

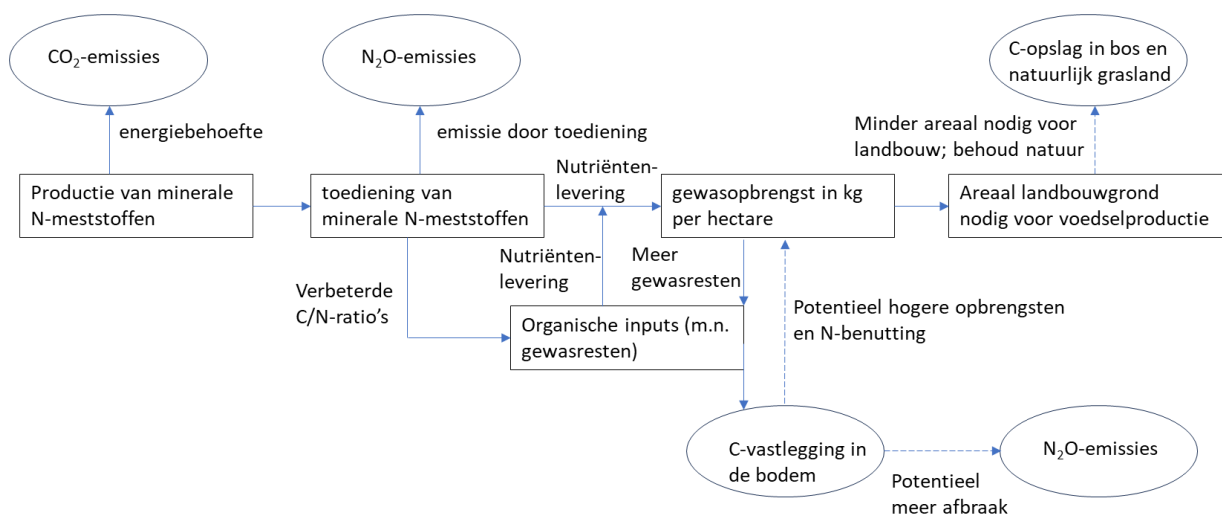
Broeikasgas-emissies bij productie en gebruik minerale N-meststoffen

Romke Postma, Tessa van der Voort & Wim Bussink

Samenvatting

1. De productie en het gebruik van minerale stikstof (N)-meststoffen gaat gepaard met de emissie van broeikasgassen (BKG's), die in totaal ca. 10 kg CO₂-eq/kg N bedraagt. Bij de productie is dat het gevolg van het gebruik van fossiele energie (aardgas) en bij de toediening vooral van lachgas (N₂O)-emissie. De BKG-emissie bij het gebruik is hoger dan bij de productie.
2. De bijdrage van het gebruik van minerale N-meststoffen aan de totale BKG-emissie in de Nederlandse landbouw bedraagt 5,9%. Het grootste deel wordt veroorzaakt door de methaan (CH₄)-uitstoot door dieren of uit mest (ca. 50%), ruim een kwart wordt veroorzaakt door het energieverbruik in de glastuinbouw en iets minder dan een kwart uit N₂O-emissie uit bemeste bodems (zowel met dierlijke mest als minerale N-meststoffen).
3. De BKG-emissies uit minerale N-meststoffen kunnen worden beperkt door i) extra C-vastlegging in organische stof, ii) het gebruik van de extra geproduceerde biomassa voor de opwekking van duurzame energie en iii) het gebruik van een kleiner areaal landbouwgrond, waardoor de opslag van C in natuurgebieden (grasland of bos) behouden kan blijven.
4. De BKG-emissies uit minerale N-meststoffen zijn verder te verlagen door
 - a. verbeteringen in het productieproces, zoals het vervangen van aardgas door waterstof verkregen via hernieuwbare energie en het opslaan van CO₂ die vrijkomt bij het productieproces,
 - b. door toepassingen van de vier juistheden van bemesting, leidend tot een hogere N-benutting. Dit betekent o.a. geen nitraathoudende meststoffen op grasland onder natte omstandigheden, maar wel op bouwland onder droge omstandigheden. Verder leidt het gebruik van urease- en nitrificatieremmers afzonderlijk of in combinatie tot een flinke reductie van BKG-emissies.

Voor een schematische weergave van de effecten van minerale N-meststoffen op BKG-emissies zie figuur 1.



Figuur 1. Schematische weergave effect N-meststoffen op BKG-emissie (naar Hijbeek et al., 2019).

Introductie

Het is van groot belang de opwarming van de aarde zoveel mogelijk te beperken. Daarom hebben 195 landen in 2015 in Parijs een akkoord ondertekend (COP21), waarbij is afgesproken dat de opwarming van de aarde beperkt wordt tot maximaal 2 graden, maar liefst tot maximaal 1,5 graden. De landen in de Europese Unie zijn daartoe overeengekomen dat de uitstoot van broeikasgassen (BKG's) in 2030 minimaal met 49% verlaagd moet zijn ten opzichte van 1990. De belangrijkste BKG's zijn kooldioxide (CO₂), lachgas (N₂O) en methaan (CH₄). De totale impact van deze broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO₂-equivalent. Daarbij is er rekening mee gehouden dat de impact van N₂O en CH₄ respectievelijk 298 en 25 maal sterker is dan van CO₂.

De productie én het gebruik van stikstof (N)-houdende minerale meststoffen draagt enerzijds bij aan de uitstoot van BKG's. Anderzijds vindt extra CO₂-vastlegging plaats in organisch materiaal door de hogere opbrengsten die worden gerealiseerd bij het gebruik van minerale N-meststoffen. In het vervolg van dit artikel wordt achtereenvolgens ingegaan op i) de uitstoot van BKG's bij productie en gebruik van minerale meststoffen, ii) op de bijdrage van minerale meststoffen aan de totale BKG-emissie in de Nederlandse landbouw, iii) op de mogelijkheden om met minerale meststoffen BKG's vast te leggen, iv) op het netto effect van minerale meststoffen op de emissie én vastlegging van BKG's en v) op mogelijkheden om de BKG-emissie uit minerale meststoffen te verlagen.

Uitstoot broeikasgassen door productie en gebruik van minerale N-meststoffen

De uitstoot van BKG's samenhangend met minerale meststoffen wordt veroorzaakt door het energieverbruik bij de productie, het transport en de toediening en verder vooral door N₂O-emissie die optreedt na de toediening van N-houdende meststoffen aan de bodem. Het energiegebruik en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen varieert tussen meststofftypen en tussen productielocaties. De hoeveelheid energie benodigd voor de productie van minerale N-meststoffen is groter dan van andere minerale meststoffensoorten. Daardoor zijn ook de BKG's van minerale N-meststoffen relatief hoog. De CO₂-emissies bij de productie van minerale N-meststoffen liggen in Europa door technologische innovaties echter een stuk lager dan in Rusland, de VS en China.

Behalve bij de productie, zal een aanzienlijk deel van de BKG-emissies optreden na de toediening van minerale N-meststoffen aan de bodem. Zo komt er bij de hydrolyse van ureum CO₂ vrij na toediening aan de bodem. In het algemeen is de emissie van N₂O de belangrijkste bron van BKG-emissies na de toediening van minerale N-meststoffen (Velthof & Rietra, 2018). Brentrup et al. (2016) geven een overzicht van de totale BKG-emissies die samenhangen met de productie én de toediening van een aantal N-houdende meststoffen en hieruit blijkt dat de emissies na toediening hoger zijn dan de emissies tijdens de productie. Dit wordt bevestigd door Menegat et al. (2022). Opmerkelijk is dat Brentrup et al. (2016) aangeven dat er niet of nauwelijks sprake is van verschillen in N₂O-emissie tussen kalkammonsalpeter en ureum, terwijl uit proeven blijkt dat die verschillen aanzienlijk kunnen zijn (Velthof & Rietra, 2018, zie verder).

Bijdrage minerale N-meststoffen aan totale BKG-emissie in de landbouw

In Nederland is de uitstoot van BKG's gedaald met ~16 % van 222 tot 187 Mton CO₂-equivalent in de periode van 1990 tot 2014 (RVO, 2016). Het aandeel van de landbouw is in deze periode ondanks productiegroei licht gedaald als gevolg van een daling van de N-bemesting en de afname van dieraantallen en bedroeg in 2014 ca. 14%.

Grofweg de helft van de uitstoot van BKG's in de landbouw is het gevolg van de uitstoot van CH₄, die deels rechtstreeks afkomstig is uit dieren (komt vrij bij de vertering van voer in het dier), en die deels komt uit mestopslagen. Iets minder dan een kwart van de BKG-uitstoot is afkomstig uit N₂O, vooral in bemeste bodems en ruim een kwart uit energieverbruik in de glastuinbouw (RVO, 2016). Uit gegevens van het Nationale Emissiemodel voor de landbouw (NEMA, Van Bruggen et al., 2023.) blijkt dat de

bijdrage van de N₂O-emissie door het gebruik van minerale N-meststoffen 5,9% is van de totale BKG-emissies uit de Nederlandse landbouw.

Extra vastlegging van CO₂ door het gebruik van minerale N-meststoffen

Zoals aangegeven gaat landbouwkundige productie samen met zowel BKG-emissie als C-vastlegging. Door fotosynthese wordt CO₂ vastgelegd in de biomassa van gewassen, waarbij per ton biomassa ongeveer 1,6 ton CO₂ wordt vastgelegd. Brentrup & Palière (2008) geven aan dat de C-vastlegging in biomassa van een hoogproductief graangewas met 18,5 ton biomassa/ha ca. 12 keer zo hoog is als de BKG-emissie die gepaard gaat met de gewasproductie (incl. productie en gebruik meststoffen). Aangezien het grootste deel van de producten van landbouwgewassen wordt gebruikt als voedsel of diervoer, wordt het door mens en/of dier verteerd, waarbij de CO₂ echter snel weer vrijkomt in de atmosfeer. Zodoende is deze C-vastlegging van korte duur (kortcyclisch) en wordt het niet meegenomen in de berekening van C-vastlegging op langere termijn (Brentrup & Palière, 2008).

Gewasresten blijven gewoonlijk achter op het land, waarbij ca. 80% binnen een jaar door biologische activiteit wordt afgebroken en omgezet in CO₂. Dit draagt dus bij aan emissie van CO₂ die in het voorafgaande jaar is vastgelegd. Het deel dat achterblijft in de bodem kan bijdragen aan de opbouw van organische stof en daarmee aan koolstofvastlegging ('C-sequestration') in de bodem. Dit wordt algemeen beschouwd als een belangrijke maatregel om klimaatverandering tegen te gaan (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). De mogelijkheden van C-vastlegging zijn in situaties met gebruik van minerale N-meststoffen door de hogere biomassaproductie groter dan in situaties zonder gebruik van minerale N-meststoffen.

Als gewassen of gewasresten worden gebruikt voor energieopwekking (b.v. door vergisting van bladresten en/of verbranding van stro) kunnen fossiele brandstoffen worden vervangen en resulteert het in een netto-reductie van de BKG-emissie. Op dat moment mag het wel worden meegenomen in de berekening van de C-footprint (Brentrup & Palière, 2008).

Extra vastlegging van BKG's via het gebruik van minerale N-meststoffen kan door:

1. extra C-vastlegging in landbouwgronden door extra biomassaproductie en daarmee een hogere aanvoer van organische stof uit gewasresten naar de bodem;
2. het gebruik van de extra geproduceerde biomassa voor energie-opwekking, waardoor fossiele brandstoffen (deels) kunnen worden vervangen, waarmee BKG-emissies worden gereduceerd;
3. het gebruik van een kleiner areaal landbouwgrond door hogere productieniveaus dan zonder minerale N-meststoffen, waardoor minder natuurgronden (met een grote hoeveelheid opgeslagen C, zeker in het geval van grasland of bos) in gebruik genomen hoeven te worden.

Wat is het netto-effect van minerale N-meststoffen op broeikasgassen?

De inzet van minerale N-meststoffen gaat zowel gepaard met emissie als vastlegging van BKG's. Hijbeek et al. (2019) concludeerden op basis van een aantal studies in Nederland (Bos et al., 2017), het Verenigd Koninkrijk (Powlson et al., 2011) en China (Gao et al., 2018) dat de BKG-emissies door productie en gebruik van minerale N-meststoffen (en andere managementmaatregelen) hoger waren dan de extra C-vastlegging in de bodem die hiermee kon worden gerealiseerd, waardoor er sprake is van een netto-emissie.

Verder werd door Hijbeek et al. (2019) aangegeven dat de scenario's voor mitigatie van klimaatverandering verschillen tussen regio's. Zo kan in regio's met schrale bodems en lage bemestingsniveaus (zoals bijvoorbeeld veelal het geval is in Afrika) worden ingezet op een hogere bemesting, aangezien daarmee meer gewasresten op de bodem achterblijven, waarmee het organische stofgehalte en daarmee ook de C-vastlegging kan stijgen. In regio's met een relatief hoge bodemvruchtbaarheid en meststoffengebruik, zoals in Nederland en andere landen in Europa, kan beter worden ingezet op het verhogen van de nutriëntenbenutting en het verlagen van de N₂O-emissie.

Guo et al. (2022) hebben op basis van een meta-analyse laten zien dat de BKG-emissie bij de teelt van tarwe, maïs, rijst en groenten afhangt van de hoogte van de N-gift. Ze hebben de resultaten van de BKG-emissie op twee manieren uitgedrukt, in kg CO₂-eq/ha en in kg CO₂-eq/kg product. Dit laatste noemen ze de BKG-intensiteit. In beide gevallen neemt de emissie met een toename van de N-gift in eerste instantie af en later weer toe. Wel wordt de laagste waarde voor de BKG-emissie bij een lagere N-gift bereikt dan de BKG-intensiteit.

Wat is mogelijk om de BKG-uitstoot van minerale N-meststoffen te beperken?

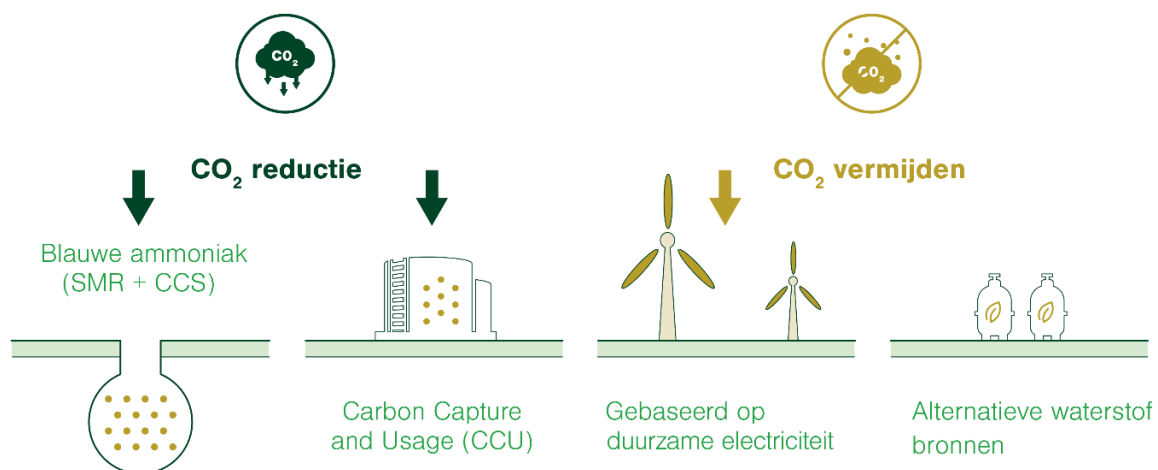
In het kader van de Europese Green Deal, moet er in 2050 op Europees niveau sprake zijn van een klimaatneutrale samenleving, waarbij de netto uitstoot van broeikasgassen 0 is. Het geformuleerde tussendoel houdt in dat de BKG-emissies in 2030 met 55% moeten zijn gedaald ten opzichte van 1990. Dit betekent dat de BKG-emissies door productie, opslag, transport en toediening van minerale N-meststoffen zoveel mogelijk moeten worden verlaagd. Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op mogelijkheden om de BKG-emissie bij productie en toediening van minerale N-meststoffen te verlagen.

Verlagen BKG-emissie bij productie

In een recent artikel beschrijven Gao en Cabrera Serrenho (2023) dat de BKG-emissies die samenhangen met de productie van minerale N-meststoffen zijn te verlagen door een verandering van de technologie. Ca. 84% van de BKG-emissies treden op tijdens de ammoniak-synthese en de andere 16% tijdens chemische processen die daarop volgen. De BKG-emissies zijn te verlagen door:

- het vervangen van aardgas als grondstof voor de ammoniak-synthese door waterstof verkregen via groene/hernieuwbare energie;
- het opvangen en opslaan van CO₂ die vrijkomt bij het productieproces (door Carbon Capture and Storage, CCS).

Veel producenten zijn hier al mee bezig en hebben duidelijke stappen gezet naar lagere emissies. Dat blijkt uit jaarverslagen, IFS webinars (2023) en publicaties van de EFMA. Zie ook figuur 2.



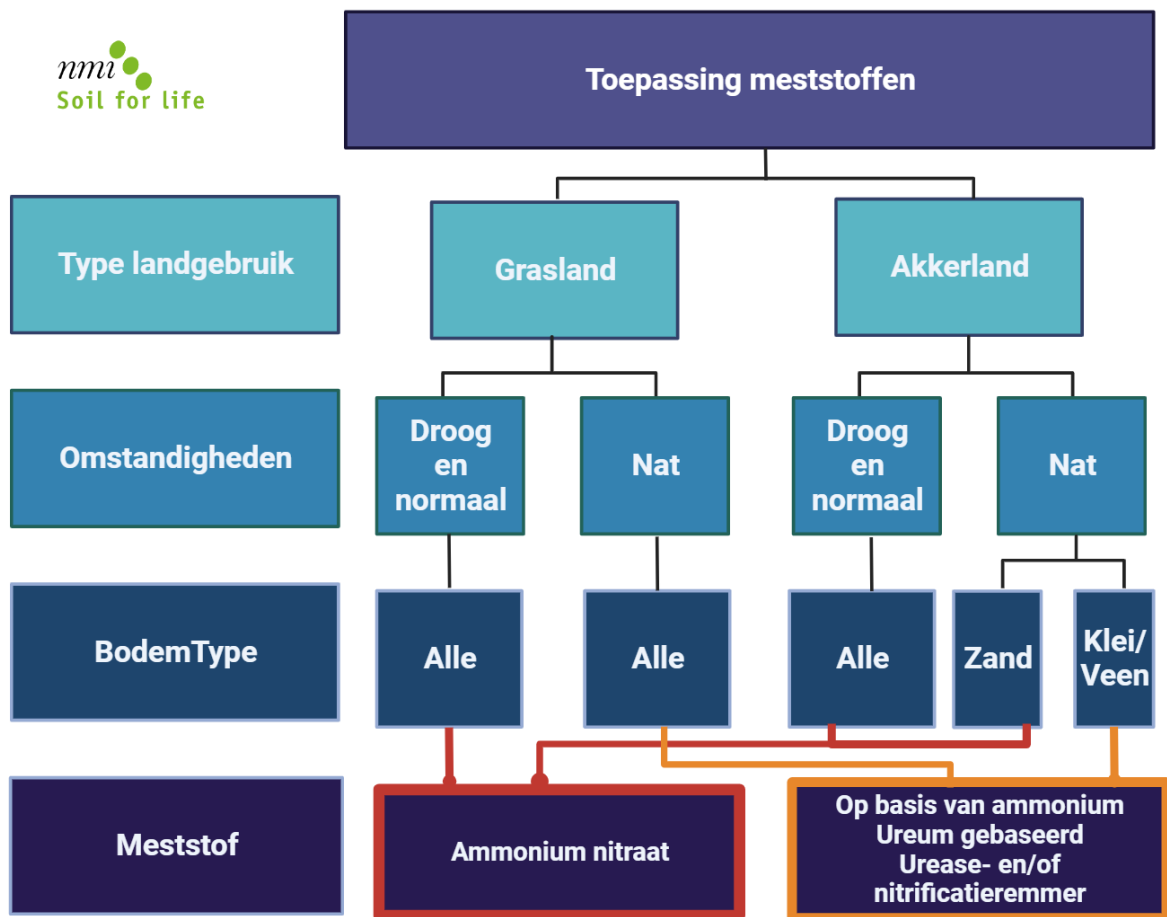
Figuur 2. Mogelijkheden om de BKG-emissies bij de productie van minerale N-meststoffen te verlagen (Bron: Fertilizers Europe).

Verlagen BKG-emissie bij toediening

- Broeikasgasemissies bij de toediening van minerale N-meststoffen zijn te beperken via de 4 juistheden van bemesting; de juiste gift, de juiste meststofkeuze, het juiste tijdstip en de juiste plaatsing van de meststof. Over het algemeen geeft dit een verhoging van de nutriëntenbenutting

én daarmee ook een verlaging van de N₂O-emissie. Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op de afzonderlijke aspecten (Velthof & Rietra, 2018):

- de hoogte van de N-gift dient te worden afgestemd op de behoefte van het gewas en de N-livering vanuit de bodem. Een te hoge N-gift moet worden voorkomen, aangezien dat leidt tot een lage N-benutting en tot het risico van een hoge N₂O-emissies.
- De optimale meststofkeuze hangt af van het grondgebruik (grasland of bouwland), de grondsoort (klei, veen of zand) en de omstandigheden (vooral vochtigheid van de bodem). Op nat grasland leiden nitraathoudende meststoffen tot een hogere N₂O-emissie dan ammoniumhoudende meststoffen. Op bouwland daarentegen, leiden nitraathoudende meststoffen tot een gelijke of lagere N₂O-emissie dan meststoffen op basis van ureum en/of ammonium, vooral onder droge omstandigheden (Velthof & Rietra, 2018; figuur 3). Verder blijkt uit een overzicht van meta-analyses dat urease- en nitrificatieremmers toegediend aan ureum- en/of ammoniumhoudende meststoffen leiden tot een aanzienlijke reductie van BKG-emissies via het terugdringen van de N₂O-emissie (Lam et al., 2022). In het geval van ureaseremmers is de N₂O-emissie in vergelijking met ureumhoudende meststoffen zonder ureaseremmers vergelijkbaar of 28-49% lager. Gebruik van nitrificatieremmers leidt tot een 27-58% lagere N₂O-emissie en door een combinatie van urease- en nitrificatieremmers wordt de N₂O-emissie met 30-50% gereduceerd. Bij gecoatete meststoffen is de N₂O-emissie 8-77% lager dan bij gangbare meststoffen.



Figuur 3. Beslisschema voor optimale meststofkeuze om N₂O-emissie te beperken (naar Velthof & Rietra, 2018).

- Bij de timing van de meststofgift dienen vooral op gronden met een hoge denitrificatiecapaciteit (vooral grasland) bij voorkeur geen nitraathoudende meststoffen in natte periodes te worden toegediend, omdat dan de N₂O-emissie sterk toe kan nemen. Ammoniumhoudende meststoffen kunnen, vooral op kalkrijke gronden, het best wel tijdens of vlak voor regenachtig weer worden

toegediend, om zo de ammoniakvervluchtiging te beperken. Door een deling van de N-gift over meerdere tijdstippen en het uitvoeren van de N-bemesting zo kort mogelijk voor het zaaien of planten van het gewas wordt het risico van hoge N₂O emissies voorkomen.

- Ten aanzien van de plaatsing van minerale N-meststoffen, leidt oppervlakkige toediening tot de laagste N₂O emissies. Bij ammonium- en ureumhoudende meststoffen kan dit leiden tot een hogere ammoniakvervluchtiging. Daarom kan inwerken van die meststoffen toch de voorkeur hebben.

Literatuur

- Bos, J. F. F. P., ten Berge, H. F. M., Verhagen, J., & van Ittersum, M. K. (2017). Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural Systems*, 157, 292–302. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.013>
- Brentrup, F., Hoxha, A., & Christensen, B. (2016). Carbon footprint analysis of mineral fertilizer production in Europe and other world regions. <https://www.researchgate.net/publication/312553933>
- Brentrup, F., & Pallière, C. (2008). *International Fertiliser Society* GHG emissions and energy efficiency in european nitrogen fertiliser production and use by. <http://lca.jrc.ec.europa.eu>.
- Gao, B., Huang, T., Ju, X., Gu, B., Huang, W., Xu, L., Rees, R. M., Powlson, D. S., Smith, P., & Cui, S. (2018). Chinese cropping systems are a net source of greenhouse gases despite soil carbon sequestration. *Global Change Biology*, 24(12), 5590–5606. <https://doi.org/10.1111/gcb.14425>
- Gao, Y., & Cabrera Serrenho, A. (2023). Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizers could be reduced by up to one-fifth of current levels by 2050 with combined interventions. *Nature Food*, 4(2), 170–178. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00698-w>
- Hijbeek, R., Van Loon, M., & Van Ittersum, M. (2019). Fertiliser use and soil carbon sequestration: trade-offs and opportunities. www.ccafs.cgiar.org
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Technical Summary. In *Climate Change and Land* (pp. 37–74). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.002>
- Lam, S. K., Wille, U., Hu, H. W., Caruso, F., Mumford, K., Liang, X., Pan, B., Malcolm, B., Roessner, U., Suter, H., Stevens, G., Walker, C., Tang, C., He, J. Z., & Chen, D. (2022). Next-generation enhanced-efficiency fertilizers for sustained food security. *Nature Food*, 3(8), 575–580. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00542-7>
- Menegat, S., Ledo, A., & Tirado, R. (2022). Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18773-w>
- Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42–55. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x>
- RVO (2016). De Nederlandse landbouw en het klimaat.
- Van Bruggen, C., Bannink, A., Bleeker, A., Bussink, D. W., Van Dooren, H. J. C., Groenestein, C. M., Huijsmans, J. F. M., Kros, J., Lagerwerf, L. A., Oltmer, K., & Ros, M. B. H. (2023). Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021.
- Velthof, G. L., & Rietra, R. P. J. J. (2018a). Nitrous oxide emission from agricultural soils. www.wur.eu/environmental-research
- Velthof, G. L., & Rietra, R. P. J. J. (2018b). Nitrous oxide emission from agricultural soils. www.wur.eu/environmental-research