

Samenvatting

Biologische verzuring van mest biedt potentieel voor het reduceren van emissies van ammoniak en methaan uit mestopslagen. Tevens kan de toevoeging van organische stoffen de productie van biogas bevorderen. Bij dit proces worden specifieke organische stoffen aan mest toegevoegd, waardoor biologische omzettingen plaatsvinden die leiden tot verzuring. Het Ministerie van Landbouw, Voedselvoorziening en Natuur (LVVN) overweegt om de stoffen die bij biologische verzuring worden toegepast, op te nemen in de Meststoffenregeling. In dit kader heeft het ministerie de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) enkele vragen gesteld over deze stoffen.

De zuurgraad (pH) is een belangrijke factor bij het sturen op de juiste biologische omzettingen. In een recent praktijkproef in Nederland werd met melasse een goede verzuring bereikt. De pH van mest bleef op vrijwel alle meettijdstippen onder de 5,5. Biologische verzuring van mest zal, bij het behalen van een voldoende lage pH, resulteren in een lagere ammoniakemissie. Echter, er ontbreken nog praktijkmetingen in stallen en bij mesttoepassing die deze emissiereductie bevestigen.

Diverse studies laten zien dat de methaanemissie door aanzuren van mest met zuur sterk (tot wel 90%) kan dalen. Er is minder onderzoek uitgevoerd naar emissiereducties bij biologische verzuring van drijfmest. Bij een lage pH (<5,0) vindt nauwelijks methaanvorming plaats. Het is wel van groot belang dat de drijfmest homogeen wordt verzuurd. Indien de pH onvoldoende laag is, of indien er in de mestkelder plekken zijn waar de pH onvoldoende laag is, ontstaan condities die gunstig zijn voor methaanvorming. In dat geval kan er juist meer methaanvorming ontstaan omdat organische zuren snel worden omgezet naar methaan. In een slecht geventileerde of dichte kelder kan dit leiden tot meer methaanemissie, zichtbaar als schuimvorming, dat onder specifieke omstandigheden kan leiden tot ontploffingsgevaar.

Er wordt verwacht dat de productie van biogas bij vergisting toeneemt door biologisch verzuren, omdat i) er afbreekbare organische stof via substraat wordt toegediend en ii) er meer afbreekbare organische stof aanwezig is in mest uit de opslag indien deze biologisch verzuurd is. In de vergister is de pH-waarde hoger, waardoor methaanvormende bacteriën goed gedijen. Door continu een beperkte hoeveelheid verzuurde mest bij te mengen aan de vergister, blijft de pH in de inhoud van de vergister voldoende hoog.

Voor biologische verzuring worden bij voorkeur suikerrijke reststoffen zoals melasse, citrusmelasse, appelpulp, fruitpulp en wei gedoseerd. Ook zetmeel wordt makkelijk omgezet naar melkzuur. Het is mogelijk om andere reststromen met complexere koolhydraten te doseren, maar de verzuring zal dan trager verlopen. Reststoffen met een hoog aandeel eiwit of vet (zoals glycerine) zijn niet of minder geschikt voor biologische verzuring. Gewasresten zoals mais of silphie zouden in theorie ook gebruikt kunnen worden.

Veel reststoffen uit de agro-food industrie zijn als meststof of als co-vergistingsmateriaal toegelaten (bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet). Bij het gebruik van deze reststoffen voor biologische verzuring worden grote hoeveelheden stof gedoseerd. Bij nutriëntarme reststoffen is de aanvoer van stikstof en fosfaat laag (<0,1 kg per ton mest), maar bij nutriëntrijkere stromen wordt er 2 tot 10 kg stikstof per ton drijfmest en tot wel 6 kg fosfaat aangevoerd per ton mest. Sommige reststoffen kunnen hoge gehalten aan kalium, natrium, zwavel of chloor bevatten. Bij toepassing van deze reststoffen voor biologische verzuring kan de zoutlast per ton mest zeer hoog zijn, wat een aangepaste dosering - onder de stikstof- en fosfaatgebruiksnormen - vergt om negatieve effecten te voorkomen.

Hoge zwavelgehalten in reststoffen kunnen leiden tot een toename van H₂S-concentraties. Hoge H₂S-concentraties kunnen leiden tot minder biogasproductie en corrosie en daarnaast is H₂S giftig voor mensen. De veehouder moet op voorhand rekening houden met de aanvoer van mineralen en zouten via stoffen voor biologisch verzuren van mest.

Het feit dat een stof vermeld is op bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, en daarmee als covergistingsmateriaal mag dienen, biedt onvoldoende zekerheid over de veiligheid van de stof bij gebruik voor biologische verzuring. Het opnemen van geschikte stoffen voor biologische verzuring in de Meststoffenregeling vereist een zorgvuldige beoordeling van hun werking, samenstelling en risico's.

1 Inleiding

Er lopen verschillende projecten naar het biologisch verzuren¹ van dierlijke mest (o.a. Bussink et al., 2025; Meiresonne et al., 2024). Bij het biologisch verzuren van mest worden bepaalde organische stoffen aan mest toegediend, waardoor biologische omzettingen in de mest plaatsvinden die leiden tot het verzuren van de mest. Biologisch verzuren heeft de potentie om bij te dragen aan de vermindering van emissies van ammoniak en methaan uit mestopslagen. Daarnaast kan door het toevoegen van de organische stof de productie van biogas en daarmee groengas worden gestimuleerd.

Het Ministerie van Landbouw, Voedselvoorziening en Natuur (LVVN) overweegt om de stoffen die bij biologische verzuring worden toegepast, op te nemen in de Meststoffenregeling. In dit kader heeft het ministerie de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) enkele vragen gesteld over deze stoffen. Het ministerie van LVVN heeft de CDM gevraagd om de volgende vragen te beantwoorden (Bijlage 1):

1. Ten algemene kunt u een beschrijving geven van het proces van biologisch verzuren van mest? Kunt u daarbij aandacht besteden aan de volgende zaken:
 - a. Wat dit betekent voor een potentiële reductie van ammoniakemissies tijdens opslag?
 - b. Wat dit betekent voor een potentiële reductie van methaanemissies?
 - c. In hoeverre deze reductie van emissies voor methaan en ammoniak in stand blijft bij aanwenden van de mest zonder deze te vergisten?
 - d. Heeft het verzuren effect op het vergistingsproces en de productie van biogas/groen gas?
2. Met welke te onderscheiden stoffen is het mogelijk om mest biologisch aan te zuren? Is er iets bekend over de beschikbaarheid van deze stoffen of producten die hiervoor gebruikt worden?
3. Waar en wanneer zouden deze stoffen ten behoeve van biologisch verzuren met het meeste effect toegevoegd kunnen worden aan de mest (bijvoorbeeld stallen en mestopslagen)?
4. Hoeveel stof van de in vraag twee aangegeven stoffen zou bij benadering en zover bekend toegevoegd kunnen worden?
5. Zijn er veiligheids-, (dier)gezondheids- en/of milieurisico's bekend over de in vraag twee benoemde stoffen en/of het toevoegen van deze stoffen aan mest?

De CDM heeft een ad-werkgroep gevraagd om het advies voor te bereiden. Deze werkgroep bestond uit Inge Regelink (Wageningen Environmental Research), Rachel Renes (Wageningen Environmental Research), Luuk Gollenbeek (Wageningen Livestock Research) en Gerard Velthof (voorzitter van de CDM). Het advies is gereviewed door leden van de CDM (Bijlage 2).

¹ In dit advies wordt de term verzuren gebruikt in plaats van aanzuren. Het verzuren is een proces dat in de mest optreedt en waarbij de zuurgraad daalt. Bij aanzuren wordt er zuur aan de mest toegevoegd.

2 Beantwoording van de vragen

1. Ten algemene kunt u een beschrijving geven van het proces van biologisch verzuren van mest?

Bij biologische verzuring worden omstandigheden gecreëerd die gunstig zijn voor de microbiële omzetting van suikers naar organische zuren. Om mest op biologische wijze te verzuren, moet een gemakkelijk afbreekbare koolstofbron worden toegevoegd, zoals melasse. Melasse is een suikerrijke reststroom uit de suikerindustrie die onder anaerobe (zuurstofloze) omstandigheden biologisch kan worden omgezet in organische zuren, waaronder melkzuur en azijnzuur. Vooral melkzuur is een sterk zuur. Bij voldoende melkzuurproductie kan de pH van mest dalen tot circa 5,0. Hiervoor is het essentieel dat er voldoende koolstofrijk materiaal wordt toegevoegd om de bufferende werking van de mest te doorbreken.

Naast de beschikbaarheid van koolstof speelt ook de temperatuur een belangrijke rol in het verzuringsproces. Bussink et al. (2014) beschreven dat de pH-daling in de opstartfase bij lage temperaturen langzamer verloopt. Tegelijkertijd moet de temperatuur niet te hoog zijn, omdat juist bij lagere temperaturen (bijvoorbeeld 10 °C) meer suiker uit melasse wordt omgezet in zuur dan bij hogere temperaturen (zoals 25 °C).

Om de biologische verzuring snel op gang te brengen, worden bij voorkeur suikerrijke reststoffen zoals melasse gedoseerd. Melasse bestaat voor 50% uit sacharose wat wordt omgezet in fructose en glucose. Deze suikers kunnen direct omgezet worden naar melkzuur. Ook zetmeel wordt makkelijk omgezet naar melkzuur. Het is mogelijk om andere reststromen met complexere koolhydraten te doseren, maar de verzuring zal dan trager verlopen omdat de koolhydraten eerst moeten afbreken tot glucose. Eiwitten en vetten zijn niet geschikt voor biologische verzuring, omdat deze niet worden omgezet naar melkzuur.

De zuurgraad is een belangrijke factor bij het sturen op de juiste biologische omzettingen. Het is van belang om de productie van melkzuur te stimuleren, omdat melkzuur een relatief sterk zuur is. Bij een voldoende hoge melkzuurproductie daalt de pH tot 5,0 of lager. Melkzuurbacteriën prefereren zure omstandigheden en zodra de mest eenmaal verzuurd is, zal de populatie melkzuurbacteriën zichzelf in stand houden. Echter, bij hogere pH-waarden worden suikers omgezet in andere afbraakproducten zoals ethanol, azijnzuur en andere vluchtige vetzuren. Hoewel dit deels ook organische zuren zijn, is de verzurende werking hiervan minder sterk (hogere pKa waarde²) dan van melkzuur. Proeven laten daarom zien dat het gunstig is om de mest initieel aan te zuren tot een pH onder 6,0 zodat de populatie van melkzuur-producerende bacteriën kan groeien (Regueiro et al., 2022). Bij toepassing in een mestkelder betekent dit dat de initiële voorraad mest in de kelder eenmalig met een zuur wordt aangezuurd, waarna vervolgens regelmatig melasse of een vergelijkbare stof wordt gedoseerd, zodat de verzuring en het bijmengen van verse mest in evenwicht zijn. Soms wordt bij opstart een inoculum met geschikte bacterieculturen toegevoegd, maar dit is niet noodzakelijk.

Biologisch verzuren van drijfmest is veelal onderzocht in laboratoriumproeven, maar het aantal praktijkproeven is erg beperkt. In Nederland is recent een eerste praktijkproef uitgevoerd waarbij drijfmest in de mestput van een melkveestal biologisch werd verzuurd door toediening van melasse en dit ook gedurende enkele maanden werd gecontinueerd (Bussink et al., 2025). In dit onderzoek werd gedurende een halfjaar melasse toegevoegd en werd wekelijks de pH gemeten. Hierbij werd een goede verzuring bereikt waarbij de pH mest op bijna alle tijdstippen lager was dan 5,5. In de onbehandelde mestput was de pH 7,4. De ervaringen uit deze praktijkproeven zijn gebruikt bij beantwoording van deze kennisvragen, naast kennis vanuit de wetenschappelijke literatuur. Eerder werd een praktijkproef gedaan met biologisch verzuren waarbij eenmalig melasse werd gedoseerd in een mestkelder en daarna enkele maanden de pH werd gevolgd (Meiresone et al., 2024). De pH in de aangezuurde mest daalde in dit onderzoek van 8,1 naar 5,5 in 13 dagen en stabiliseerde op 4,7. Na 9 weken steeg de pH naar 6,0.

² pKa is een maat voor de sterkte van een zuur in oplossing

1a. Wat dit betekent voor een potentiële reductie van ammoniakemissies tijdens opslag?

Het vrijkomen van ammoniak (NH_3) uit mest is een fysisch-chemisch proces en wordt gestuurd door enerzijds de eigenschappen van de mest, zoals de pH en het aandeel ammoniakal stikstof, en de omgevingscondities zoals temperatuur, windsnelheid en zoutsterkte. Een hogere pH vergroot het risico op ammoniakemissies. De pH van onbehandelde drijfmest ligt normaal tussen pH 7,0 – 8,0 en bij deze pH-waarden is een fractie van de ammoniakale stikstof (TAN) aanwezig in de vorm van ammoniak waardoor er een risico is op vervluchtiging. Het aanzuren van drijfmest tot een pH-waarde van 5,5 of lager geeft een substantiële reductie van de ammoniakemissie, omdat alle ammoniakale stikstof dan aanwezig is in de vorm van ammonium (NH_4^+) waardoor er praktisch geen vervluchtiging op treedt.

Emissiemetingen in stallen waarin drijfmest met zwavelzuur werd aangezuurd tonen aan dat de ammoniakemissies met 40 tot 70% dalen (Overmeyer et al., 2023; Petersen et al., 2016). Deze metingen werden uitgevoerd in varkensstallen, waarbij de drijfmest werd aangezuurd tot pH 5,5. De auteurs verklaren de resterende emissies door vervuilde stalvloeren die niet waren aangezuurd. Ammoniakemissies in stallen zijn afkomstig vanuit de mestput en stalvloeren. In melkveestallen is de ammoniakemissie grofweg voor 60% afkomstig van de vloer en 40% vanuit de mestput (Puente-Rodríguez en Bos 2019). In vleesvarkensstallen draagt juist de mestkelder meer dan de vloer bij aan de ammoniakemissie. In Denemarken wordt bij verzuren van melkveemest 40% reductie aangehouden en voor varkens 64 % (Puente-Rodríguez et al., 2022).

Biologische verzuring van mest zal, bij het behalen van een voldoende lage pH, ook resulteren in een lagere ammoniakemissie, al zijn er nog geen goede emissiemetingen in praktijkstallen die dat bevestigen. In de praktijkproef van Bussink et al. (2025) werd wel op twee tijdstippen de ammoniakconcentratie in de mestkelder gemeten, waaruit bleek dat de ammoniakconcentratie in de biologisch verzuurde stal fors lager was dan in de referentiestal.

In melkveestallen kan een grotere reductie bereikt worden door het verzuren te combineren met het spoelen van de stalvloeren. Bussink et al. (2025) hebben testen uitgevoerd in een melkveestall waarbij de roostervloer gespoeld werd met dunne fractie van de aangezuurde drijfmest. Dit leidde tot een grote reductie in de ammoniakemissie vanaf de roostervloer tot wel 90% ten opzichte van de onbehandelde stalvloer. Een kanttekening hierbij is wel dat er alleen kortdurend (enkele uren) emissiemetingen zijn uitgevoerd. De inschatting is dat het spoelen met zuur zeer frequent herhaald moet worden om over langere perioden een substantiële verlaging van de ammoniakemissies van de roostervloer te behalen. Dat kan een knelpunt vormen en de haalbaarheid van het spoelen met aangezuurde mest vraagt zodoende nog verder onderzoek.

1b. Wat dit betekent voor een potentiële reductie van methaanemissies?

Methaanvormende bacteriën zijn gevoelig voor de pH-waarde en het is bekend dat een neutrale pH (pH 6,5–7,7) de optimale condities geeft voor methaanproductie in vergistingsinstallaties. Bij veel lagere pH-waarden wordt de methaanvorming geremd, omdat de activiteit van de methaanvormende bacteriën afneemt. Wanneer mest wordt aangezuurd naar pH 5,5 of lager mag daarom verwacht worden dat de methaanvorming afneemt. Omdat bij biologische verzuring extra afbreekbare koolstof wordt toegevoegd aan de mest, neemt de potentiële methaanproductie (i.e. bij een neutrale pH) juist toe. Het is daarom van belang om te sturen op een continue lage pH-waarde om te voorkomen dat er meer methaan vrij komt dan uit onbehandelde mest.

Er zijn diverse studies waarin methaanemissies zijn bepaald na het aanzuren van mest met zwavelzuur. Deze studies laten zien dat methaanemissies sterk dalen. In incubatieproeven werd 90% reductie in methaanemissies uit varkensmest wanneer deze was aangezuurd tot pH 6,0 (Shin et al., 2019). In Duitsland en Denemarken zijn er ook emissiemetingen in stallen verricht waarbij de drijfmest met zwavelzuur werd aangezuurd tot pH 5,5. Dit gaf 50 tot 90% lagere methaanemissies ten opzichte van de onbehandelde stal (Overmeyer et al., 2019; Petersen et al., 2013).

Er is beduidend minder onderzoek gedaan naar emissiereducties bij biologische verzuring van drijfmest. Er zijn enkele incubatieproeven waaruit blijkt dat de methaanemissies lager zijn, al zijn er wel grote verschillen in de mate waarin de emissies dalen. In één studie was er geen meetbare emissie van methaan na verzuren (Gomez-Munoz et al., 2025), terwijl er andere studies wel methaan vrijkwam maar in lagere concentraties dan in de referentie (Kavanagh et al., 2021). Wanneer het toevoegen van organische reststromen zoals melasse of appelpulp leidt tot onvoldoende pH-verlaging (pH 6-7) zijn de methaanemissies juist hoger dan in de onbehandelde mest (Kavanagh et al., 2021).

In de recent uitgevoerde praktijkproef van Bussink et al. (2025) zijn op twee tijdstipmomenten de methaanconcentraties in de biologisch aangezuurde mestput gemeten en vergeleken met de referentieput met onbehandelde mest. Hieruit bleek dat de methaanconcentraties in de lucht uit de aangezuurde put op één tijdstip fors lager waren dan in de onbehandelde mestput. Op een ander tijdstip waren de methaanconcentraties in beide mestputten laag. Dit betrof puntmetingen op twee tijdstippen. Er zijn continue metingen nodig om een emissiereductiepercentage af te kunnen leiden (Bussink et al., 2025). Het is hierbij van belang om langdurige emissiemetingen uit te voeren omdat bacteriepopulaties zich ook kunnen aanpassen aan lichtzure omstandigheden (Ali et al., 2019).

Het is bekend dat methaanvorming wordt geremd bij een lage pH (<5,5) en dit werkt ook wanneer de verzuring tot stand komt door biologische verzuring of een combinatie van een anorganisch zuur en biologische verzuring (Gomez-Munoz et al. 2025). Dit betekent echter wel dat drijfmest homogeen moet zijn en de pH-controle op meerdere locaties en op meerdere dieptes in de mestput uitgevoerd moet worden. Een aandachtspunt daarbij is dat de mest in een mestkelder mogelijk niet homogeen is ondanks het mixen. De praktijkproef van Meiresonne et al. (2024) geeft bijvoorbeeld aan dat de pH tot 0,6 eenheden varieert bij gelijktijdige meting op verschillende plekken in de stal. Het risico bestaat dat de mest in dode hoeken of onder in de mestput minder zuur wordt door onvoldoende menging.

Methaanemissies zijn het gevolg van biologische productie van methaan en de factoren die methaanemissie sturen zijn anders dan de factoren die de ammoniakemissie sturen. De emissie van ammoniak wordt gestuurd door fysisch-chemische processen. De pH aan het oppervlak waar de mest in contact komt met de lucht is een belangrijke factor die de ammoniakemissie bepaalt. Dus wanneer de drijfmest aan het oppervlak voldoende zuur is, dan is de ammoniakemissie beperkt, ongeacht de pH onder in de mestkelder. In dezelfde situatie kan er echter wel veel methaan ontstaan, omdat methaanvormende bacteriën onder in de mestkelder actief worden en het gevormde methaangas vervolgens naar boven borrelt en ontsnapt. Methaan is een sterk broeikasgas en emissies moeten daarom verminderd worden. Methaan is tevens zeer brandbaar en bij een hoge methaanemissie in combinatie met een beperkte ventilatie kan de methaanconcentratie in de mestkelder oplopen. Bij een methaanconcentratie van 4% of hoger kan een kleine vonk al leiden tot een gasontploffing. Dergelijke incidenten zijn zeldzaam maar vragen om de nodige voorzorgsmaatregelen bij het toepassen van biologische verzuring in mestputten. Het zorgdragen voor een voldoende lage pH en goede menging in de drijfmestkelder en voldoende ventilatie zijn daarbij van belang.

1c. In hoeverre deze reductie van emissies voor methaan en ammoniak in stand blijft bij aanwenden van de mest zonder deze te vergisten?

De ammoniakemissies bij het aanwenden van drijfmest is afhankelijk van diverse factoren. De zuurgraad van de mest is een belangrijke factor. Het is bekend dat het aanzuren van drijfmest met zwavelzuur (of een ander zuur) de ammoniakemissie bij aanwenden van mest verlaagt. Uit literatuur blijkt dat aanzuren van mest tot een pH van circa 6,5 leidt tot een daling van de ammoniakemissies van 40-60% ten opzichte van onbehandelde mest bij uitrijden met een sleepvoet (Wagner et al., 2021). In ouder onderzoek werd bij oppervlakkige mesttoediening een emissiereductie van 72% vastgesteld door het aanzuren van mest tot een pH van 5,0 (Bussink et al., 1994).

In Nederland is een emissiearme aanwending van drijfmest verplicht. Emissiearme aanwending betreft in Nederland zodenbemesting, bouwlandinjectie en voor grasland op klei- en veengrond sleepvoetbemesting, waarbij de mest met water verdund is (1: 2).

De generieke emissiefactor voor aanwending van drijfmest met een zodenbemester op grasland is 17% van de ammoniakale stikstof in mest. Er zijn geen onderzoeken gevonden waarin ammoniakemissie is bepaald in aangezuurde mest ten opzichte van emissiearme toediening van de mest. Er mag verwacht worden dat de emissiefactor daalt naarmate de pH van de drijfmest bij aanwending lager is. Geschat wordt dat er bij een pH van 5,0 of lager een forse emissiereductie behaald wordt ten opzichte van de emissiefactor voor emissiearme aanwending van mest, omdat de mest bij deze lage pH-waarden niet meer emissiegevoelig is. Uit praktijkproeven blijkt dat het haalbaar is om dergelijk lage pH-waarden te behalen met biologisch verzuren (Bussink, 2025; Meiresonne, 2024).

Methaanemissie is geen aandachtspunt bij het uitrijden van dierlijke mest. Na aanwenden komt de mest in contact met de lucht waardoor er geen methaan meer gevormd wordt. Wel kan er nog wat methaan ontsnappen wat reeds in de stal is gevormd. Dit zal bij biologisch verzuurde mest lager zijn dan bij onbehandelde mest.

1d. Heeft het verzuren effect op het vergistingsproces en de productie van biogas/groen gas?

Er wordt verwacht dat de methaanproductie toeneemt bij het vergisten van verzuurde mest vanwege twee redenen. Ten eerste bevat biologisch verzuurde mest door het toevoegen van substraat meer makkelijk afbreekbare koolstofverbindingen ten opzichte van onbehandelde mest. De tijdens de verzuring gevormde organische zuren zoals melkzuur worden in de vergister afgebroken naar methaan. Ten tweede wordt de methaanvorming door de zure omstandigheden in de mestopslag geremd, waardoor er meer biologisch afbreekbare koolstof behouden blijft welke in de vergister alsnog wordt omgezet. In de vergister is de pH-waarde hoger, waardoor methaanvormende bacteriën goed gedijen. Door continue een beperkte hoeveelheid verzuurde mest bij te mengen aan de vergister, blijft de pH in de inhoud van de vergister voldoende hoog bij een goed functionerende vergisting.

Een aandachtspunt bij de vergisting van biologisch verzuurde mest is dat het zwavelgehalte mogelijk verhoogd is ten opzichte van onbehandelde mest. Bepaalde reststoffen kunnen veel zwavel bevatten. Een voorbeeld hiervan is citrusmelasse, wat veel suikers bevat maar ook relatief veel zwavel. Zoals onder vraag 1A besproken kan het noodzakelijk zijn om incidenteel zuur toe te voegen om de pH te verlagen en daarvoor een sterk zuur te gebruiken. In de eerdergenoemde praktijkproef werd hiervoor een organische zuur (mierenzuur) gebruikt. Organische zuren zijn echter kostbaar en vanuit prijsoverwegingen ligt het voor de hand dat hiervoor zwavelzuur gebruikt zal worden. Het toedienen van zwavelhoudende restproducten en zwavelzuur kan leiden tot een hogere zwavelaanvoer naar de vergister en daarmee een toename in de H₂S concentraties in de vergisters. Het is belangrijk om H₂S-concentraties te beheersen, omdat het bij te hoge concentraties giftig is voor methaanvormende bacteriën. Verder is H₂S een sterk corrosief gas is waardoor schade kan ontstaan aan leidingen, motoren en dergelijke. Ook is H₂S zeer giftig voor mensen en kan het leiden tot geuroverlast. Beheersing van H₂S-emissies kan door toevoeging van ijzerslib of ijzerzouten of door zuivering van het biogas maar dit verhoogt de kosten voor de vergister.

2. Met welke te onderscheiden stoffen is het mogelijk om mest biologisch te verzuren. Is er iets bekend over de beschikbaarheid van deze stoffen of producten die hiervoor gebruikt worden?

Biologische verzuring ontstaat door de omzetting van korte koolstofverbindingen (zoals glucose) tot organische zuren. In Nederland is er nu alleen ervaring met gebruik van melasse voor biologische verzuring. Ook in de literatuur wordt hoofdzakelijk gerapporteerd over proeven met melasse.

De agro-food industrie biedt een keur aan reststromen die in potentie geschikt zijn om mest te verzuren. Iedere stof die goed fermenteerbare suikers bevat, is in principe geschikt om biologische verzuring op gang te brengen. Tot nu toe is veel ervaring opgedaan met gebruik van melasse. Melasse van suikerbieten bestaat voor circa 50% uit sacharose en vormt daarmee een geschikte suikerbron voor biologische omzetting tot melkzuur. Andere reststoffen met een hoog aandeel suikers zijn citrusmelasse, appelpulp, fruitpulp en wei. Vinasse, een ander bijproduct uit de suikerindustrie, is niet of minder geschikt omdat dit reeds een fermentatiestap heeft doorlopen en zodoende weinig afbreekbare suikers bevat. Reststoffen met langere koolhydraten zijn in theorie ook geschikt voor biologische verzuring, mits de koolhydraten voldoende snel afbreken tot korte koolstofverbindingen zoals glucose. Dit kan betekenen dat de verzuring trager verloopt of minder goed stuurbaar is ten opzichte van het gebruik van een snelle koolstofbron zoals melasse. Voorbeelden van reststoffen met complexere koolhydraten zijn zetmeelrijke stoffen zoals aardappelzetmeel en aardappelstoomschillen, tarwe-indamconcentraat en tarwezetmeel. Reststoffen met een hoog aandeel eiwit of vet (zoals glycerine, aardappelvetkrum, bierborstel etc.) zijn niet of minder geschikt voor biologische verzuring. Voor bovenstaande stoffen geldt wel dat er andere factoren kunnen zijn waardoor de stof alsnog ongeschikt is voor toediening aan mest (zie vraag 4).

Vanuit praktisch oogpunt is het belangrijk dat de stof voldoende geconcentreerd is. Bij gebruik van melasse met een glucosegehalte van 50% volstaat een dosering van 38- 70 L melasse per ton mest (Meiresonne et al., 2024; Bussink et al., 2025). Bij een lager suiker- of zetmeelgehalte neemt de dosering evenredig toe. Waterige reststromen zullen zodoende vanuit praktisch oogpunt afvallen omdat er dan extra mestopslag nodig is en tevens extra volumes moeten worden afgevoerd indien het bedrijf een overschot heeft.

Gewassen zoals gehakselde mais of silphie zouden in theorie ook gebruikt kunnen worden, maar er zijn nog geen proeven gedaan naar biologische verzuring met dit soort stoffen. Het toepassen van gehakselde gewassen lijkt niet kansrijk, omdat er op basis van het zetmeelgehalte van mais (400 g/kg drogestof, 30% drogestof) zo'n 300 kg maissilage per ton mest nodig is om voldoende verzuring tot stand te brengen. Verwacht mag worden dat de pH veel trager reageert bij dosering van gewasresten, omdat deze minder snel beschikbaar zijn voor micro-organismen ten opzichte van melasse. Bovendien is gehakselde mais primair een veevoer en zou dit alleen in beeld komen als grondstof voor verzuring indien de mais niet meer geschikt is als veevoer.

Er is weinig publieke informatie beschikbaar over de omvang van bovengenoemde reststromen. De inschatting is dat er op dit moment meer dan voldoende reststromen beschikbaar zijn om biologische verzuring op een groot aantal bedrijven toe te passen zonder daarbij te concurreren met toepassingen in veevoer of levensmiddelen. De suikerindustrie heeft aangegeven op jaarbasis circa 182 kton melasse te produceren, dat hoofdzakelijk wordt afgezet naar biogasinstallaties. Dit is voldoende om op circa 950 melkveebedrijven met een gemiddelde omvang (150 melkkoeien + jongvee) biologische verzuring toe te passen (bij een dosering van 40 kg melasse per ton drijfmest). Melasse heeft een economische waarde – het levert immers biogas op – en veehouders zullen dus qua prijs wel moeten concurreren met exploitanten van vergistingsinstallaties. Het uitwerken van de kosten was geen onderdeel van deze kennisvraag en zal ook sterk afhangen van de context waarin de veehouder opereert.

3. Waar en wanneer zouden deze stoffen ten behoeve van biologisch verzuren met het meeste effect toegevoegd kunnen worden aan de mest (bijvoorbeeld stallen en mestopslagen)?

Stoffen kunnen worden toegevoegd aan een mestkelder mits deze stoffen goed door de mestkelder gemengd kunnen worden en de mestkelder wordt uitgerust met apparatuur om de pH-waarde op meerdere plekken te monitoren. Deze werkwijze is toegepast in de recente praktijkproef (Bussink et al., 2024). Het is ook mogelijk om de drijfmest te verpompen naar een kleine externe tank waarin de stof wordt toegevoegd en de verzuring plaatsvindt. Daarna wordt de drijfmest weer teruggepompt naar de mestkelder. Deze werkwijze is gangbaar bij het chemisch aanzuren van mest in Denemarken (Puente et al., 2022), omdat er bij het chemisch aanzuren mestgassen kunnen vrijkomen. Dit risico speelt minder bij biologische verzuring, omdat de pH geleidelijk daalt waardoor koolzuurgas heel geleidelijk vrijkomt.

De toepassing van biologisch verzuren in externe mestopslagen is niet voordehand liggend, omdat deze opslagen zijn afgedekt en de ammoniakemissie al beperkt is. Biologisch verzuren in externe mestopslagen zou wel in het kader van reductie van methaanemissie toegepast kunnen worden.

4. Hoeveel stof van de in vraag twee aangegeven stoffen zou bij benadering en zover bekend toegevoegd kunnen worden.

Op dit moment is er nog beperkt ervaring met biologisch verzuren van drijfmest, maar de beschikbare resultaten geven wel een beeld van de benodigde doseringen. In een recente praktijkproef in een melkveeststal is volgens opgave 70 L melasse per ton drijfmest gedoseerd. Dit komt overeen met circa 44 kg sacharose per ton drijfmest. Bij deze proef werd de nog aanwezige mest in de kelder aangezuurd met mierenzuur om snel verzurende condities op te leggen. In een eerdere praktijktest op een melkveebedrijf was gestart met een dosering van 120 L melasse per ton drijfmest waarna er geen melasse meer werd gedoseerd maar wel dagelijks verse mest in de kelder viel (Meiresonne, 2024). Aan het einde van de proef was er 48 L melasse per ton drijfmest in de mestkelder aanwezig. De pH was hierbij langdurig laag ($\text{pH} < 5,0$) maar nam aan het einde van de proef weer toe tot $\text{pH} 6,0$.

Er zijn in de literatuur geen andere voorbeelden van biologisch verzuren op praktijkschaal gevonden, maar wel diverse proeven waarbij mest op kleinere schaal werd aangezuurd. De doseringen die in literatuur gevonden worden komen qua orde-grootte overeen met de praktijkervaringen van Bussink et al. (2025). In labproeven met varkensdrijfmest waren doseringen van 30 tot 40 kg glucose per ton drijfmest voldoende om de mest te verzuren tot $\text{pH} < 5,0$ (Chrysanthopoulos et al., 2024; Kennedy, 2018; Regueiro et al., 2022). Bussink et al., (2014) stelde eerder in laboratoriumonderzoek lagere melassedoseringen vast van 50 L melasse (33 kg sacharose) per ton mest (zonder initieel verzuren) en van 28 – 43 L melasse per ton mest na initieel aanzuren. Met initieel aanzuren wordt bedoeld dat de startvoorraad mest met een zuur wordt aangezuurd en dat nadien de dagverse drijfmest biologisch wordt verzuurd. Door initieel aanzuren worden gunstige condities voor melkzuur-producerende bacteriën gecreëerd waardoor deze bacteriën de overhand krijgen. Dit leidt ertoe dat een groter aandeel van de glucose wordt omgezet naar melkzuur waardoor met een lagere glucose dosering hetzelfde effect wordt bereikt.

Op basis van de praktijkproef van Bussink et al. (2025) is de melassedosering vertaald naar een gemiddeld bedrijf. Voor een gemiddeld melkveebedrijf met 100 melkkoeien en 58 stuks jongvee betekent de dosering die is toegepast door Bussink et al. (2025) een verbruik van circa 230 m³ melasse per jaar. Dit komt ongeveer overeen met acht tankwagens. Verwacht wordt dat er aanzienlijke verschillen zijn in de benodigde dosering tussen individuele veehouderijbedrijven door verschillen in het zuurbufferend vermogen van de drijfmest.

De hoeveelheid stof die gedoseerd wordt hangt ook af van de het aandeel suikers of makkelijk afbreekbare koolhydraten in de stof. Melasse is een geconcentreerde reststroom welke voor 50% uit suikers bestaat. Bij gebruik van meer waterige reststromen neemt de dosering evenredig toe. Bijvoorbeeld, bij gebruik van weiwater met een suikergehalte van 5% is een dosering van circa 700 L weiwater per ton mest nodig. Hierdoor neemt het volume aan mest met 70% toe wat betekent dat er extra mestopslagcapaciteit nodig is en de kosten voor mestafvoer en uitrijden toenemen. In de praktijk betekent dit dat biologisch verzuren alleen interessant zal zijn bij gebruik van geconcentreerde restproducten zoals melasse of weiconcentraat.

5. Zijn er veiligheids-, (dier)gezondheids- en/of milieurisico's bekend over de in vraag twee benoemde stoffen en/of het toevoegen van deze stoffen aan mest?

De agro-food sector biedt een keur aan reststoffen afkomstig van evenzoveel verschillende verwerkingsprocessen. Hoewel deze stoffen zijn toegelaten als meststof of als co-vergistingsmateriaal in het kader van de Meststoffenwet, zijn er wel aandachtspunten bij het gebruik van deze stoffen voor biologische verzuring op een boerenbedrijf.

Bij biologische verzuring worden er grote hoeveelheden stof gedoseerd, waardoor de samenstelling van de drijfmest sterk kan veranderen. Bepaalde stoffen kunnen veel stikstof, fosfaat, kalium, natrium of zwavel bevatten. Er zijn grote verschillen in de samenstelling van potentieel geschikte reststromen.

In Bijlage 3 is een tabel opgenomen met samenstelling en doseringen per ton drijfmest voor een selectie van koolhydraatrijke reststromen. De dosering per ton drijfmest is berekend uitgaande van 35 kg suiker per ton mest. Het is dus van belang om het stikstof- en fosfaatgehalte te kennen om deze mee te kunnen nemen in de mestboekhouding. Bij nutriëntarme reststromen is de aanvoer van stikstof en fosfaat laag (<0,1 kg per ton mest), maar bij nutriëntrijkere stromen zoals lean molasse (geproduceerd uit bietenmelasse), aardappelzetmeel of tarwegistconcentraat wordt er 2 tot 10 kg N per ton drijfmest aangevoerd.

Een ander aandachtspunt zijn andere zouten en elementen die in de stoffen aanwezig kunnen zijn. Reststoffen uit de agrofood kunnen hoge gehalten aan kalium, natrium, zwavel of chloor bevatten. Deze elementen kunnen van nature aanwezig zijn in de stof of verhoogd zijn door het gebruik van natronloog, kaliloog, zwavelzuur of zoutzuur in het verwerkingsproces. In grote vergistingsinstallaties vindt verdunning plaats met andere reststromen en mest, maar bij toepassing voor biologische verzuring kan de zoutlast per ton mest zeer hoog zijn. Het gebruik van lean molasse, citrusmelasse en protamylasse zou leiden tot extreem hoge gehalten aan kali en/of natrium in de verzuurde mest, waardoor deze niet meer geschikt is voor gebruik als meststof. Een te hoge zoutlast leidt tot gewasschade en te hoge kaliumbemesting op grasland kan leiden tot kopziekte bij melkvee. Hoge zwavelgehalten in reststoffen kunnen eveneens een aandachtspunt zijn, maar er is nauwelijks informatie beschikbaar over zwavelgehalten in deze reststoffen waardoor hier geen oordeel over gegeven kan worden.

De veehouder zal dus op voorhand rekening moeten houden met de aanvoer van mineralen en zouten naar zijn bedrijf om een berekening te kunnen maken van de samenstelling van de aangezuurde mest. Het feit dat een stof vermeld is op bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, en daarmee als covergistingsmateriaal mag dienen, biedt onvoldoende zekerheid over de geschiktheid van de stof bij gebruik voor biologische verzuring. Hiertoe zijn meerdere redenen. Ten eerste is er bij co-vergisters sprake van verdunning omdat er altijd een mix van co-producten wordt gebruikt waardoor een hoge zoutlast van een enkel product wordt verdund. Ten tweede kan de samenstelling van een product afwijken van de stof zoals deze in het verleden is aangeboden voor opname als co-vergistingsmateriaal. Ook zijn er verschillen in samenstelling tussen partijen en tussen batches. Ten derde valt een deel van bovengenoemde stoffen onder de G-lijst van Bijlage Aa wat betekent dat deze stoffen destijds met een versnelde procedure zijn opgenomen zonder indiening van een dossier. Dit geldt voor bietenmelasse, citrusmelasse, protamylasse, fruitrestanten, wei, tarwegist etc. Informatie over de samenstelling van reststoffen is voor afnemers niet altijd inzichtelijk. Sommige leveranciers van reststoffen verstrekken informatie over de samenstelling, maar hiertoe is geen verplichting en de informatie is niet bij alle stoffen compleet. Anders dan voor mest geldt er bij de afzet van reststoffen geen verplichting om per vracht te bemonsteren.

Een algemeen aandachtspunt bij het biologisch verzuren van mest is het risico op methaanvorming indien het proces niet voldoende beheerst wordt. Er is vakmanschap nodig om de mest in mestkelder voldoende zuur te houden. Bij opschaling naar een commerciële toepassing ligt het voor de hand om hiervoor pH-gestuurde automatische doseersystemen toe te passen. Dit is verder beschreven onder punt 1B.

6. Welke afbakeningen van stoffen/productcategorieën, of voorwaarden voor gebruik zijn nodig om risico's genoemd in vraag 5 te voorkomen?

Bij vraag 5 is geconcludeerd dat een vermelding van een stof in bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, en daarmee als covergistingsmateriaal mag dienen, onvoldoende zekerheid biedt over de veiligheid van de stof bij gebruik voor biologische verzuring. Stoffen voor verzuring dienen doelmatig te zijn, dit wil zeggen dat de organische stof snel omzetbaar is in organische zuren (liefst melkzuur). Stoffen met veel eiwitten of vetten verhogen het methaanpotentieel maar leiden niet tot een verlaging van de pH en zijn derhalve niet doelmatig. Voor de mestboekhouding zal minimaal de samenstelling van de toegevoegde stof bekend moeten zijn qua gehalten stikstof en fosfor, en de toegevoegde hoeveelheid dient geregistreerd te worden. Tevens dienen de gehalten aan kalium, natrium, zwavel en chloor bekend te zijn zodat de boer rekening kan houden met de bemestende waarde van het eindproduct.

Een eenmaal biologisch verzuurde partij mest zal totdat deze wordt aangewend of ingevoerd in een vergister voldoende zuur moeten blijven ($\text{pH} < 5,5$) om verhoogde methaanverliezen en vorming van mestgassen te voorkomen. Marktpartijen zijn bezig om hiervoor een systeem te ontwikkelen voor aansturing, borging en controle.

3 Conclusies

Stoffen voor biologische verzuring

- Om de biologische verzuring snel op gang te brengen, worden bij voorkeur suikerrijke reststoffen zoals melasse, citrusmelasse, appelpulp, fruitpulp en wei gedoseerd. Ook zetmeel wordt makkelijk omgezet naar melkzuur. Het is mogelijk om andere reststromen met complexere koolhydraten te doseren, maar de verzuring zal dan trager verlopen. Reststoffen met een hoog aandeel eiwit of vet (zoals glycerine, aardappelvetkruid, bierborstel etc.) zijn niet of minder geschikt voor biologische verzuring. Gewasresten zoals mais of silphie zouden in theorie ook gebruikt kunnen worden.
- Veel reststoffen uit de agro-food industrie zijn als meststof of als co-vergistingsmateriaal in het kader van de Meststoffenwet toegelaten. Bij het gebruik van deze reststoffen voor biologische verzuring worden er grote hoeveelheden stof gedoseerd, waardoor de samenstelling van de drijfmest sterk kan veranderen. Bij nutriëntarme reststoffen is de aanvoer van stikstof en fosfaat laag (<0,1 kg per ton mest), maar bij nutriëntrijkere stromen wordt er 2 tot 10 kg N per ton drijfmest aangevoerd. Sommige reststoffen kunnen hoge gehalten aan kalium, natrium, zwavel of chloor bevatten. Bij toepassing voor biologische verzuring kan de zoutlast per ton mest zeer hoog zijn. Hoge zwavelgehalten in reststoffen kunnen leiden tot een toename van H₂S concentraties in vergisters. Hoge H₂S-concentraties kunnen leiden tot minder biogasproductie. Daarnaast is H₂S een sterk corrosief gas en is H₂S giftig voor mensen.
- De veehouder moet op voorhand rekening houden met de aanvoer van mineralen en zouten via stoffen voor biologisch verzuren van mest. Het feit dat een stof vermeld is op bijlage Aa van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet, en daarmee als covergistingsmateriaal mag dienen, biedt onvoldoende zekerheid over de veiligheid van de stof bij gebruik voor biologische verzuring.

Dosering

- Biologisch verzuren kan worden toegepast door toevoeging van stoffen aan de mestkelder, mits deze stoffen goed door de mestkelder gemengd kunnen worden en de mestkelder wordt uitgerust met apparatuur om de pH-waarde op meerdere plekken te monitoren. De toepassing van biologisch verzuren in externe mestopslagen is niet voordehand liggend, omdat deze opslagen zijn afgedekt waardoor ammoniakemissies al beperkt zijn. Biologisch verzuren in externe mestopslagen zou wel in het kader van reductie van methaanemissie toegepast kunnen worden.
- Er is nog beperkt ervaring met biologisch verzuren van drijfmest, maar de beschikbare resultaten geven wel een beeld van de benodigde doseringen. In een recente praktijkproef in een melkveestal werd 70 L melasse per ton drijfmest (44 kg sacharose per ton) gedoseerd. Voor een gemiddeld melkveebedrijf (100 melkkoeien en 58 stuks jongvee) betekent dit een verbruik van circa 230 m³ melasse per jaar (acht tankwagens). Verwacht wordt dat er aanzienlijke verschillen zijn in de benodigde dosering tussen individuele veehouderijbedrijven door verschillen in het zuurbufferend vermogen van de drijfmest en stoffen die worden toegepast. In een eerdere praktijkproef was de dosering ongeveer een factor twee lager.

Verzuring van mest

- De zuurgraad is een belangrijke factor bij het sturen op de juiste biologische omzettingen. Het is van belang om de productie van melkzuur bij het biologische verzuringsproces te stimuleren. Bij toepassing in een mestkelder betekent dit dat de initiële voorraad mest in de kelder eenmalig met een zuur wordt aangezuurd, waarna vervolgens regelmatig gemakkelijk afbreekbare organische stof wordt gedoseerd. In een recent uitgevoerde praktijkproef in Nederland werd met melasse een goede verzuring bereikt, waarbij de pH mest op bijna alle meettijdstippen lager was dan 5,5.

Effect op ammoniakemissie

- Het aanzuren van drijfmest met zuur tot een pH-waarde van 5,5 of lager geeft een substantiële reductie van de ammoniakemissie, omdat alle ammoniakale stikstof dan aanwezig is in de vorm van ammonium (NH_4). Biologische verzuring van mest zal, bij het behalen van een voldoende lage pH, ook resulteren in een fors lagere ammoniakemissie, al zijn er nog geen goede emissiemetingen in praktijkstallen die dat bevestigen. Uit literatuur blijkt dat aanzuren van mest leidt tot een daling van de ammoniakemissies van 40-60% ten opzichte van onbehandelde mest bij toediening met een sleepvoetbemester.

Effect op methaanemissie in mestopslag

- Er zijn diverse studies die laten zien dat methaanemissies door aanzuren van mest met zuur sterk (tot wel 90%) kan dalen. Er is beduidend minder onderzoek gedaan naar emissiereducties bij biologische verzuring van drijfmest. Drijfmest moet homogeen – door de gehele mestkelder – worden verzuurd. Wanneer het toevoegen van organische reststromen leidt tot onvoldoende pH-verlaging – of plekken in de mestkelder met onvoldoende pH-verlaging –, dan nemen de methaanemissies, schuimvorming op mest en risico's op methaanophoping en ontplofingsgevaar toe.

Effect op biogasproductie

- Er wordt verwacht dat de productie van biogas bij vergisting toeneemt door biologisch aanzuren, omdat i) er afbreekbare organische stof via substraat wordt toegediend en ii) er meer afbreekbare organische stof aanwezig is in mest uit de opslag indien deze biologisch verzuurd is. In de vergister is de pH-waarde hoger, waardoor methaanvormende bacteriën goed gedijen. Door continue een beperkte hoeveelheid verzuurde mest bij te mengen aan de vergister, blijft de pH in de inhoud van de vergister voldoende hoog.

Referenties

Ali, S., Hua, B., Huang, J. J., Droste, R. L., Zhou, Q., Zhao, W., & Chen, L. (2019). Effect of different initial low pH conditions on biogas production, composition, and shift in the acetoclastic methanogenic population. *Bioresource technology*, 289, 121579.

Bussink, D.W., Huijsmans, J.F.M., Ketelaars, J.J.M.H., 1994. Ammonia volatilization from nitric-acid-treated cattle slurry surface applied to grassland. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42, 293–309. <https://doi.org/10.18174/njas.v42i4.590>

Bussink DW, Sanders JPM & Boode J (2025). Praktijkproef biologisch verzuren mest in een rundveestal, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 2035.N.24, pp 63.

Bussink, D.W., A.M.D. Van Rotterdam-Los, I. Vermeij et al., (2014). Reducing NH₃ emissions from cattle slurry by (biological) acidification: experimental proof and practical feasibility. Nutrient Management Institute NMI B.V. Report 1422.N.12. Wageningen.

Chrysanthopoulos, S., Coutinho, J., Silva, A. C., Brito, L., & Fanguero, D. (2024). Agro-industrial by-products as alternative additives for the agronomic valorization of pig slurry through pH modification. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140052.

Gómez-Muñoz, B., Jensen, L. S., & Regueiro, I. (2025). Efficiency of different strategies for pig slurry bioacidification to reduce ammonia and greenhouse gas emissions during long term storage. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(2), 115825.

Kavanagh, I., Fenton, O., Healy, M. G., Burchill, W., Lanigan, G. J., & Krol, D. J. (2021). Mitigating ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using agricultural waste, commercially available products and a chemical acidifier. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126251.

Kennedy, B., (2018). Bio-acidification of livestock slurry with sojamelasse - Effects on slurry pH, ammonia volatilization, soil nutrient availability, and plant growth. Master Thesis in Agriculture, University of Copenhagen.

Meiresonne J., (2024). Biologisch verzuren van dierlijke mest: Snelle en kosteneffectieve methode voor het terugdringen van emissies. HAS Green Academy, 's-Hertogenbosch.

Overmeyer, V., Trimborn, M., Clemens, J., Hölscher, R., & Büscher, W. (2023). Acidification of slurry to reduce ammonia and methane emissions: Deployment of a retrofittable system in fattening pig barns. *Journal of environmental management*, 331, 117263.

Petersen, S. O., Hutchings, N. J., Hafner, S. D., Sommer, S. G., Hjorth, M., & Jonassen, K. E. (2016). Ammonia abatement by slurry acidification: A pilot-scale study of three finishing pig production periods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 258-268.

Puente-Rodríguez, D. & Bos, A.P., (2019). Environmental Dairy Design for 2020 (EDD20): Ontwerpen voor huisvestingssystemen van melkvee met lage ammoniakemissie. Wageningen Livestock Research, Rapport 1162.

Puente-Rodríguez, D. Gollenbeek, L.R., Verdoes, N. & Bos, A.P., 2022. Perspectief van het verzuren van mest in Nederland om methaan- en ammoniakemissie te reduceren. Wageningen Livestock Research, Rapport 1375

Regueiro, I., Gómez-Muñoz, B., Lübeck, M., Hjorth, M., & Jensen, L. S. (2022). Bio-acidification of animal slurry: Efficiency, stability and the mechanisms involved. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101135.

Shin, S.R., Im, S., Mostafa, A., Lee, M.K., Yun, Y.M., Oh, S.E. and Kim, D.H., (2019). Effects of pig slurry acidification on methane emissions during storage and subsequent biogas production. *Water research*, 152, pp.234-240.

Wagner, C., Nyord, T., Vestergaard, A. V., Hafner, S. D., & Pacholski, A. S. (2021). Acidification effects on in situ ammonia emissions and cereal yields depending on slurry type and application method. *Agriculture*, 11(11), 1053.

Bijlage 1 Adviesaanvraag



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Directie Strategie, Kennis en
Innovatie

Datum
14-11-2024

bijlage

Adviesvraag biologisch aanzuren mest

Bijlage nummer 1
Horend bij kenmerk SKI/89797328

De minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) verzoekt de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) te adviseren over stoffen die binnen de kaders van de meststoffenwet gebruikt zouden kunnen worden voor het biologisch aanzuren van mest en daarmee reduceren van ammoniak- en broeikasgasemissies en hier een advies over uit te brengen. Bij het biologisch aanzuren worden stoffen aan mest toegediend om een biologische reactie op gang te brengen waardoor er in de mest zuur vrijkomt. Door het aanzuren van mest nemen de emissies van ammoniak en methaan af.

Aanleiding

HAS green Academy heeft een experiment uitgevoerd met biologisch aanzuren op een melkveebedrijf, met positieve resultaten.¹ Daarnaast loopt er een project in Groningen om het biologisch aanzuren te demonstreren en breder toepasbaar te maken. In Nederland lopen er momenteel een aantal onderzoeken en pilots naar het biologisch aanzuren van mest, met veelbelovende tussentijdse resultaten. Deze methode heeft volgens de betrokken onderzoekers de potentie om bij te dragen aan de vermindering van emissies van ammoniak en methaan uit mestopslagen, en om de productie van groengas te stimuleren. Gezien deze perspectiefvolle ontwikkelingen wil het ministerie bekijken op welke wijze agrarische ondernemers de mogelijkheid geboden kan worden om biologisch aanzuren in hun bedrijfsvoering toe te passen.

Om dit te kunnen faciliteren, wordt door het ministerie van LVVN overwogen om in de meststoffenregelgeving de stoffen waarmee biologisch aanzuren mogelijk is, en die geen risico's vormen voor mens en milieu, op te nemen. De Meststoffenwet is gericht op het voorkomen van verontreiniging van bodem en water in Nederland. Daarom is het momenteel niet toegestaan om zonder meer stoffen aan mest toe te voegen. De stoffen die gebruikt zouden kunnen worden voor het biologisch aanzuren van mest zijn tot zover nog niet gereguleerd binnen de meststoffenregelgeving.

U wordt verzocht antwoord te geven op de volgende vraag:

¹ [Positieve resultaten experiment biologisch aanzuren \(mestvervaarding.nl\)](#)

1. Ten algemene kunt u een beschrijving geven van het proces van biologisch aanzuren van mest. Kunt u daarbij aandacht besteden aan de volgende zaken:
 - A) Wat dit betekent voor een potentiële reductie van ammoniakemissies tijdens opslag?
 - B) Wat dit betekent voor een potentiële reductie van methaanemissies?
 - C) In hoeverre deze reductie van emissies voor methaan en ammoniak in stand blijft bij aanwenden van de mest zonder deze te vergisten?
 - D) Heeft het aanzuren effect op het vergistingsproces en de productie van biogas/groengas?
2. Met welke te onderscheiden stoffen is het mogelijk om mest biologisch aan te zuren. Is er iets bekend over de beschikbaarheid van deze stoffen of producten die hiervoor gebruikt worden?
3. Waar en wanneer zouden deze stoffen ten behoeve van biologisch aanzuren met het meeste effect toegevoegd kunnen worden aan de mest (bijvoorbeeld stallen en mestopslagen)?
4. Hoeveel stof van de in vraag twee aangegeven stoffen zou bij benadering en zover bekend toegevoegd kunnen worden/nodig zijn per eenheid mest (bv. m³) om reductie van emissies te bereiken.
5. Zijn er veiligheids-, (dier)gezondheids- en/of milieurisico's bekend over de in vraag twee benoemde stoffen en/of het toevoegen van deze stoffen aan mest.
6. Welke afbakeningen van stoffen/productcategorieën, of voorwaarden voor gebruik zijn nodig om risico's genoemd in vraag 5 te voorkomen?

Bijlage 2 Samenstelling Commissie Deskundigen Meststoffenwet

Tabel B3.1 Samenstelling van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet.

Rol	Expertise	
Leden	Plantaardige productiesystemen	Prof.dr.ir. M.K. van Ittersum Wageningen Universiteit
	Diervoeding	Dr.ir. J. Dijkstra Wageningen Universiteit
	Bedrijfseconomie	Prof.dr.ir. A.G.J.M. Oude Lansink Wageningen Universiteit
	Beleidsformaties voor duurzame samenleving	Prof.dr. M.A. Wiering Radboud Universiteit Nijmegen
	Milieutechnologie en Resource use	Prof. dr.ir. E. Meers Universiteit Gent
	Precisielandbouw/Smart Farming	Dr.ir. C.G. Kocks AERES Hogeschool
	Regeneratieve graslandssystemen	Prof.dr.ir. N.J.M. van Eekeren Wageningen Universiteit
Voorzitter	Bodem en nutriëntenmanagement	Prof. dr.ir. G.L. Velthof Wageningen Universiteit
Secretaris	Waterkwaliteit	Ir. E.M.P.M. van Boekel Wageningen Universiteit
Adviseur	Planbureau voor de Leefomgeving	Dr. Lena Schulte-Uebbing PBL, Den Haag

Bijlage 3 Samenstelling van reststoffen met een hoog gehalte aan snel afbreekbare koolstof

Samenstelling van reststoffen met een hoog gehalte aan snel afbreekbare koolstof welke daarmee potentieel geschikt zijn voor het biologisch verzuren van drijfmest. De samenstelling van de reststoffen is afkomstig vanuit de CVB Veevoedertabel 2023 en de website van de leverancier Duynie.

De dosering per ton drijfmest is berekend uitgaande van een dosering van 35 kg suiker/zetmeel per ton drijfmest. Dit komt overeen met de melassedoseringen die nodig was in de praktijkproef van Bussink et al. (2025). Bijvoorbeeld; bij bietmelasse wordt 0,1 ton bietmelasse per ton drijfmest gedoseerd en daarmee wordt respectievelijk 1,2; 0,1; en 2,9 kg N, P₂O₅ en K gedoseerd. Ter vergelijking is de samenstelling van een onbehandelde varkensdrijfmest en runderdrijfmest opgenomen.

Indien er geen suiker of zetmeel gehalte gegeven werd door de leveranciers, is aangenomen dat 50% van de drogestof bestaat uit suiker/zetmeel. Deze getallen zijn onderstreept in de tabel.

Samenstelling reststoffen (g/kg drogestof)								Dosering per ton drijfmest				
Bron	Omschrijving	Drogestof (%)	Suiker/zetmeel (g/kg ds)	N (g/kg ds)	P (g/kg ds)	K (g/kg ds)	Na (g/kg ds)	Reststof (ton/ton)	N (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	K (kg/ton)	Na (kg/ton)
CBV	Bietmelasse	78	512	16	0.5	41	7.2	0.1	1.1	0.1	2.8	
CBV	Aardappelzetmeel	45	863	4	1.1	2.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
CBV	Maiszetmeel	86	851	1	0.4	-	-	0.0	0.0	0.0		
CBV	Bietenperspulp	25	53	13	1	4.4	0.3	2.6	8.3	1.5	2.9	0.2
Duynie	Bietenpunten	15	267	14	5	12		0.9	1.8	1.5	1.6	0.0
Duynie	Citrusmelasse	55	355	50	2.3	10	95	0.2	4.9	0.5	1.0	9.4
Duynie	aardappelzetmeel, vloeib.	12	<u>500</u>	29	7.4	4.3	-	0.6	2.0	1.2	0.3	
Duynie	aardappelschillen	17	520	14	4.4	12.5	3.5	0.4	0.9	0.7	0.8	0.2
Duynie	Fruitmoes	7.5	260	13	8.7	32	-	1.8	1.7	2.7	4.3	
Duynie	Protamylasse	58	165	57	12	140	4.6	0.4	12	5.7	30	1.0
Duynie	Tarwegistconcentraat	25	165	48	9	20	7	0.8	10	4.4	4.2	1.5
Duynie	Geconcentreerde wei	50	602	14	28	54	19	0.1	0.8	3.7	3.1	1.1
Looop	Weipermeaat	35	<u>500</u>	5	27	92	-	0.2	0.4	4.3	6.4	
Duynie	Aardappelzetmeel vloeib.	12	<u>500</u>	29	3.2	4.3	-	0.6	2.1	0.5	0.3	
CBV	Maisweekwater	48	<u>95</u>	69	32	51	7.5	0.8	25	27	19	
CBV	Tarwezetmeel	23	<u>796</u>	20	3.2	6.6	2.3	0.2	0.9	0.3	0.3	