sub>2</sub> aan deze mest leidt tot een dosering die boven het onderhoudsadvies ligt. Wanneer deze hoge dosering slechts een jaar wordt toegediend zal er niet direct een negatief effect optreden. Op langere termijn zal dit echter problemen kunnen opleveren voor de bodemstructuur en zorgen voor een disbalans in bodem en plant tussen magnesium en andere kationen. Dit is niet wenselijk en een belangrijk aandachtspunt.



**Tabel 6** Toename van MgO-gehalte in mest bij doseringen MgCl<sub>2</sub> en toediening.

Dosering (l/m <sup>3</sup> )	Toename MgO gehalte in mest (kg/m <sup>3</sup> )	MgO-bemesting bij 40 m <sup>3</sup> /ha (kg MgO/ha)	MgO-bemesting bij 60 m <sup>3</sup> /ha (kg MgO/ha)
3,3	0,58	71	107
6,6	1,16	49	142
10,0	1,76	118	178
15,0	2,63	153	230
20,0	3,51	188	283
25,0	4,39	224	335

### 2.6.3 Plantbeschikbaarheid van fosfaat en ammonium in struviet

Door vorming van struviet in mest wordt naast ammonium ook vrij fosfaat in drijfmest gebonden. Zonder toevoeging van magnesium zou dit fosfaat vrij beschikbaar zijn voor opname door de plant. Het ammonium zou zonder toevoeging vervluchtigd zijn, waardoor dit niet meer aanwezig zou zijn in de mest. Een vraag is of het fosfaat net zo goed beschikbaar is voor gewassen als het was zonder toediening van magnesium en of het ammonium beschikbaar komt wanneer het gebonden is in struviet.

#### Fosfaat

Op dit moment is fosfaat uit dierlijke mest de enige fosfaatbron voor melkveehouders. Fosfaat in struviet is minder goed oplosbaar dan fosfaat in minerale meststoffen als superfosfaat en tripelsuperfosfaat. In water is 10-20% van het in struviet aanwezige fosfaat oplosbaar (zie Tabel 7). Deze oplosbaarheid neemt toe bij een afnemende pH. In een licht zure oplossing (2% citroen zuur) is de oplosbaarheid al 50-70%.

**Tabel 7** Eigenschappen van een aantal fosfaat meststoffen onder bodem condities (Manning, 2008).

Fosfaatmeststof	Componenten	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> gehalte (%)		P gehalte (%)	Oplosbaarheid	
		Maximaal bereikbaar	In meststoffen		2% citroen zuur (%)	Water (%)
Superfosfaat	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O + gips	25	20	9	>90	80-90
Tripel superfosfaat	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	56	45	20	>94	>93
Dicalcium fosfaat	CaHPO <sub>4</sub>	52	52	20	>95	4-17
Diammonium fosfaat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	54	48	20	>95	95+
Rots fosfaat	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F + klei- en carbonaat	42	26	12-14	30-40	1-2
Zuiver struviet	NH <sub>4</sub> MgPO <sub>4</sub> .6H <sub>2</sub> O	29	29	13	50-70	10-20

De beschikbaarheid van het fosfaat in (zuiver) struviet voor de plant is in een aantal studies vergeleken met (tripel)superfosfaat. Een overzicht hiervan is gegeven in Bijlage 3. In veel (pot)proeven waarin aan gewasgroei is gemeten bleek struviet net zo effectief te zijn als (tripel)superfosfaat. Uit advies van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet, aan het Ministerie van Economische Zaken, wordt genoemd dat de effectiviteit van mengsels met struviet uit verschillende mestbewerkingsprocessen, afhangt van de stoffen die naast struviet in het mengsel voorkomen (Ehlert et al., 2013), ofwel de zuiverheid van het struviet. Het struviet-slib (MAP-slib) bijvoorbeeld dat uit het mestraffinage proces komt is geen zuiver struviet, en is waarschijnlijk vergelijkbaar met wat er in mest gebeurt als er MgCl<sub>2</sub> wordt toegediend. Als het struviet dat ontstaat door toevoeging van MgCl<sub>2</sub> aan runderdrijfmest, sterk op chemisch zuivere struviet lijkt, zou de landbouwkundige waarde vergelijkbaar zijn met de gangbare fosfaatkunstmest superfosfaat en tripelsuperfosfaat. Er wordt geen verschil verwacht in werkzaamheid van struviet tussen grasland en bouwland. In enkele bronnen wordt wel een langzamere werking dan van fosfaatkunstmest genoemd. Verwacht wordt dat struviet het op zuurdere gronden beter doet dan op alkalische gronden (Ehlert et al., 2013), gebaseerd op de betere oplosbaarheid bij een lagere pH. In een potproef bleek de oplosbaarheid van P uit struviet bij bodem pH 4,8 (in CaCl<sub>2</sub>) tweemaal zo hoog te zijn als bij pH 7,0 (Degryse et al., 2017). Op langere termijn (> 1 jaar) mag verwacht worden dat struviet net zo effectief is als (tripel)superfosfaat. In het systeem van toevoeging van MgCl<sub>2</sub> aan mest om ammoniakemissie te reduceren is de verwachting dat de plantbeschikbaarheid van fosfaat in behandelde mest op termijn van enkele maanden vergelijkbaar zal

zijn als voor onbehandelde dierlijke mest. Op korte(re) termijn is de plantbeschikbaarheid lager maar lijkt niet beperkend te zijn voor gewasgroei.

#### Ammonium

Als het gebruik van MgCl<sub>2</sub> in mest NH<sub>3</sub>-emissie deels voorkomt betekent het dat die stikstof in de mest zal blijven. Wanneer struviet oplost in de bodem, zoals te verwachten is uit de informatie over plantbeschikbaarheid van fosfaat, zal deze stikstof ten goede komen aan het gewas.

De extra hoeveelheid ammonium in mest is te berekenen uit de verwachte reductie van stalemissie. De emissiefactor van ammoniak in een standaard ligboxenstal met roostervloer is voor melkvee 13 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar. Daarvan is grofweg de helft van de roosters en de helft uit de mestput afkomstig. De mestproductie van een melkkoe is ongeveer 22 m<sup>3</sup> per jaar. Als een emissiereductie uit de mestput van 25% kan worden behaald dan is dat 13/2\*25% = 1,625 kg NH<sub>3</sub> (~ 1,338 kg N in 22 m<sup>3</sup> mest; ~ 0,061 kg N per m<sup>3</sup> extra). Dit zou N zijn die gebonden is als struviet en niet verloren gaat bij uitrijden. Uitgaande van dat gunstigste geval zou er met derogatie 60 m<sup>3</sup>/ha \* 0,061 kg N/m<sup>3</sup> = 3,66 kg N per ha extra bemest worden en zonder derogatie 40 m<sup>3</sup>/ha \* 0,061 kg N/m<sup>3</sup> = 2,44 kg N per ha. Om geen hogere verliezen in het veld te krijgen, zou er dan 3,66 of 2,44 kg N/ha bespaard kunnen worden met kunstmest. Bij een gebruiksnorm van 250 kg N/ha uit dierlijke mest (met derogatie) met een werkingscoëfficiënt van 45% en een totale stikstofgebruiksnorm van 250 kg N/ha (grasland met beweiding) (7<sup>e</sup> Nitraat Actie Programma), is er ruimte voor 137,5 kg N/ha in kunstmest. De besparing van kunstmest door 25% NH<sub>3</sub>-emissiereductie uit de kelder is dan zo'n 2,5%. Zonder derogatie is er ruimte voor 174 kg N/ha in kunstmest en is de besparing 2,44/174 = 1,4%. Dit is een beperkte besparing van kunstmest stikstof.

In eerste instantie is alleen uitgegaan van een reductie in de mestkelder. Mogelijk is er ook een reductie vanaf de roosters, wanneer MgCl<sub>2</sub> over de roosters wordt toegediend. Wanneer de verdeling van de ammoniakemissie over roosters en kelder anders is dan 50%/50% of wanneer de reductie van de ammoniakemissie tussen rooster en kelder verschilt, zal ook de hoeveelheid N die meer in de mest blijft dan zonder toediening van MgCl<sub>2</sub> veranderen. In Tabel 8 is voor diverse verhoudingen tussen rooster- en kelderbijdrage en voor diverse reductiepercentages de besparing op kunstmest N berekend. Wanneer de ammoniakemissie volledig kan worden voorkomen, blijft er 10,7 kg N per dierplaats meer in de mest, dit zou de theoretisch maximale besparing van kunstmest zijn. De besparing in kg N per dier wordt berekend volgens:

$$10,7 - \left( \left( \frac{\text{Aandeel vloer}}{100\%} \right) * \left( 1 - \frac{\text{Reductie vloer}}{100\%} \right) + \left( \frac{\text{Aandeel kelder}}{100\%} \right) * \left( 1 - \frac{\text{Reductie kelder}}{100\%} \right) \right) * 10,7 \quad (7)$$

**Tabel 8** Stalemissie (kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar) en besparing op stikstof per koe via kunstmest (kg N per dier) als gevolg van de reductie van ammoniakemissie door toevoeging van MgCl<sub>2</sub> weergegeven voor bij verschillende verhoudingen van kelder- en vloerbijdrage (kolommen) en toenemende reductiepercentages voor zowel kelder als vloer (rijen) uitgaande van een emissie van 13 kg NH<sub>3</sub> per dierplaats per jaar (10,7 kg N per dierplaats per jaar).

Emissiereductie vloer/kelder (%)		Verhouding vloer:kelder in totale stalemissie (%)				
		30:70	40:60	50:50	60:40	70:30
0/0	Stalemissie	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
	Besparing	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0/5	Stalemissie	12,5	12,6	12,7	12,7	12,8
	Besparing	0,37	0,32	0,27	0,21	0,16
0/15	Stalemissie	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4
	Besparing	1,12	0,96	0,80	0,64	0,48
0/25	Stalemissie	10,7	11,0	11,4	11,7	12,0
	Besparing	1,87	1,61	1,34	1,07	0,80
2,5/5	Stalemissie	12,4	12,5	12,5	12,5	12,6
	Besparing	0,45	0,43	0,40	0,37	0,35
7,5/15	Stalemissie	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7
	Besparing	1,36	1,28	1,20	1,12	1,04
12,5/25	Stalemissie	10,2	10,4	10,6	10,7	10,9
	Besparing	2,27	2,14	2,01	1,87	1,74

---

De besparing varieert van 0,16 tot 2,27 kg N per dier. Bij een mestproductie van 22 m<sup>2</sup> per dier per jaar is dat 0,0073 kg N per m<sup>3</sup> tot 0,1034 kg N per m<sup>3</sup>. Met derogatie (60 m<sup>3</sup> drijfmest per ha) kan dan 0,3-4,5% op de kunstmest N bespaard worden. Zonder derogatie (40 m<sup>3</sup> drijfmest per ha) is dat 0,2-2,4%. Wanneer de extra N die in de mest blijft door toediening van MgCl<sub>2</sub> wordt gekort op de gift met kunstmest dan is de besparing van N uit kunstmest met derogatie maximaal circa 5% en zonder derogatie circa 2,5%.

#### 2.6.4 Toevoeging van chloride aan mest

Wanneer structureel MgCl<sub>2</sub> wordt toegediend aan mest, wordt er ook extra chloride toegediend aan de bodem. Voor de meeste gewassen worden geen negatieve effecten vermeld van extra chloride. Alleen op aardappelen wordt afgeraden om chloride-houdende meststoffen te gebruiken als een (te) laag onderwatergewicht wordt verwacht. Met name bij fabrieksaardappelen is het onderwatergewicht bepalend voor de financiële opbrengst. Dat zou betekenen dat melkveemest waar MgCl<sub>2</sub> aan is toegevoegd beter niet toegediend kan worden op aardappelen. Melkvee zelf is niet gevoelig voor extra chloride (CVB, 2005). Er zijn echter wel normen voor chloride (Cl<sup>-</sup>) in water. De EU grondwaterkwaliteitsnorm is 160 mg/l (Besluit Kwaliteitsdoelstellingen en Monitoring Water 2015, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2015-394.html>). Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) meldt dat er de laatste jaren nauwelijks overschrijdingen zijn van de norm (RIVM, n.d.). Wanneer er echter jaarlijks extra Cl<sup>-</sup> gaat worden toegediend op landbouwbodems via drijfmest, kan dat wel tot overschrijdingen gaan leiden. Daarom is een inschatting nodig van de hoeveelheid Cl<sup>-</sup> die op de bodem terecht zou komen door toevoeging van MgCl<sub>2</sub> aan mest. Het aandeel Cl<sup>-</sup> in Cl<sup>-</sup>-houdende bestanddelen in de oplossing is veruit het grootst in de MgCl<sub>2</sub> (Tabel 2). Het aandeel Cl<sup>-</sup> in MgCl<sub>2</sub> is 74% en de concentratie in de oplossing is dan 32% × 74% = 24% Cl<sup>-</sup>/kg. De dichtheid van de oplossing is 1,3 kg/l. Bij de oorspronkelijke dosering (3,3 L MgCl<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> mest) is de toevoeging van chloride aan mest is dus 3,3 L/m<sup>3</sup> × 1,3 kg/L × 24% = 1 kg/m<sup>3</sup> mest en bij een dosering van 20 liter is dat 6 kg/m<sup>3</sup> mest. Bij bemesting van 40 m<sup>3</sup>/ha runderdrijfmest is dat dus 40 tot 240 kg Cl<sup>-</sup>/ha en bij bemesting van 60 m<sup>3</sup>/ha is dat 60 tot 360 kg Cl<sup>-</sup>/ha. Normaal zit er zo'n 1-3 kg chloride in rundvee drijfmest. Bij de oorspronkelijke dosering van 3,3 L MgCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> mest wordt het gehalte verdubbeld tot een derde verhoogd. Bij de hogere dosering van 20 L MgCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> mest wordt het gehalte 3 tot 6 maal zo hoog. Bij toediening van kunstmest wordt ook gebruik gemaakt van chloride-houdende meststoffen. Zo is kornkali een chloorhoudende kali-meststof die 30% Cl<sup>-</sup> en 40% K<sub>2</sub>O bevat. Kalibemesting wordt grotendeels uitgevoerd met runderdrijfmest, maar een gift van 150 kg K<sub>2</sub>O uit kornkali op grasland is voor te stellen, zeker als de derogatie verdwijnt. Met een dergelijke gift wordt circa 100 kg/ha Cl<sup>-</sup> gegeven. Voor de hoeveelheid Cl<sup>-</sup> die op grasland terecht zouden komen geldt net als voor magnesium: bij een dosering van 3,3 L MgCl<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> mest is de hoeveelheid extra Cl<sup>-</sup> waarschijnlijk aanvaardbaar, maar bij hogere doseringen zoals 20-25 l/m<sup>3</sup> zal de dosering naar verwachting tot problemen leiden voor de grondwaterkwaliteit.

#### 2.6.5 Bodem- en gewasanalyses uit de praktijk

Ongeveer 100 melkveehouders voegen momenteel MgCl<sub>2</sub> aan mest toe (Huisman (2022), persoonlijke communicatie). Om aan de voorwaarden voor derogatie te voldoen laten deze melkveehouders minimaal eens per vier jaar van elk perceel een bodemmonster analyseren. In de vraagstelling voor het ministerie van LNV werd naar de resultaten van deze bodemmonsters verwezen met de vraag deze te betrekken in het onderzoek. Ook de gewasanalyses die door veehouders genomen worden zouden verder inzicht kunnen geven en een mogelijke verhoging van de gewasopbrengst en -kwaliteit kunnen aantonen. De analyseresultaten van deze bodem- en gewasmonsters zijn verschillende keren opgevraagd bij FarMin B.V., maar niet beschikbaar gesteld.

De bruikbaarheid van de resultaten voor verder inzicht is echter waarschijnlijk beperkt. Omdat de toevoeging van MgCl<sub>2</sub> nog maar recent is gestart is het aantal beschikbare monsters per bedrijf waarschijnlijk beperkt tot één of twee. Voor een goede inschatting van het effect van MgCl<sub>2</sub> op bodem en gewas is verder een gelijktijdige vergelijking van percelen met en zonder extra magnesiumgift gewenst. Melkveehouders die voor langere tijd MgCl<sub>2</sub> toevoegen hebben waarschijnlijk geen bodemanalyses beschikbaar van een perceel met en een perceel zonder MgCl<sub>2</sub> toediening op hetzelfde bedrijf. Hierdoor zou het, zelfs als de analyseresultaten beschikbaar gesteld zouden zijn, niet mogelijk om aan de hand van deze bodemanalyses effecten van MgCl<sub>2</sub> in mest op de bodem waar te nemen.

## 3 Aanvullende inzichten

In dit hoofdstuk worden aanvullende inzichten behandeld. Ingegaan wordt op de kosten in bedrijfsvoering, een eventueel effect van verschillende eiwitgehalten in het rantsoen op emissiereductie, het effect bij van  $MgCl_2$  in de mest bij de aanwending van mest en welk deel van de emissiereductie door toevoeging van  $MgCl_2$  aan de mest mogelijk wordt veroorzaakt door verdunning van de mest.

### 3.1 Kosten in bedrijfsvoering

FarMin verkoopt het product FarMin-G aan veehouders als  $MgCl_2$  toevoegmiddel aan mest. Het kost €0,37 per kg bij levering in Noord- en Midden-Nederland (FarMin, 2022). Als een gemiddeld bedrijf met 100 melkkoeien met jongvee 3,3 liter FarMin-G per  $m^3$  mest gebruikt kost dit op jaarbasis €4.854 (Tabel 9 en Tabel 10). Wanneer een hogere dosering nodig is om de gewenste ammoniakemissiereductie te behalen kunnen bij een dosering van 30 liter FarMin-G per  $m^3$  mest de kosten oplopen tot €41.675 per jaar. Dit betreft enkel de kosten voor het toevoegmiddel. Eventuele overige kosten zoals leveringskosten of jaarlijkse kosten voor een doseersysteem komen hier nog bij. Daarnaast kan de prijs voor  $MgCl_2$  nog veranderen wanneer het middel met hogere dosering of op groter schaal wordt toegepast.

**Tabel 9** Berekening van mestproductie.

	Aantal <sup>1</sup>	Mestproductie per dier <sup>2</sup> ( $m^3$ /jaar)	Totale mestproductie ( $m^3$ /jaar)
Melkkoeien	100	22,6	2260
Kalveren	30	6,3	189
Pinken	30	13,9	417
Totaal			2.866

<sup>1</sup> Agrimatie, <sup>2</sup> KWIN-V, 100% gras, 9000 kg melk/koe en beperkt weiden (8 uur per dag in weideseizoen)

**Tabel 10** Berekening van kosten toevoeging  $MgCl_2$  op een gemiddeld melkveebedrijf.

Dosering <sup>1</sup>	Dosering (liter $MgCl_2$ / $m^3$ mest)			
	3,3	10	20	30
kg $MgCl_2$ / $m^3$ mest <sup>1</sup>	4,32	13,1	26,2	39,3
€/m <sup>3</sup> mest	1,60	4,85	9,69	14,54
€/bedrijf	4,584	13,892	27,783	41,675

<sup>1</sup> Dichtheid  $MgCl_2$  = 1310 kg/ $m^3$ , prijs per kg €0,37

Naast de kosten voor de aankoop van  $MgCl_2$  worden ook verschillende kostenbesparingen genoemd, zoals minder kosten voor kunstmest, krachtvoer en dierenarts en meer inkomsten door verhoogde melkproductie. In paragraaf 2.3.3 is berekend dat met wat de besparingen op kunstmest N kunnen zijn doordat deze stikstof niet is geëmitteerd en in de mest is blijven zitten. Bij een gemiddelde kunstmestprijs van €3 per kg N (Agrimatie, 2022a) kan daarmee €0,88 tot €18,60 per hectare worden bespaard. Uitgaand van gemiddeld 2 melkkoeien per hectare (Agrimatie, 2022b) geeft dit een besparing van €44 tot € 930 per jaar op bedrijfsniveau. Voor de geclaimde voordelen met betrekking tot verminderde krachtvoergift, hogere melkproductie en lagere dierenartskosten is geen onderbouwing gevonden.

### 3.2 Eiwitgehalte in rantsoen

Verlagen van de Onbestendig Eiwit Balans (OEB) in het rantsoen van melkkoeien leidt tot lagere ureumgehalten in de urine en daardoor lagere ammoniumgehalten in de drijfmest met als gevolg lagere ammoniakemissies (Smits et al., 1995; Van Duinkerken et al., 2003). Tabel 1 en Tabel 2 in Hoofdstuk 2

hebben laten zien dat bij struvietvorming door  $MgCl_2$  toevoeging ammonium in drijfmest in overmaat aanwezig is. Daardoor is het onwaarschijnlijk dat een lager eiwitgehalte in het rantsoen leidt tot te lage ammonium gehalten om struviet te vormen in de mest.

Uit de resultaten van Van Duinkerken et al., (2003) blijkt dat een verlaging van één gram ruw eiwit per kg droge stof in het rantsoen leidt tot ongeveer 0,01 kg minder  $N-NH_4/m^3$  in de mest. Een verlaging van het ruw eiwitgehalte van 167 gram naar 150 gram leidt dan tot 0,17 kg minder  $N-NH_4/m^3$  ( $\sim 0,22$  kg  $NH_4^+/m^3$ ) in de mest. Tabel 11 laat zien dat, na vermindering van  $NH_4^+$  in de mest door de aanpassing van het rantsoen, 0,38 kg  $NH_4^+/m^3$  kan worden vastgelegd en er nog 1,98 kg  $NH_4^+/m^3$  in de mest overblijft,

**Tabel 11** Berekening van hoeveelheid ammonium ( $NH_4^+$ ), fosfaat ( $PO_4^{3-}$ ) en magnesium ( $Mg^{2+}$ ) die maximaal kan worden vastgelegd in struviet als er minder ammonium in de mest zit door een verlaagd eiwitgehalte in het rantsoen en restant in drijfmest (kg per ton mest), uitgaande van een molverhouding  $NH_4^+ : PO_4^{3-} : Mg^{2+}$  van 1:1:1 en een fosfaatvastlegging in struviet van 75%.

	$NH_4^+$	$PO_4^{3-}$	$Mg^{2+}$
Reguliere drijfmest	2,58	2,01	0,72
Verminderd eiwitgehalte in rantsoen	-0,22		
Drijfmest na aangepast rantsoen	2,36	2,01	0,72
Vastgelegd in struviet	0,38	2,01	0,51
Over in drijfmest	1,98	0,00	0,21

Een hoge N/P-verhouding in de mest leidt tot meer struvietvorming en een zuiverdere vorm van struviet (Wang et al., 2021). Als de N/P mol-verhouding lager is dan 4, kan door toevoeging van stikstof (N) de verhouding worden verhoogd en dat leidt tot meer struvietvorming. In reguliere drijfmest is de N/P mol-verhouding 12 (292/24) en bij het verlaagde eiwitgehalte in het rantsoen is de N/P mol-verhouding in de mest 11 (261/24). Aanvullend is de optimale Mg/P verhouding 2 bij een pH van 8,4, maar als de pH lager is dan kan een hogere Mg/P verhouding voor dezelfde mate van fosforterugwinning zorgen (Lui et al., 2018). Een verlaging van het eiwitgehalte in het rantsoen leidt dus niet tot verminderende struvietvorming in de mest. Dit is echter een theoretische benadering en metingen zullen uit moeten wijzen of deze theorie klopt.

### 3.3 Mestaanwending

Door toevoeging van  $MgCl_2$  in de verse mest kan de  $NH_3$ -emissie uit de stal verminderen, omdat  $NH_4^+$  wordt vastgelegd in struviet. Dat betekent dat deze mest een hoger  $NH_4^+$ -gehalte heeft, dan zonder toevoeging. De verwachting is dat deze vastgelegde  $NH_4^+$  niet alsnog zal emitteren wanneer de mest wordt aangewend, ondanks het hogere  $NH_4^+$ -gehalte in de mest. De struviet binding blijft naar verwachting intact, mede door de relatief hoge pH in de mest. Het is nog niet duidelijk of na de eerste struvietvorming (waardoor  $NH_3$  emissie in de stal beperkt zou worden), het proces verder zal gaan en er nog meer struviet gevormd wordt. Als dat zo is zou de  $NH_3$  emissie ook tijdens mestaanwending beperkt kunnen worden ten opzichte van de situatie zonder  $MgCl_2$  toevoeging. Als het proces echter snel stopt zal de  $NH_3$  emissie bij aanwending met en zonder  $MgCl_2$  toevoeging gelijk zijn.

Om te toetsen of toevoeging van  $MgCl_2$  aan mest alleen bij aanwending de  $NH_3$ -emissie kan beperken wordt in opdracht van Nedmag nog onderzoek uitgevoerd. In 2022 is een veldonderzoek uitgevoerd. De resultaten zijn op het moment van schrijven (nog) niet openbaar.

### 3.4 Verdunningseffect

$MgCl_2$  wordt aan de mest toegevoegd als oplossing (32%) en hierdoor wordt ook water aan de mest toegevoegd. Wanneer 10 liter water per  $m^2$  loopoppervlak per dag, verspreid over meerdere momenten, toegediend wordt over de roostervloer, kan de ammoniakemissie met circa 40% worden verlaagd (Dooren et al., 2022). Bij een dosering van 20 liter  $MgCl_2$  oplossing per  $m^3$  mest per jaar wordt 13,6 liter water per  $m^3$  mest toegevoegd. Dit komt overeen met 0,16 liter water per  $m^2$  loopoppervlak. Dit is slechts 2% van de waterdosering waarmee de emissiereductie zoals bepaald door Dooren et al. (2022) behaald kan worden. Het

---

is daarom onwaarschijnlijk dat het verdunningseffect van toediening van  $MgCl_2$  oplossing aan de mest de verklarende oorzaak is geweest van de gemeten ammoniakemissiereductie.

---

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Het toevoegen van magnesiumchloride ( $MgCl_2$ ) aan runderdrijfmest leidt tot vastlegging van ammonium in struviet, waardoor minder ammoniak kan emitteren. Zowel in laboratoriumproeven als in praktijkproeven is aangetoond dat ammoniakemissiereductie kan worden behaald. Wel is het in de praktijk nodig dat de  $MgCl_2$  frequent (meerdere keren per dag) wordt toegediend. Op basis van voorlopige resultaten uit de praktijkproef wordt bij een dosering van gemiddeld 10-30 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  mest een reductie van 25 – 30% van de totale ammoniakemissie uit de stal verwacht. Het huidige advies van Farmin B.V. om 3,3 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  mest te gebruiken is te laag voor substantiële emissiereductie. Centrale borging van een doseersysteem is aanwezig voor eenmalige toediening en zal moeten worden aangepast en uitgebreid om dagelijkse toediening mogelijk te maken. Daarnaast is aandacht nodig voor een goede meting en borging van de juiste hoeveelheid toegediende  $MgCl_2$ .

Bij gebruik van mest met  $MgCl_2$  als meststof waarbij de huidige adviesdosering van Farmin B.V. van 3,3 liter  $MgCl_2$  per  $m^3$  mest wordt gebruikt, wordt ruim magnesium bemest en extra chloride op de bodem gebracht, maar dit is niet direct zorgwekkend. Voor voldoende emissiereductie lijkt bij de huidige stand van zaken in het stal-onderzoek op Dairy Campus echter een (veel) hogere dosering nodig van 10-30 liter per  $m^3$  mest. Dit leidt in de eerste plaats tot hoge kosten in de bedrijfsvoering, maar heeft op de lange termijn ook een negatief effect op bodem, gewas en grondwater. De hogere doseringen die zijn gebruikt tijdens het emissieonderzoek leiden tot een ruime overschrijding van het magnesium bemestingsadvies en een relatief hoge gift met chloride. Op lange termijn kan een hoge magnesium gift leiden tot schade aan de structuur van de bodem en kan magnesium het element kalium verdringen waardoor de gewasopbrengst vermindert. Een hoge dosering met chloride kan resulteren in een (te) hoog chloridegehalte in het grondwater. Door vastlegging van ammonium in struviet is minder kunstmest nodig, deze reductie is echter beperkt.

De resultaten van het onderzoek naar het effect van  $MgCl_2$  in drijfmest tijdens aanwending zijn nog niet openbaar. Naar verwachting heeft toevoegen van  $MgCl_2$  aan mest in de stal weinig tot geen (meetbaar) effect op de ammoniakemissie bij de aanwending van deze mest ten opzichte van mest waar geen  $MgCl_2$  is toegevoegd in de stal. De ammoniak die door toevoeging van  $MgCl_2$  in de stal is vastgelegd in struviet zal naar verwachting niet emitteren bij mestaanwending. Zonder toevoeging van  $MgCl_2$  zou deze ammoniak bij toediening al vervluchtigd zijn in de stal. Bezien over het hele systeem stal-opslag-aanwending zou daarom de emissie bij aanwending waarschijnlijk niet veranderen door toevoeging van  $MgCl_2$  in de stal. Het naar verwachting wel zo dat de emissie die voorkomen wordt in de stal niet alsnog plaatsvindt bij aanwending. Wanneer uit onderzoek blijkt dat ook de emissie tijdens aanwenden te vermindert, zou voor of tijdens de aanwending van de mest (opnieuw)  $MgCl_2$  toegevoegd kunnen worden. Dit leidt echter tot nog meer magnesium overbemesting en is dus niet gewenst. Er zal dan een keuze gemaakt moeten worden om met toevoeging van  $MgCl_2$  de emissie te verminderen in de stal óf tijdens de aanwending van drijfmest.

Naast reductie van ammoniakemissie is voor verschillende positieve effecten op gewas die genoemd worden in de praktijk bij het gebruik van  $MgCl_2$  geen bewijs in de literatuur gevonden. Zo is er geen onderbouwing gevonden voor verbeterde groei van gewassen op het melkveebedrijf, omdat magnesiumgebrek voor gras en voedergewassen in Nederland bijna niet voorkomt en er daardoor geen noodzaak bestaat om extra magnesium te bemesten voor de gewasgroei. Volgens het bemestingsadvies is alleen magnesium nodig als er niet voldoende in het gras komt voor de voeding van rundvee. Mogelijk hoeft bij toevoeging van  $MgCl_2$  aan de mest tijdens de eerste jaren geen extra magnesium bemest te worden. Dit kan in latere jaren juist omslaan, omdat er structureel teveel magnesium wordt bemest. Ook is geen onderbouwing gevonden voor de veronderstelling dat de wortelstructuur en smakelijkheid van het gewas verbetert door gebruik van  $MgCl_2$ , dat de krachtvoerbehoefte daalt, de melkproductie stijgt of het gebruik tot lagere dierenartskosten leidt.

Momenteel is er veel belangstelling voor de effecten met betrekking tot het gebruik van  $MgCl_2$  in mest en daarom wordt hier veel onderzoek naar gedaan om het product verder te ontwikkelen. Dit rapport betreft de

---

huidige stand van zaken en in de toekomst kunnen deze positieve effecten mogelijk alsnog worden aangetoond.

Om de kennisleemten rondom  $MgCl_2$  in mest te vullen worden verschillende onderzoeken aanbevolen. Allereerst is op stalniveau onderzoek nodig naar mogelijkheden om de  $MgCl_2$  dosering te verlagen met behoud van het emissiereductie-effect. Bijvoorbeeld door een lagere totale dosering waarbij  $MgCl_2$  (nog) vaker wordt toegediend. Daarna kan langdurig bemestingsonderzoek naar het effect op de bodem aantonen wat het effect van overdosering van magnesium op de structuur van de bodem is, of magnesium uitspoelt of juist ophoopt in de bodem en wat het effect van uitspoeling van chloride naar grond- of oppervlaktewater is. Aanvullend onderzoek naar preciezere grenswaarden van magnesium en chloride kan aangeven hoeveel  $MgCl_2$  maximaal kan worden gedoseerd, zonder dat dit ten koste gaat van bodem-, grondwater en gewaskwaliteit.

Kortom: toevoeging van  $MgCl_2$  aan runderdrijfmest kan tot een reductie van de ammoniakemissie uit stallen (en mogelijk bij aanwending) leiden, maar de toepassing dient nog verder ontwikkeld te worden. Gebruik van de huidige dosering (10-30 liter)  $MgCl_2$  per  $m^3$  mest, die nodig lijkt te zijn om 25-30% reductie van ammoniakemissie te bereiken, leidt tot extra kosten in de bedrijfsvoering, maar ook tot magnesium en chloride overbemesting, met mogelijke ophoping, uitspoeling en nadelige gevolgen in bodem, grondwater en gewas tot gevolg. De effecten op bodem, grondwater en gewas bij langdurig gebruik zijn nog onbekend en vragen nader onderzoek.



---

# Literatuur

- Agrimatie (2022a). Data - agrarische prijzen, september 2022, <https://www.agrimatie.nl/>. (Geraadpleegd op 23-11-2022).
- Agrimatie (2022b). Veebezetting – melkveehouderij, <https://www.agrimatie.nl/>, geraadpleegd op 23-11-2022
- Boer, D.J. den, J.A. Reijneveld, J.J. Schröder, J.C. van Middelkoop (2012) Mestsamenstelling in Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen, Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, Lelystad
- Burns, R.T., L.B. Moody, I. Celen, J.R. Buchanan (2003) Optimization of phosphorus precipitation from swine manure slurries to enhance recovery, *Water Sciences & Technology* 48(1):139-146, <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0037>
- Burns, R.T., L.B. Moody, F.R. Walker, D.R. Ramen (2001) Laboratory and In-Situ Reductions of Soluble Phosphorus in Swine Waste Slurries, *Environmental Technology* 22(11):1273-1278, <https://doi.org/10.1080/09593332208618190>
- Bussink, W., J. Specken, J. de Haan (2020) Effecten bemesting K, Mg, Ca, N, Cl en hun interacties op de gewasopbrengst en -kwaliteit. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1763.N.19, pp 43.
- Cabeza R., Steingrobe B., Romer W., Claassen N. (2011) Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91:173-184, DOI: 10.1007/s10705-011-9454-0.
- Celen, I., J.R. Buchanan, R.T. Burns, R.B. Robinson, D.R. Raman (2007) Using a chemical equilibrium model to predict amendments required to precipitate phosphorus as struvite in liquid swine manure, *Water Research* 41(8):1689-1696, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.018>
- Christensen, M.L., S.G. Sommer (2013) Manure characterization and inorganic chemistry, *Animal Manure – Treatment and Management*, S.G. Sommer, M.L. Christensen, T. Schmidt, L.S. Jensen (red.), John Wiley & Sons Ltd.
- CVB (2005) Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten, Commissie Onderzoek Minerale Voeding, Centraal Veevoederbureau (CVB), ISBN-10:9072839439, ISBN-13:9789072839435. 228 p.
- Degryse, F., R. Baird, R.C. da Silva and M.J. McLaughlin (2017) Dissolution rate and agronomic effectiveness of struvite fertilizers – effects of soil pH, granulation and base excess, *Plant and Soil* 410: 139-152, DOI: [10.1007/s11104-016-2990-2](https://doi.org/10.1007/s11104-016-2990-2)
- Dijkstra, J., O. Oenema, J.W. van Groenigen, J.W. Spek, A.M. van Vuuren, A. Bannink (2013) Diet effects on urine composition of cattle and N<sub>2</sub>O emissions, *Animal* 7(supplement 2):292-302, <https://doi.org/10.1017/S1751731113000578>
- Dooren, H.J.C. van, J. Mosquera (2016) Maatregelen ter vermindering van de ammoniakemissie uit de melkveehouderij: indicatieve beoordelingen van vloer- en keldermaatregelen; Wageningen University & Research, *Livestock Research Rapport* 915
- Dooren, H.J.C. van, K. Blanken, N.W.M. Ogink (2022) Reductie van ammoniakemissie door gebruik van water in melkveestallen; resultaten van emissiemetingen op Dairy Campus, Wageningen Livestock Research, *Openbaar Rapport* 1304.
- Dooren, H.J.C. van, N.W.M. Ogink, J.W. van Riel, J. Mosquera, J.L. Zonderland,(2019). Beïnvloeding van de ammoniakemissie uit melkveestallen met roostervloer door beweiding; Experiment op Dairy Campus, Wageningen Livestock Research, *Rapport* 1130.
- Doyle, J.D., S.A. Parsons (2022) Struvite formation. control and recovery, *Water Research* 36:3925-3940
- Ehlert P.A.I., Van Dijk T.A., Oenema O. (2013) Opname van struviet als categorie in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet; Advies. in: WOT natuur & milieu (Ed.), Wot-werkdocument, Wageningen UR, Wageningen, pp. 98.
- Farmin (2022) Wat kost Farmin-g, <https://farmin.nl/>, geraadpleegd op 23-11-2022
- Gell K., De Ruijter F.J., Kuntke P., De Graaff M., Smit A.L. (2011) Safety and effectiveness of struvite from black water and urine as a phosphorus fertilizer, *Journal of agricultural science* 3:67-80, DOI: 10.5539/jas.v3n3p67.

- Ghosh G.K., Mohan K.S., Sarkar A.K. (1996) Characterization of soil-fertilizer P reaction products and their evaluation as sources of P for gram (*Cicer arietinum* L), *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46:71-79, DOI: 10.1007/bf00210225.
- Gong, W., Y. Li, L. Lou, X. Luo, X. Cheng, H. Liang (2018) Application of Struvite-MAP Crystallization Reactor for Treating Cattle Manure Anaerobic Digested Slurry: Nitrogen and Phosphorus Recovery and Crystal Fertilizer Efficiency in Plant Trials, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(7):1397, <https://doi.org/10.3390/ijerph15071397>
- Gonzalez-Ponce R., Lopez-de-Sa E.G., Plaza C. (2009) Lettuce Response to Phosphorus Fertilization with Struvite Recovered from Municipal Wastewater, *Hortscience* 44:426-430.
- Gonzalez-Ponce R.G., De Sa M. (2007) Evaluation of struvite as a fertilizer: a comparison with traditional P sources, *Agrochimica* 51:301-308.
- Gonzalez-Ponce R.G., De Sa M. (2008) Efficacy of magnesium ammonium phosphate recovered from wastewater on white lupin plant, A greenhouse experiment, *Agrochimica* 52:352-359.
- Johnston A.E., Richards I.R. (2003) Effectiveness of different precipitated phosphates as phosphorus sources for plants, *Soil Use and Management* 19:45-49, DOI: 10.1079/sum2002162.
- Le Corre, K.S., E. Valsami-Jones, P. Hobbs, S.A. Parsons (2005) Impact of calcium on struvite crystal size, shape and purity, *Journal of Crystal Growth* 283(3-4):514-522. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.06.012>
- Lee, J.E., M.M. Rahman, C.S. Ra (2009) Dose effects of Mg and PO<sub>4</sub> sources on the composting of swine manure, *Journal of Hazardous Materials* 169(1-3):801-807. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.026>
- Li, Y., T. Liu, J. Song, J. Lv, J. Jiang (2020) Effects of chemical additives on emissions of ammonia and greenhouse gas during sewage sludge composting, *Process Safety and Environmental Protection* 143:129-137, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.056>
- Lui, X., G. Wen, Z. Hu, J. Wang (2018) Coupling effects of pH and Mg/P ratio on P recovery from anaerobic digester supernatant by struvite formation, *Journal of Cleaner Production* 198:633-641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.073>
- Manning, D.A.C. (2008) Phosphate minerals, environmental pollution and sustainable agriculture, *Elements* 4:105-108, DOI: 10.2113/gselements.4.2.105
- Marti, N., A. Bouzas, A. Seco, J. Ferrer (2008) Struvite precipitation assessment in anaerobic digestion processes, *Chemical Engineering Journal* 141(1-3):67-74, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.10.023>
- Massey M.S., Davis J.G., Ippolito J.A., Sheffield R.E. (2009) Effectiveness of Recovered Magnesium Phosphates as Fertilizers in Neutral and Slightly Alkaline Soils, *Agronomy Journal* 101:323-329, DOI: 10.2134/agronj2008.0144.
- Monteny, G.J. & J. Keuskamp (2022) Laboratory case/control test of three additives to reduce NH<sub>3</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from dairy cow manure, Meet-ID rapport 2022-001
- Monteny, G.J., A. Vos, R. van Vliet, G. Groenendal, S. Westerink (2021b) Case/control-onderzoekoptimalisatievermindering ammoniakemissie uit melkveemest door toepassing van mestadditief op basis van magnesiumchloride (Nedmag), Meet-ID rapport 2021-001
- Monteny, G.J., E. van Well, A.P. Bos, D. Puente Rodríguez (2021a) Case/control-onderzoek naar de vermindering van de methaan- en ammoniakemissie uit melkveemest door toepassing van mestadditieven. Meet-ID rapport 2021-002
- Nedmag (2017) Productspecificatie MgCl<sub>2</sub> tech liquid FQ 32%, ontvangen van Nedmag B.V. op 14-09-2022
- Nicksy, J., Amiro, B., Entz, M., 2022, Recycled nutrients supply phosphorus for organically-managed wheat and forage crops, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 123, 137-151.
- Puente-Rodríguez, D. Gollenbeek, L.R., Verdoes, N. & Bos, A.P., 2022. Perspectief van het aanzuren van mest in Nederland om methaan- en ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Livestock Research, Rapport 1375
- Regelink, I.C., P. Elhert, G. Smit, S. Everlo, A. Prinsen, O. Schoumans (2019) Phosphorus recovery from co-digested pig slurry; development of the RePeat process. Wageningen Environmental Research, report 2949, Wageningen
- RIVM (n.d.) Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit, resultaten, Chloride - toestand 2015-2018. <https://www.rivm.nl/>. Geraadpleegd op 19-05-2023
- Schonewille, J.Th. Beynen, A.C., 2005, Reviews on the mineral provision in ruminants (III): Magnesium metabolism and requirements in ruminants, CVB documentation report nr. 35, November 2005, Centraal Veevoederbureau, <https://edepot.wur.nl/333740>

- 
- Schoumans, O.F., P.A.I. Ehlert, I.C. Regelink, J.A. Nelemans, I.G.A.M. Noij, W. van Tintelen, W.H. Rulkens (2017) Chemical phosphorus recovery from animal manure and digestate; Laboratory and pilot experiments, Wageningen Environmental Research, Report 2849
- Schoumans, O.F., P.A.I. Ehlert, J.A. Nelemans, W. van Tintelen, W.H. Rulkens and O. Oenema (2014) Explorative study of phosphorus recovery from pig slurry; Laboratory experiments, Alterra Wageningen University & Research, Report 2514.
- Shih, K., H. Yan (2016) Chapter 26 - The crystallization of struvite and its analog (K-struvite) from waste streams for nutrient recycling, *Environmental Materials and Waste, Resource Recovery and Pollution Prevention*, 665-686, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00026-3>
- Siciliano, A., C. Limonti, G.M. Curcio, R. Molinari (2020) Advances in Struvite Precipitation Technologies for Nutrients Removal and Recovery from Aqueous Waste and Wastewater, *Sustainability* 12(18):7538, <https://doi.org/10.3390/su12187538>
- Smits, M.C.J., H. Valk, A. Elzing, A. Keen (1995) Effect of protein nutrition on ammonia emission from a cubicle house for dairy cattle, *Livestock Production Science* 44(2):147-156, [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00068-6](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00068-6)
- Talboys, P.J., Heppell, J., Roose, T., Healey, J.R., Jones, D.L., Withers, P.J.A., 2016, Struvite: a slow-release fertiliser for sustainable phosphorus management? *Plant Soil* 401, 109-123.
- Tao, W., K.P. Fattah, M.P. Huchzermeier (2016) Struvite recovery from anaerobically digested dairy manure: A review of application potential and hindrances, *Journal of Environmental Management* 169:46-57, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.006>
- Timmerman, M., H.C. de Boer, N. Verdoes, H. Schilder (2018a) Effect van vergisting op het orthofosfaat gehalte in rundermest en potentieel voor terugwinning, Wageningen Livestock Research, Rapport 1088, Wageningen
- Timmerman, M., I.C. Regelink, N. Verdoes, G. Kupers, K. Blanken (2018b) Fosfaatvormen in melkveemest en potentieel voor terugwinning, Wageningen Livestock Research, Rapport 1087, Wageningen
- Van Duinkerken, G., G. André, M.C.J. Smits, G.J. Monteny, K. Blanken, M.J.M. Wagemans, L.B.J. Šebek (2003) Relatie tussen voeding en ammoniakemissie vanuit de melkveestal, Praktijkonderzoek Veehouderij, Praktijkrapport Rundvee 25
- Vermeer, H., H. Hopster (2017) Signaalindicatoren bij handhaving van "Open Normen" voor dierenwelzijn; pilot klimaat in varkensstallen, Wageningen University & Research, Livestock Research Rapport 1017,
- Wang, Y., J. Mou, X. Lui, J. Chang (2021) Phosphorus recovery from wastewater by struvite in response to initial nutrients concentration and nitrogen/phosphorus molar ratio, *Science of The Total Environment* 789, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147970>
- Witter, E., H. Kirchmann (1989) Effects of addition of calcium and magnesium slats on ammonia volatilization during manure decomposition, *Plant and Soil* 115:53-58, <https://doi.org/10.1007/BF02220694>
- Zhang, X.C., L.D. Norton (2002) Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *Journal of Hydrology* 260: 194-205 DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00612-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00612-6)

---

# Bijlage 1: Vragen LNV

Samenbrengen van beschikbare informatie tot een overzichtsdokument over de effecten van het toedienen van  $MgCl_2$  aan drijfmest in de kelder van melkveestallen op de ammoniakemissie uit de stal en het gebruik van die mest als meststof, Daarbij worden in ieder geval onderstaande informatiebronnen gebruikt:

- Literatuur en ervaringen (o.a. uit Azië)
- Pottenproeven, uitgevoerd door 'MeetID'
- Onderzoek op Dairy Campus
  - Resultaten fase 1
  - Voorlopige resultaten fase 2
- Beschrijving van borging met centrale aansturing op afstand
- Onderzoek op proefvelden t.a.v. gewasgroei-effecten bij toevoeging van  $MgCl_2$
- Bodemanalyses van de afgelopen 4 jaar van circa 100 melkveehouders die  $MgCl_2$  aan drijfmest toevoegen

Secundair is er behoefte aan de volgende aanvullende inzichten:

- Indicatieve kosten in de bedrijfsvoering
- Inschatting effect van verschillende eiwitgehaltes (10% minder eiwit) op de werking van  $MgCl_2$
- Inschatting effect van  $MgCl_2$  in drijfmest op emissies bij mestaanwending
- Inschatting invloed van verdunnen van de mest door toevoeging  $MgCl_2$
- Overzicht kennisleemten

## Bijlage 2: Ontvangen bestanden van Nedmag (31-08-2022)

Verwijzing	Titel document	Type	Instituut
Le Corre et al., 2007	Kinetics of struvite precipitation: effect of the magnesium dose on induction times and precipitation rates	Laboratorium- en pilotproeven	Environmental Technology, volume 28(12)
Elhert & Oenema, 2017	Magnesium chloride as an additive to animal manure	Literatuur scan (niet openbaar)	WUR, WEnR
Schoumans et al., 2017	Chemical phosphorus recovery from animal manure and digestate	Laboratorium- en pilotproeven	WUR, WEnR, Soil Quality
Onbekend, 2017	MgCl <sub>2</sub> tech liquid FQ 32%*	Productspecificatie	NedMag B.V.
Gong et al., 2018	Application of Struvite-MAP Crystallization Reactor for Treating Cattle Manure Anaerobic Digested Slurry: Nitrogen and Phosphorus Recovery and Crystal Fertilizer Efficiency in Plant Trials	Modellen en experimenten	International Journal of Environmental Research and Public Health, volume 15
Regelink et al., 2019	Phosphorus recovery from co-digested pig slurry	Laboratorium- en pilotproeven	WUR, WEnR
Elhert et al., 2020	Effect van toediening van magnesium en fosfaat aan runderdrijfmest op de emissie van ammoniak	Stand van zaken verkennend laboratorium onderzoek (niet openbaar)	WUR, WEnR
Onbekend, 2020	Meet ID resultaten Farmin	Twee grafieken n.a.v. pottenproef (niet openbaar)	Onbekend
Monteny et al., 2021	Case/control-onderzoek optimalisatie vermindering ammoniakemissie uit melkveemest door toepassing van mestadditief op basis van magnesiumchloride (Nedmag)	Pottenproef (niet openbaar)	Meet ID, Monteny Milieu advies
Onbekend, 2022	Samenvatting emissie proeven	Power point (niet openbaar)	NedMag B.V.
Van Dooren, 2022	Effecten van toevoeging MgCl <sub>2</sub> aan drijfmest op NH <sub>3</sub> emissie uit melkveestallen	Power point (niet openbaar)	WUR, WLR
Onbekend, 2022	Verloop ammoniakemissie Nedmag	Proef Dairy Campus (niet openbaar)	WUR, WLR

\* ontvangen op 14-09-2022

---

# Bijlage 3: Plantbeschikbaarheid van fosfaat in struviet in gewas

## Potproeven

Ghosh et al. (1996) hebben een aantal fosfaat-neerslagproducten, waaronder struviet, getest op kekererwt (*Cicer arietinum* L.), in vergelijking met superfosfaat. De proef werd uitgevoerd als potproef. De fosfaat-neerslagproducten werden gemaakt in een laboratorium. Er werd grond van drie origines gebruikt met pH's 5.2, 5.1 en 8.1: twee zure en één alkalische grond. Er waren 2 niveaus van P toediening en een controle die geen P kreeg. De totale droge stofopbrengst en het P gehalte van de planten werden na 45 dagen bepaald. Hoewel struviet een hogere droge stofopbrengst en P opbrengst dan superfosfaat opleverde, was het verschil niet significant. Struviet was net zo effectief als superfosfaat.

Johnston & Richards (2003) hebben verschillende soorten struviet getest in Engels raaigras (*Lolium perenne*) in potproeven. Struviet van verschillende oorsprong (rioolwaterzuivering, uit industrie en één uit Nederlandse kalvermest) en is vergeleken met synthetisch struviet in P opname en droge stofopbrengst. Als controle was monocalcium fosfaat (tripelsuperfosfaat) meegenomen. Tevens is in deze proef een synthetische ijzerfosfaat getest. Er was geen significant verschil in droge stofopbrengst tussen de verschillende struviet typen. Ook het ijzerfosfaat gaf geen lagere droge stofopbrengst, alleen een wat lagere P opname. Over het algemeen wordt verwacht dat ijzer een onoplosbare verbinding vormt met fosfaat en daardoor het fosfaat niet meer beschikbaar is voor planten. In deze proef kwam dat niet tot uitdrukking. Als mogelijke verklaring wordt de leeftijd van de kristallen gegeven: hoe ouder, hoe verder er precipitatie (kristal- en/of neerslagvorming in kalkdeeltjes) is opgetreden.

Gonzalez Ponce and Garcia Lopez de Sa (2007) hebben een potproef uitgevoerd met Engels raaigras (*Lolium perenne*). De planten werden 6 keer geoogst (6 sneden). In de tweede en vijfde snede was het P-gehalte van het gras met struviet hoger dan met superfosfaat, de droge stofopbrengst en P gehalte van de overige sneden was gelijk voor struviet en superfosfaat. De P die gemeten werd in de bodem na afloop van de gewasproef werd niet beïnvloed door de P vorm, alle P vormen verhoogden de P in de bodem.

Gonzalez Ponce and Garcia Lopez de Sa (2008) hebben tevens een potproef uitgevoerd met lupine (*Lupinus albus* L.), Lupine staat erom bekend dat het fosfaat kan losmaken uit bodems waar fosfaat gebonden zit aan bijvoorbeeld ijzer, zoals in tropische gronden. Maar ook lupine kan reageren op toegediend fosfaat. In de proef werden superfosfaat en struviet van een waterzuiveringsinstallatie getest, zowel in spruit aan het eind van de vegetatieve periode als in planten met rijp zaad. Droge stofopbrengst in spruit, korrel en totaal waren gelijk voor superfosfaat en struviet. Het P gehalte en P opbrengst van de planten was eveneens gelijk voor struviet en superfosfaat.

Gonzalez-Ponce et al. (2009) heeft struviet getest in sla (*Lactuca sativa* L.) in een potproef. Het struviet was gemaakt in een rioolwaterzuivering installatie in de buurt van Madrid. Het P gehalte van de meststof was 10,4 % P, iets lager dus dan het gehalte in zuiver struviet (13. tabel 2). De referentie meststof was superfosfaat. Gemeten werd het beschikbare fosfaat in de bodem en de opbrengst en P opname van de sla. In eerste instantie (na 1 maand) was de beschikbaarheid van het superfosfaat veel hoger maar na 2 maanden was er (vrijwel) geen verschil meer tussen struviet en superfosfaat: de beschikbaarheid van superfosfaat was afgenomen tot het niveau van het struviet. De opbrengst en de P opname van de sla-planten is bij de toediening van struviet hoger dan bij superfosfaat, ondanks de betere oplosbaarheid van superfosfaat. Als verklaring wordt gegeven dat magnesium in struviet de P-opname stimuleert. Struviet is als fosfaatmeststof in deze proef in ieder geval niet slechter dan superfosfaat.

Massey et al. (2009) hebben struviet getest in zomertarwe (*Triticum aestivum*) in licht alkalische gronden in een potproef. De pH is een bepalende factor voor de oplosbaarheid van struviet: een zuurdere omgeving verhoogt de oplosbaarheid. Daarom werd verwacht dat deze meer alkalische gronden mogelijk een lager

---

effect van struviet zouden later zien. De pH's van deze gronden waren 5,9, 7,0 en 8,0, Maar ook onder deze omstandigheden bleek struviet net zo effectief als tripel superfosfaat te zijn.

Cabeza et al. (2011) hebben een potproef uitgevoerd met maïs (*Zea mays*) waarin verschillende fosfaatmeststoffen werden vergeleken, waaronder struviet van verschillende herkomst en tripelsuperfosfaat. Deze potproef liep 2 jaar achtereen en werd uitgevoerd in een licht zure grond en een neutrale grond. In dit onderzoek werd aangetoond dat oplosbaarheid van de P in water geen goede maat is voor de beschikbaarheid van de P voor planten. De gemeten oplosbaarheid in de bodemoplossing was voor alle struviet soorten hoger dan de wateroplosbaarheid. De effectiviteit van P in meststoffen kon het best benaderd worden door de meststof toe te dienen aan grond en het effect op bodemvruchtbaarheid parameters te bepalen. Daarom zou er verder onderzoek uitgevoerd moeten worden naar een parameter die de effectiviteit van P meststoffen het best voorspelt, zodat die niet bepaald hoeft te worden in een potproef. In de proef was ook een as van rioolslib opgenomen als P meststof. De struviet soorten bleken even effectief als tripelsuperfosfaat, zowel in de zure als in de neutrale grond. As van rioolslib bleek geen goede P meststof. Aangegeven is dat het mogelijk wel geschikt zou zijn als grondstof voor de P meststoffen industrie.

Talboys et al. (2016) concluderen op basis van potproeven, laboratoriumproeven en modellering van het transport van fosfaat in bodems dat struviet een goede slow release P-meststof is, naast conventionele meststoffen die voor de snelle behoefte aan P zouden kunnen zorgen.

Gong et al. (2018) hebben een potproef uitgevoerd met drie groenten (water spinach (*Swamp cabbage*), amaranth en *Brassica parachinensis*) met toepassing van MAP. Er zijn in deze proef geen andere fosfaatmeststoffen ter vergelijking opgenomen. Het gebruik van MAP resulteerde in hogere droge stofopbrengst.

Degryse et al. (2017) hebben potproeven uitgevoerd waarin de oplosbaarheid van struviet werd vergeleken met kunstmest. Uit de proeven bleek dat de oplosbaarheid van struviet afhankelijk is van de pH in de bodem en hoe fijn het struviet gemalen is. Bij een bodem pH (extractie met  $\text{CaCl}_2$ ) variërend van 4,8 tot 7,7 bleek de oplosbaarheid van (fijngemalen) struviet beter te zijn naarmate de pH lager was. Na 60 dagen was de oplossingsgraad van struviet bij pH 4,8 circa 85% van die kunstmest, bij pH 7,7 was dat circa 5%. Het verband leek vrijwel rechtlijnig te zijn (oplosbaarheid versus pH).

### **Veldproeven**

In veldproeven zijn omstandigheden minder goed controleerbaar dan in potproeven. De respons op fosfaat is in veldproeven over het algemeen minder duidelijk dan in potproeven omdat de omstandigheden als weer en bodem minder onder controle zijn.

Gell et al. (2011) hebben een veldproef in snijmaïs (*Zea mays*) in Nederland uitgevoerd op een veld met een lage P voorziening vanuit de bodem. Het P-AL-getal was 18 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100$  g grond en de Pw 18 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/l$ , dit is laag. Twee soorten struviet, één gewonnen uit rioolwater (zwart water) en één gewonnen uit humane urine, werden vergeleken met tripelsuperfosfaat en een controle (geen fosfaatbemesting). De soorten struviet werden toegediend met water om te zorgen dat het niet direct weg kon stuiven en de tripelsuperfosfaat met een gewone kunstmeststrooier. De grond werd tot 15 cm diepte bewerkt (gefreesd) en de snijmaïs ingezaaid. Tijdens de groei werd het gewas een aantal keren visueel beoordeeld en na een normale groeiperiode werden de proefveldjes geoogst en de droge stofopbrengst bepaald. Ondanks een verwachte lage P-levering van de bodem, was er in de eindopbrengst geen verschil tussen de controle en de meststoffen of de meststoffen onderling. In een eerder stadium, na 52 dagen, werden de veldjes met struviet uit zwart water en tripelsuperfosfaat beter beoordeeld ten aanzien van de stand van het gewas. Daarna verdween dat verschil geleidelijk. Het P-AL-getal was na de eindoogst hoger op de veldjes met tripelsuperfosfaat en struviet uit zwart water dan op de controle; onderling was er geen significant verschil. Op veldjes met struviet uit urine werd het P-AL-getal niet gemeten. De mindere werking van de urinestruviet in het begin van het seizoen wordt toegeschreven aan de fijnheid van het product: de urinestruviet klonterde waardoor er minder intensief contact is tussen struviet en bodem.

In dit artikel is tevens aandacht besteed aan de magnesium in struviet en aan het voorkomen van ziektekiemen of contaminanten. Bij gebruik van 200 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ha per jaar, zoals in deze proef, moet er op gelet worden dan er voldoende bekalft wordt om de calcium-magnesium verhouding in orde te houden.

---

Nicksy et al. (2022) hebben een 2-jarige veldproef in zomertarwe en hooi uitgevoerd. De behandelingen waren zonder P, met mono-ammonium fosfaat kunstmest (MAP kunstmest) en gerecyclede meststoffen: struviet van rioolwater, frass (residu van insectenkweek), digestaat van vergiste voedselresten, en compost van dierlijk mest. De proef werd uitgevoerd op een bodem met een hoge pH (8,1-8,3) en een lage P bodemvruchtbaarheid (P Olsen 3 mg kg<sup>-1</sup>). In tarwe hadden struviet en digestaat een lagere opname dan de kunstmest, en frass and compost behandelingen vergelijkbaar met de kunstmest MAP kunstmest. In hooi was de cumulatieve P-opname voor digestaat, struviet en compost lager dan voor MAP kunstmest en frass.

### **Deskstudie**

De Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) heeft in 2013 een studie gerapporteerd naar struviet (Ehlert et al., 2013). Hierin wordt aangegeven dat de korrelgrootte van het struviet een bepalende factor voor de landbouwkundige werkzaamheid is: een kleinere korrel/kristal zorgt voor een grotere werkzaamheid. Opgemerkt wordt ook dat niet in alle processen zuiver struviet wordt gevormd, soms is het een mengvorm van verschillende fosfaat houdende neerslagen die een andere werkzaamheid kunnen hebben dan (chemisch) zuiver struviet. Wanneer het struviet dat bij mestraffinage geproduceerd wordt, toegepast zou gaan worden in industriële processen moet duidelijk zijn of gehalten met contaminanten (bijvoorbeeld zware metalen en organische verontreinigingen) binnen grenzen valt. Ook moet de aanwezigheid van bacteriën of andere micro-organismen worden nagegaan. Het hygiëniseren van struviet door blootstelling aan hoge temperaturen kan lastig zijn omdat struviet ontleedt bij hoge temperaturen.

De conclusie van CDM is dat de samenstelling van struviet-producten sterk afhankelijk is van het proces waarmee het is gemaakt en daarmee mogelijk de landbouwkundige werkzaamheid en de geschiktheid van het struviet als grondstof voor de meststoffen industrie.





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](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
[www.wur.nl/livestock-research](http://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.

