



Toekomstonderzoek stikstof en waterkwaliteit

Bronnen, verliesroutes en impact van stikstof in provincie
Zuid-Holland

Januari 2026

Referaat

Ros GH, Moria L, van Dam N, Riechelman WH, Kros H, Bussink W, de Vries W & Y Fujita (2026). Toekomstonderzoek stikstof en waterkwaliteit. Bronnen, verliesroutes en impact van stikstof in provincie Zuid-Holland. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 2028.N.24., 86 pp.

Rapport in het kort

In opdracht van de Provincie Zuid-Holland is de inhoudelijke relatie tussen natuur, stikstofbelasting en waterkwaliteit (chemisch en ecologisch) in beeld gebracht. De focus ligt daarbij op de interactie tussen maatregelen voor stikstof enerzijds en waterkwaliteit anderzijds. Hoe kunnen deze elkaar versterken of juist beperken? Hoe kan de landbouw zo vorm krijgen dat het een duurzaam toekomstperspectief heeft voor zowel de agrarische sector als ook de kwaliteit van natuur? Dit toekomstonderzoek schetst hiermee een inhoudelijk onderbouwd lange-termijn perspectief voor de landbouw in de provincie.

© 2026 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

Disclaimer

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



Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	4
Samenvatting en conclusies	6
1. Inleiding	7
1.1 Achtergrond en aanleiding	7
1.2 Doelstelling en afbakening	7
1.3 Leeswijzer	8
2. Het stikstofdossier	9
2.1 De stikstofcyclus	9
2.2 Bronnen van stikstof	13
2.3 Effecten van stikstof	14
2.4 Landelijk beleidskader	18
2.5 Kennisvragen	19
3. Stikstof in provincie Zuid-Holland	21
3.1 Het bodem- en watersysteem	21
3.2 Landbouwemissies van stikstof	29
4. De opgaven in beeld	37
4.1 Waterkwaliteit en stikstof	37
4.2 Natuurkwaliteit en stikstof	40
5. Het handelingsperspectief in beeld	42
5.1 Stikstofmaatregelen voor waterkwaliteit	42
5.2 Stikstofmaatregelen voor natuurkwaliteit	46
5.3 Stikstofmaatregelen voor klimaat	49
5.4 Effecten van maatregelen	49
5.5 Praktijkervaringen met maatregelen in Zuid-Holland	52
5.6 Kennishiaten en aanbevelingen	55
6. Toekomstbeelden	56
6.1 De uitgangspunten	56
6.2 De landbouwbodem als basis	57
6.3 Landbouwsystemen van de toekomst	58
6.4 De economische context	61
6.5 Implicaties	65
7. Vooruitblik	67
Literatuur	70
Bijlage I. Maatregelen	74

Managementsamenvatting

In opdracht van de Provincie Zuid-Holland is de inhoudelijke relatie tussen natuur, stikstofbelasting en waterkwaliteit in beeld gebracht. De focus ligt daarbij op de interactie tussen maatregelen voor stikstof enerzijds en waterkwaliteit anderzijds. Hoe kunnen deze elkaar versterken of juist beperken? Hoe kan de landbouw zo vorm krijgen dat het een duurzaam toekomstperspectief heeft voor zowel de agrarische sector als ook de kwaliteit van natuur? Dit toekomstonderzoek schetst hiermee een inhoudelijk onderbouwd lange-termijn perspectief voor de landbouw. We vatten hier de kernbevindingen samen:

De huidige situatie. Stikstof is nodig voor elke vorm van landbouw. Een gemiddeld melkveebedrijf bemest de bodem met 420 kg N ha^{-1} terwijl een akkerbouwbedrijf gemiddeld 241 kg N ha^{-1} aanvoert. Het gemiddelde bodem-overschot (d.w.z. het verschil tussen aangevoerde en afgevoerde stikstof) ligt rond $100\text{-}120 \text{ kg N ha}^{-1}$. Gemiddeld gaat er in de melkveehouderij 39 kg N ha^{-1} als ammoniak de lucht in, tegenover 15 kg N ha^{-1} in de akkerbouw. Circa 40% van de melkveehouderijbedrijven stoot meer uit dan 40 kg N ha^{-1} , terwijl dat vrijwel niet voorkomt voor akkerbouwbedrijven. De gemiddelde N-uitspoeling naar het oppervlaktewater varieert tussen 3 en 10 kg N ha^{-1} , en is daarmee lager dan de gemiddelde stikstofbelasting in Nederland.

De opgave. De benodigde reductie van stikstofafspoeling naar het oppervlaktewater is minder dan 2 kg N ha^{-1} terwijl de nitraatuitspoeling naar het grondwater vrijwel nergens wordt overschreden. De stikstofopgave voor waterkwaliteit is daarmee beperkt. Daarbij komt dat in het grootste deel van het oppervlaktewater veel fosfor aanwezig is, waardoor stikstofmaatregelen minder bijdragen aan het reduceren van algen en/of kroos. Stikstofdepositie vormt een uitdaging voor stikstofgevoelige natuur en vereist daardoor een reductie van uitstoot ook al is de bijdrage ervan aan de depositie op de stikstofgevoelige natuur binnen de provincie beperkt. Vanuit landelijk beleid (lees: de stikstofwet) is een halvering van stikstofuitstoot gewenst.

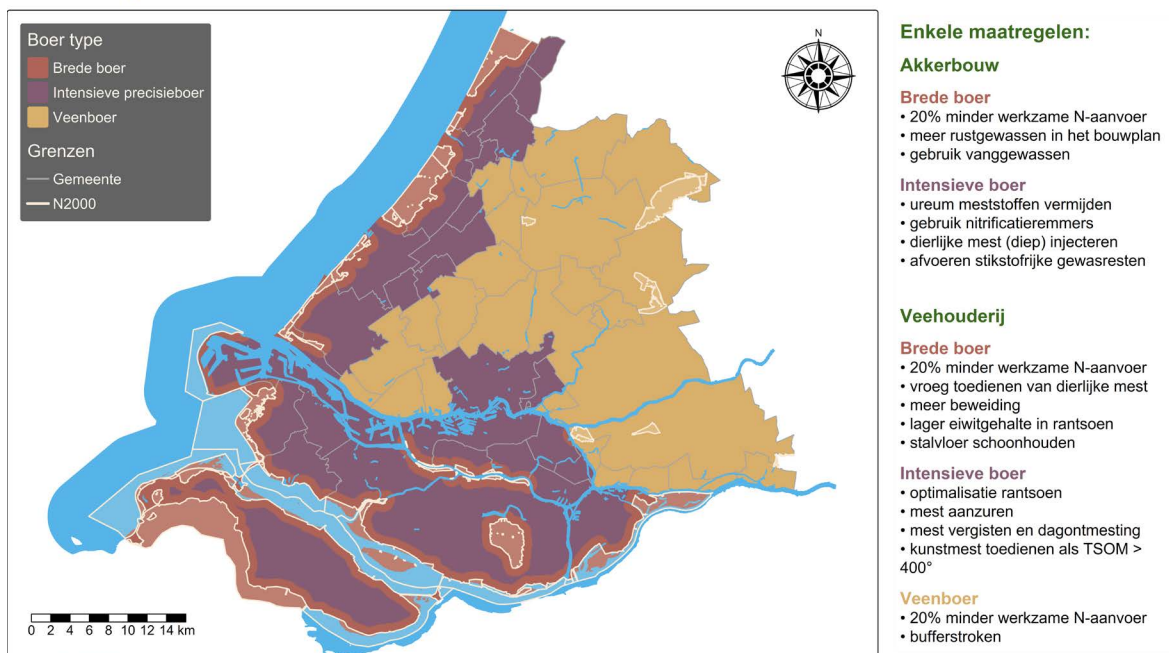
Het handelingsperspectief. Er zijn veel maatregelen beschikbaar om verliezen van stikstof te beperken. Emissies naar het watersysteem vereisen veelal een verlaging van het stikstofbodemoverschot (d.w.z. het verschil tussen aangevoerde stikstof en gewasopname). Binnen het huidige mestbeleid is hierop te sturen via de zogenoemde goede landbouwpraktijk. Voor vermindering van ammoniakuitstoot naar de lucht zijn maatregelen inzetbaar gericht op de voeding van dieren (bijv. minder eiwit en meer beweiden), op de emissie in de stal (bijv. aanzuren, regelmatig schoonmaken, sproeien), en tijdens mesttoediening (bijv. aanzuren van mest, emissie-arme toediening). Met het landelijk model INITIATOR is berekend dat hiermee de stikstofverliezen vrijwel zijn te halveren.

Regionaal Maatwerk. De mogelijkheden tot het voorkomen van stikstofverliezen zijn sterk afhankelijk van het lokale bodem- en watersysteem en het landgebruik. Om die reden wordt voor de toekomst van de landbouw een ruimtelijke aanpak voorgesteld waarbij drie archetypen van landbouwbedrijven vorm geven aan een duurzame landbouw. Dit zijn “de veenboer”, “de brede boer” en “de intensieve boer”. De brede boer functioneert hierbij als buffer rondom natuurgebieden, en kan een breed pallet aan maatregelen inzetten om de verliezen van stikstof te beperken. Veelal komt dit neer op een extensivering van productiemethode: de aanvoer van stikstof per hectare gaat omlaag. In het veenweidegebied is het belangrijk om goed rekening te houden met de bodemkwaliteit en de oevers van watergangen goed te beheren. Daarbij past een voortzetting van de huidige extensieve bedrijfsvoering met veel weidegang. De intensieve boer zorgt met name op de productieve landbouwgronden voor minder stikstofverliezen, bij gelijkblijvende productie, via inzet van allerlei technische maatregelen. Hiermee kunnen de doelen voor landbouw, natuur en waterkwaliteit worden gerealiseerd.

Een zoneringsaanpak gevisualiseerd

Hieronder wordt in een indicatieve kaart weer-gegeven waar de verschillende toekomstige bedrijfs-systemen het best tot hun recht komen om land-bouwkundige doelen en milieukundige doelen voor stikstof tegelijkertijd te realiseren.

Landbouwsystemen van de toekomst



Figuur 1. Indicatieve kaart van waar welk boer-type voor kan komen en enkele maatregelen die akkerbouwers en melkveehouders kunnen implementeren per boer-type. Er zijn geen akkerbouw-veenboeren omdat akkerbouw op veen landbouwkundig en milieukundig niet gewenst is. Het gebied voor brede boeren is aangewezen als een buffer rondom N2000-gebieden, het gebied voor veenboeren komt overeen met de gemeenten in het ZH-PLG gebied veenweiden (Provincie Zuid-Holland, 2023).

Samenvatting en conclusies

Het landelijk gebied staat voor grote en complexe opgaven die samenhangen met de kwaliteit van bodem, water en atmosfeer. De complexiteit ervan is uitdagend en vraagt vanwege de maatschappelijke urgentie om concrete oplossingen waarbij maatwerk gecombineerd moet worden met een geborgde verlaging van de impact van landbouw op het milieu. Binnen deze context zoekt provincie Zuid-Holland naar inzichten om gebiedsgericht en integraal te sturen op stikstof, en daarmee de cascade van effecten op de terrestrische en aquatische natuur te beperken.

De hoofdvraag van deze studie is gericht op de inhoudelijke relatie tussen natuur, stikstofbelasting en waterkwaliteit (chemisch en ecologisch). De focus ligt daarbij op de interactie tussen maatregelen voor stikstof enerzijds en waterkwaliteit anderzijds. Hoe kunnen deze elkaar versterken of juist beperken? En wat betekent dit voor het toekomstig landbouwbedrijf in de provincie? Dit toekomstonderzoek moet daarom vooral het lange-termijn perspectief schetsen van een landbouwsysteem waarbij de regionale opgaven concreet worden vertaald in maatwerk op het (toekomstig) boerenbedrijf.

Stikstof is een noodzakelijk element om gewassen te laten groeien en de bodemkwaliteit te verbeteren. Een overschot aan stikstof kan echter schadelijke effecten opleveren voor natuurlijke ecosystemen en de kwaliteit van het oppervlaktewater. Anno 2025 zijn er nog substantiële opgaven voor zowel grondwater als oppervlaktewater en de kwaliteit van (stikstofgevoelige) natuur. Er is daarom een reductie nodig van het stikstofbodemoverschot (d.w.z. het verschil tussen alle aangevoerde stikstof en de gewasopname) om daarmee uit- en afspoeling te verminderen, en de uitstoot van ammoniak moet substantieel omlaag om daarmee de depositie op natuur te verlagen.

Met een combinatie van technische en natuur-inclusieve maatregelen is het mogelijk om de aan de landbouw toebedeelde emissiereductiedoelstellingen uit de stikstofwet te behalen. Bij een natuurinclusieve bedrijfsvoering wordt er minder (kunst)mest gebruikt, worden er allerlei maatregelen genomen om de kwaliteit van het landschap en de biodiversiteit te vergroten, en worden er ook minder dieren gehouden per hectare landbouwgrond. Deze maatregelen zorgen vaak wel voor een verlaging van de productiviteit en het verdienvermogen. Technische maatregelen verhogen de efficiëntie van de bedrijfsvoering waarbij er minder stikstofverliezen optreden bij een gelijkblijvende of zelfs hogere productie. In deze studie laten we zien dat het type bedrijfsvoering, en de bijbehorende inzet van maatregelen, sterk kan variëren binnen de provincie in relatie tot landgebruik, grondsoort, grondwatertrap en nabijheid tot natuur. In de toekomst is het gewenst om de landbouwpraktijk en het ondersteunend beleidsinstrumentarium hierop aan te laten sluiten. Dit betekent concreet een uitwerking van een zonerings-aanpak met doelsturing per bedrijf.

In deze studie onderscheiden we “de veenboer”, “de brede boer” en “de intensieve boer” als archetype bedrijfssystemen waarbij het vakmanschap van de boer (met bijbehorende maatregelen) wordt ingezet om concrete doelen voor het stikstofbodemoverschot en ammoniakemissies te realiseren. Daarmee leveren zij een positieve bijdrage aan de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en de kwaliteit van N2000-gebieden. Dit vraagt om een gezamenlijke inzet van de landbouw met andere gebiedspartijen (industrie, rwzi's, verkeer, glastuinbouw, waterschap) om de nadelige effecten van stikstof op natuur te beperken dan wel te voorkomen.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

De provincie Zuid-Holland (PZH) is een dichtbevolkte deltaprovincie waarin het landschap intensief wordt benut voor allerlei functies. De provincie heeft de ambitie om te zorgen voor een vitaal landelijk gebied binnen ecologische randvoorwaarden die gesteld worden vanuit natuur, klimaat, water en bodem. Binnen deze context is het belangrijk dat het landelijk gebied een aantrekkelijk gebied kan blijven om te wonen, te werken en te recreëren. Hiervoor is een goede balans nodig tussen sterke en gezonde natuur met een economische rendabele en volhoudbare land- en tuinbouw (Provincie Zuid-Holland, 2023a). De land- en tuinbouw speelt in dit landschap een belangrijke rol, als producent van voedsel, grondstoffen en sierteelt-producten, maar ook als beheerder van het landschap en drager van de sociale structuur in het landelijk gebied.

De Nederlandse landbouw staat voor grote en complexe opgaven als het gaat over de toekomst van het landschap. De huidige kwaliteit van bodem, water en natuur als ook de mogelijke oplossingsrichtingen om aanwezige knelpunten op te lossen variëren sterk. Dit hangt samen met de eigenschappen van het bodem- en watersysteem, het historisch landgebruik, de nabijheid van natuur en het type landbouw. Voortbouwend op deze variatie is het mogelijk en gewenst om opgaven te prioriteren en waar nodig maatwerk in te zetten om een duurzame landbouw mogelijk te maken. Samen met vernieuwers in verduurzaming zijn daarom in PZH allerlei netwerken opgezet, proeftuinen gestart en is een vruchtbare regionale ketensamenwerking ontstaan. Hiermee is een route uitgezet richting een vitale landbouw met aandacht voor werkende verdienmodellen, het sluiten van kringlopen, en ruimte voor biodiversiteit, water en landschap. Stikstof speelt hierbij een belangrijke sleutelrol.

Stikstof heeft effecten op terrestrische en aquatische natuur. De stikstofbelasting vanuit de landbouw in Nederlandse oppervlaktewateren is groot, en op veel plekken worden de doelen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) en de Nitraatrichtlijn niet gehaald als de belasting niet wordt gereduceerd. Dat is de conclusie van een onderzoek dat is uitgevoerd in

het kader van de Kennisimpuls Waterkwaliteit (Van Geest et al., 2021) als ook de landelijke evaluaties van mestbeleid. Anno 2025 is het duidelijk uit proeven, metingen en modelberekeningen dat landbouwkundige activiteiten een belangrijke bron van stikstofbelasting zijn. Een overmaat aan stikstof leidt tot een cascade van effecten op het ecologisch functioneren en de soortenrijkdom van Nederlandse oppervlaktewateren. De meest in het oog springende problematiek met betrekking tot stikstof en waterkwaliteit heeft betrekking op eutrofiëring. Daarnaast heeft stikstofdepositie in aquatische systemen ook ecologische implicaties in relatief eutrofe wateren wanneer stikstof tijdelijk beperkend raakt, wat kan optreden wanneer de denitrificatiesnelheid hoog is. In terrestrische natuur leidt stikstofdepositie tot eutrofiëring en verzuring.

Maatregelen in het kader van de KRW hebben effect op de stikstofconcentraties in water. De wettelijke doelstelling van de KRW is om uiterlijk in 2027 een goede ecologische en chemische toestand te bereiken. Tegelijkertijd worden stikstofemissies naar de lucht aangepakt als onderdeel van landelijke en provinciale beleidsprogramma's om de kwaliteit van terrestrische natuur te beschermen om daarmee de doelen van de Europese Vogel- en Habitatrichtlijn te bereiken. De wettelijke doelstelling is om uiterlijk in 2030 ervoor te zorgen dat 74% van de stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden de zogeheten kritische depositie-waarden niet meer overschrijden. Boven deze grenzen bestaat namelijk het risico dat de kwaliteit van leefgebieden van dieren of planten verslechtert.

1.2 Doelstelling en afbakening

De provincie Zuid-Holland heeft het *Nutriënten Management Instituut en Wageningen Environmental Research* gevraagd om de bestaande kennis en inzichten over de inhoudelijke relatie tussen natuur, stikstofbelasting en waterkwaliteit in beeld te brengen in een specifiek Zuid-Hollandse context. De focus voor dit onderzoek ligt op de vraag hoe in de toekomst moet worden omgegaan met de relatie tussen waterkwaliteit en stikstof in een gebiedsgerichte aanpak. Hoe kunnen maatregelen voor stikstof enerzijds en waterkwaliteit anderzijds elkaar

versterken of juist beperken? Dit omvat ook de verhouding tussen stikstofbelasting als gevolg van af- en uitspoeling vs. atmosferische depositie.

De samenhang tussen maatregelen voor stikstof en waterkwaliteit staat centraal in het onderzoek, naast eventuele meer technische/fundamentele onderzoeksvragen. Complex is dat de waterkwaliteit niet alleen samenhangt met stikstof en fosfaat, maar ook andere fysisch- en milieuchemische en morfologische parameters die de ecologische toestand bepalen. Het halen van de KRW-doelen is dus van veel factoren afhankelijk. Stikstof is daarbij een belangrijke sleutelfactor, maar niet de enige. Inzicht in de rol van stikstof, de rol van de landbouw en de relaties tussen bronnen, verliesroutes en de impact van stikstof op terrestrische en aquatische natuur vergroot de onderbouwing van het handelings-perspectief.

1.3 Leeswijzer

Deze studie beschrijft de resultaten van dit toekomst-onderzoek naar de relatie tussen waterkwaliteit en stikstof, en belicht de situatie in provincie Zuid-Holland vanuit een lange-termijn perspectief. In deze studie wordt allereerst een kort overzicht gegeven van de wetenschappelijke inzichten rondom het nut

en de noodzaak van stikstof, de bronnen en routes als ook de mogelijke effecten op natuur, landbouw, klimaat en gezondheid (hoofdstuk 2). Dit vanwege de gewenste integrale benadering. In het derde hoofdstuk wordt het bodem- en watersysteem in beeld gebracht voor de huidige situatie in de provincie Zuid-Holland, met speciale aandacht voor de bodemkenmerken die sturend zijn op het gedrag van stikstof en de daaraan gekoppelde ecosysteemdiensten. In het vierde hoofdstuk brengen we de opgave ruimtelijk expliciet in beeld voor zowel waterkwaliteit als natuurkwaliteit in relatie tot stikstof. In hoofdstuk vijf brengen we het handelingsperspectief in beeld: hoe kan via maatregelen en innovaties de emissie dan wel de impact van stikstof kan worden verlaagd. Dit gebeurt allereerst op een kwalitatieve manier, waarna ook kwantitatief in beeld wordt gebracht hoe via maatregelpakketten in de landbouw de emissie van stikstof kan worden verlaagd. Na deze bespreking van het water- en bodemsysteem, de bronnen en impacts van stikstof, en de verschillende mogelijkheden die er zijn om hierop integraal te sturen, vatten we al deze bevindingen samen in een aantal toekomstbeelden waarmee landbouw en natuur op een vernieuwde manier samenwerken aan een schone en duurzame leefomgeving (hoofdstuk 6).

2. Het stikstofdossier

2.1 De stikstofcyclus

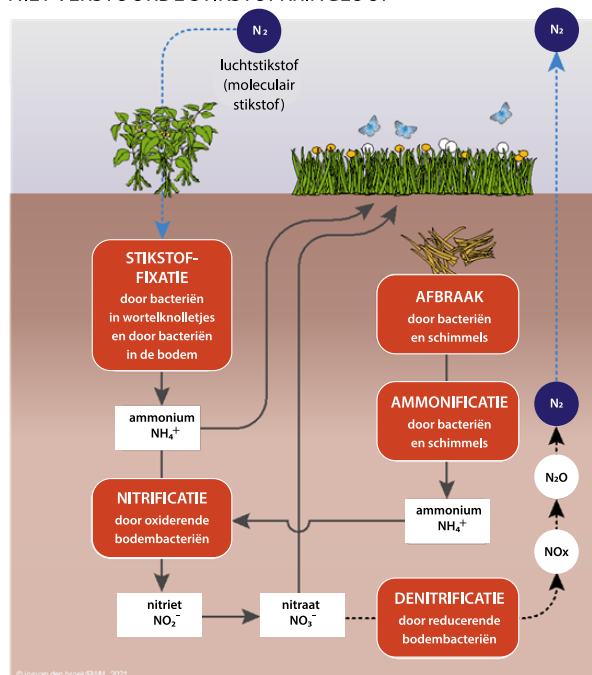
Stikstof is een element dat op aarde veel voorkomt. De lucht die wij inademen bestaat namelijk voor het overgrote deel (78%) uit stikstof. Deze stikstof is echter niet-reactief en schadeloos. Een klein deel van de stikstof is beschikbaar in een reactieve vorm. Reactief stikstof zijn de stikstofverbindingen die direct en indirect nodig zijn voor de groei van planten omdat ze de basis zijn voor de vorming van aminozuren en eiwitten die essentieel zijn voor alle vormen van leven. Reactieve stikstofverbindingen zijn in de natuur maar beperkt beschikbaar. Ze kunnen vrijkomen bij vulkaanuitbarstingen, bliksemontladingen en de activiteit van stikstofbindende bacteriën. Dat laatste is essentieel voor de groei van planten en daarmee voor de hele voedselketen.

De kringloop

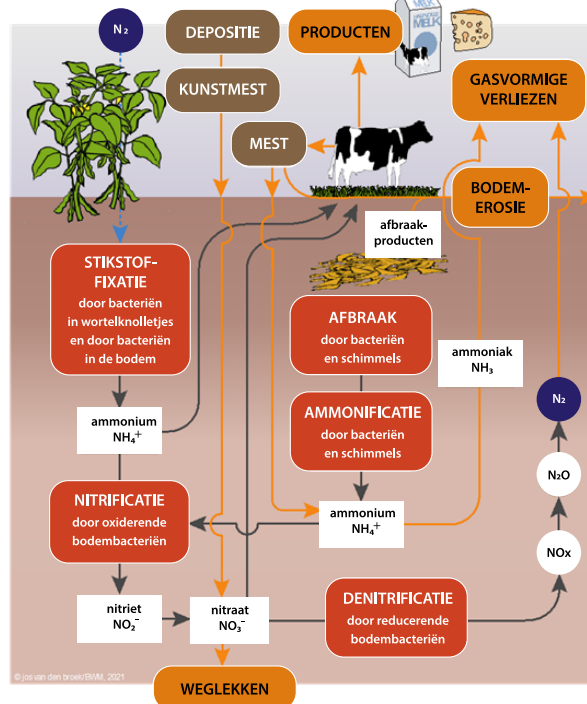
Stikstof is onderdeel van een kringloop: de vrijgekomen stikstof wordt na verschillende omzettingen weer teruggegeven aan de lucht. Door de introductie van door menselijke activiteit gefabriceerd reactief stikstof, via de omzetting tot ammoniak (NH_3) of stikstofoxiden (NO_x) is de natuurlijke kringloop verstoord, zoals weergegeven in Figuur 2.1.

In de natuurlijke stikstofkringloop (zie Figuur 2.1) wordt stikstof uit de lucht door speciale bacteriën (van het geslacht *Rhizobium*) vastgelegd. Dit proces heet stikstoffixatie. De bacteriën die tot deze stikstoffixatie in staat zijn, leven in de wortels van vlinderbloemige planten zoals klaver en bonen. Dankzij de bacteriën krijgen deze planten stikstof, en zij leveren daarvoor koolstof als energiebron voor de bacteriën. Deze planten zetten vervolgens het reactieve stikstof dat zij ontvangen van de bacteriën om in organisch materiaal. Op jaarbasis kan dit oplopen tot een stikstofvastlegging van 100 kg N per hectare per jaar. Wanneer dit organisch materiaal wordt afgebroken in de bodem, komt de stikstof beschikbaar voor andere gewassen in de vorm van ammonium, nitriet, en nitraat. Dit gebeurt allereerst via het proces ammonificatie, waarbij bacteriën en schimmels enzymen uitscheiden om de organische stikstof om te zetten in ammonium. Wanneer er voldoende zuurstof en koolstof aanwezig is, kan dit ammonium worden omgezet naar nitraat via het proces nitrificatie. Deze stikstofverbindingen neemt de plant vervolgens weer op om te groeien. Een klein deel van het nitraat zetten bacteriën om in stikstofgas via denitrificatie. Dit proces vindt vooral plaats onder

NIET VERSTOORDE STIKSTOFKRINGLOOP



VERSTOORDE STIKSTOFKRINGLOOP



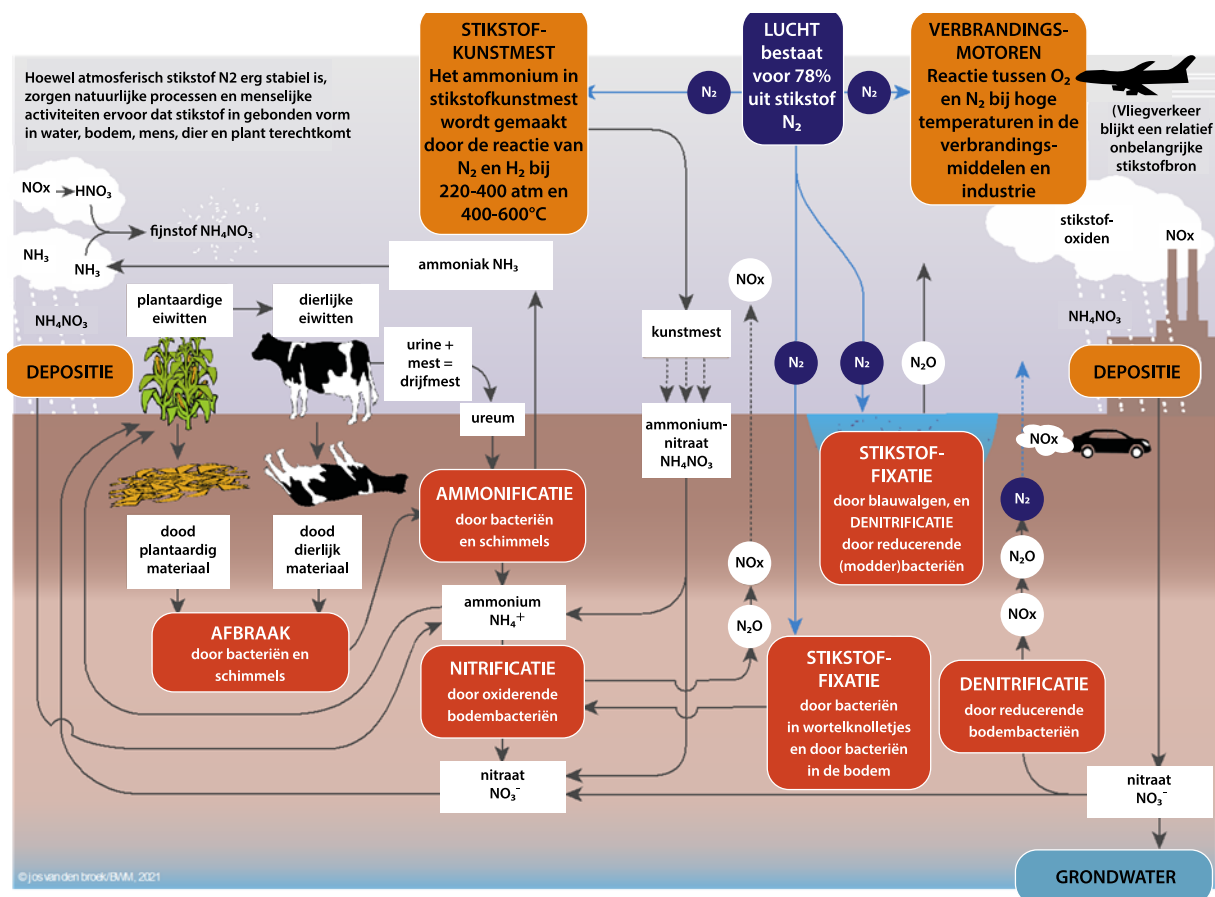
Figuur 2.1. Een vereenvoudigde voorstelling van een niet-verstoorde en verstoorde stikstofkringloop (Erismen et al., 2021).

zuurstofloze (natte) omstandigheden. Stikstof is in de natuur meestal een beperkend element. Dat wil zeggen dat de groei van planten en andere organismen wordt beperkt door de beschikbare hoeveelheid stikstof. Als er meer stikstof wordt toegevoegd, neemt de groei toe tot stikstof of een ander element (opnieuw) beperkend wordt. Dit heeft tot gevolg dat in een niet-verstoorde kringloop zo veel mogelijk stikstof in de kringloop behouden wordt. Er spoelt in een dergelijk systeem dan ook nauwelijks stikstof uit naar water.

Door het gebruik van kunstmest, dierlijke mest, compost en andere stikstofbronnen in menselijke productiesystemen, komt er meer stikstof in de kringloop terecht dan van nature het geval is. Naast de directe toediening van deze meststoffen, komt er ook stikstof uit de lucht afkomstig van elders geëmitteerde ammoniak en stikstofoxiden. Beide

gassen kunnen in de atmosfeer met elkaar en met andere gassen reageren waardoor er allerlei secundaire stikstofverbindingen ontstaan, waaronder lachgas, salpeterzuur, salpeterig zuur, fijnstof en verschillende tussenproducten. De natuurlijke stikstofkringloop is daardoor verstoord (Figuur 2.1). Dezelfde bodemprocessen blijven een rol spelen bij de omzettingen van stikstof. Door de verhoogde toevoer van stikstof is het mogelijk geweest om voldoende voedsel te produceren voor de hele wereldbevolking. Wel zijn tegelijkertijd de emissies naar lucht en water sterk toegenomen.

Het grotere plaatje met daarin de belangrijkste processen in de stikstofkringloop worden weergegeven in Figuur 2.2. Hierin zijn ook de emissies vanuit industrie, huishoudens en verkeer meegenomen.



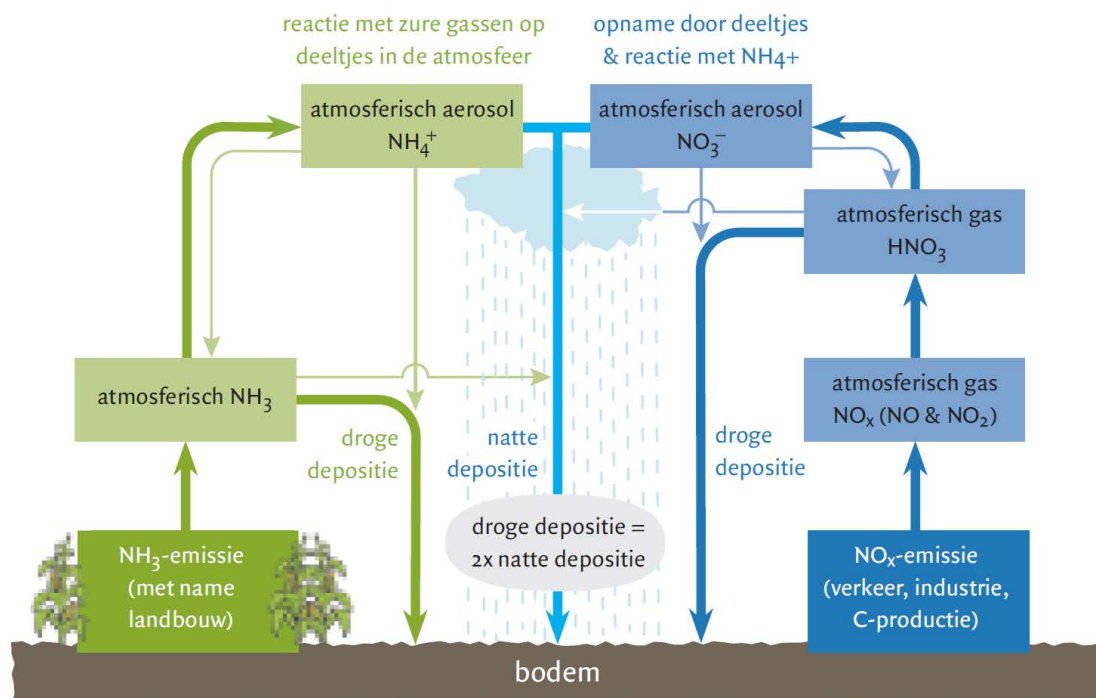
Figuur 2.2. De stikstofcyclus met de menselijke invloed erop. Bron: Jos van den Broek, in Erisman et al. (2021).

Emissies van NH_3 komen voornamelijk voort uit de veehouderij en komen vrij uit stallen, de mestopslag, en bij het uitrijden of verspreiden van mest en kunstmest op akkers en grasland. Naast voedselproductie als bron van ammoniak komt er ook veel stikstof in het milieu via het verkeer, huishoudens en industrie, veelal in de vorm van stikstofoxiden. De hitte die bij verbranding vrijkomt zorgt voor een chemische reactie waarbij het stikstofgas en de zuurstof uit de lucht uit elkaar vallen en (deels) recombineren tot stikstofoxide. Officieel wordt lachgas ook tot reactief stikstof gerekend. Echter, lachgas is inert (d.w.z. dat het niet reactief is) in de eerste luchtlag boven de aarde, de troposfeer, en neemt alleen deel aan de atmosferische chemie in de atmosferische laag daarboven, de stratosfeer. Lachgas speelt dus geen rol in de stikstofdepositie en de biodiversiteitsproblematiek, maar komt uit dezelfde bronnen en is een belangrijk broeikasgas.

Emissie en depositie

Na emissie van ammoniak en stikstofoxiden naar de lucht, vinden er allerlei processen plaats die ervoor zorgen dat stikstof zich verspreid en elders weer

terugkomt aan het aardoppervlak via depositie. Chemische processen in de lucht zorgen ervoor dat ammoniak kan worden omgezet in ammonium en in fijnstof. Stikstofmonoxide wordt omgezet naar stikstofdioxide door reactie met ozon, waarna een evenwicht wordt gevormd tussen stikstofmonoxide, stikstofdioxide en ozon. Een deel van de stikstof wordt omgezet naar salpeterzuur en nitraat in fijnstof. Omdat de lucht altijd in beweging is, worden de stikstofverbindingen ook verspreid, vaak in de vorm van pluimen rond de bron van de uitstoot. Hoe hoger de uitstoot plaatsvindt, hoe verder de lucht en de stikstofverbindingen zich kunnen verspreiden. Ook fijnstofdeeltjes kunnen grotere afstanden afleggen dan de stikstofgassen zelf. Zowel de gassen als de deeltjes worden op hun reis door de lucht ook weer naar het aardoppervlak getransporteerd (Figuur 2.3), en komen neer op de bodem of aanwezige vegetatie (droge depositie) of lossen op in neerslag en komen via regen, hagel en sneeuw weer terug op de bodem en vegetatie (natte depositie).



Figuur 2.3. De belangrijkste routes en processen van stikstof in de atmosfeer (Erisman et al., 2021).

Natte depositie is afhankelijk van de neerslaghoeveelheid en met name de neerslagfrequentie. In Nederland regent het ongeveer 8% van de tijd en het aantal droge dagen per jaar is ongeveer 120 dagen. Gemiddeld worden goed oplosbare stikstofverbindingen dus elke drie dagen uit de lucht “uitgewassen”. Gassen die niet wateroplosbaar zijn, zoals stikstofmonoxide, regenen overigens niet uit. Bij droge depositie komen de stikstofverbindingen terug op de aarde zonder tussenkomst van neerslag. Deze depositie wordt beïnvloed door de snelheid waarmee gassen en deeltjes naar beneden gaan (vanuit de lucht naar het aardoppervlak), het concentratieverschil tussen de verschillende luchtlagen, en de opnamesnelheid door het ontvangende bodem- of gewasoppervlak. De droge depositiesnelheid is daarmee sterk afhankelijk van het weer, de grootte van de deeltjes, de reactiviteit en wateroplosbaarheid van de gassen en het oppervlak dat het gas of deeltje opneemt. Zo zijn de droge depositiesnelheden van salpeterzuur en ammoniak vele malen groter dan die van andere stikstofverbindingen. Alle verbindingen laten zien dat de droge depositiesnelheid lager is bij oppervlakken met lage ruwheid, zoals gras, dan bij oppervlakken met een hoge ruwheid, zoals bossen. De droge depositie is veelal twee maal groter dan de natte depositie (zie Figuur 2.3).

Door de ruimtelijke verspreiding van de bronnen en de verschillende transport- en omzettingsprocessen in de atmosfeer, is de depositie van N-verbindingen niet overal gelijk. De hoogste depositie vindt plaats dicht bij de bron waar de stikstof wordt uitgestoten, maar het gaat daarbij wel om een klein deel van de totale emissie. Hoewel het proces van verspreiding van ammoniak en stikstofoxiden in pluimen vergelijkbaar is, komt een groter deel van de uitgestoten ammoniak weer neer via depositie terwijl een groter deel van de stikstofoxiden naar het buitenland wordt geëxporteerd. Dit verschil heeft drie oorzaken. Allereerst is ammoniak veel beter oplosbaar in water dan stikstofoxiden, en verdwijnt dit gas daardoor sneller uit de atmosfeer. De tweede oorzaak is dat ammoniak en salpeterzuur samen fijnstof vormen in de vorm van ammoniumnitraat, een verbinding die heel langzaam deponiert. De derde oorzaak is dat een kwart van de stikstofoxiden op hoogte wordt uitgestoten, vaak door hoge schoorstenen en door vliegverkeer, terwijl bijna alle ammoniak dicht bij de grond wordt geëmitteerd. Als gevolg daarvan is de depositie-snelheid van ammoniak hoger dan die van stikstofoxiden. De genoemde factoren zorgen ervoor

dat ook binnen een land als Nederland de regionale verschillen groot kunnen zijn: zo is de totale depositie van stikstofoxiden in de stedelijke gebieden duidelijk hoger dan de depositie in het landelijk gebied, terwijl de totale depositie van ammoniak juist hoger is in het landelijk gebied, waarbij de hoogste waarden in het Peelgebied, de Gelderse Vallei, Twente en de Achterhoek worden gevonden.

Ook de aard van de vegetatie speelt een rol bij de droge depositie uit de lucht. In het algemeen geldt dat hoe hoger een vegetatie is, des te meer droge depositie er plaatsvindt. Bij een gelijke concentratie aan stikstofverbindingen is de droge depositie daarmee hoger in bossen dan in natuur met lagere vegetatie zoals heide of open duin.

Gedrag in de bodem

Zodra stikstof in de bodem terecht komt, wordt het onderdeel van de stikstofkringloop in de bodem. In dezelfde bodem zijn ook andere mineralen die aanwezig die nodig zijn voor planten om te groeien. Bekende voorbeelden zijn calcium, kalium en magnesium. Door een te hoge aanvoer van stikstof raakt de verhouding tussen deze kationen (d.w.z. positief geladen ionen zoals calcium, kalium en magnesium) en anionen (d.w.z. negatief geladen ionen zoals chloride en nitraat) uit balans. De aanwezige kationen bufferen de zuurgraad van de bodem en zorgen ervoor dat de zuurgraad niet te laag wordt. Als nitraat uitspoelt neemt het ook kationen mee; de bodem is namelijk niet “geladen” omdat het aantal kationen gelijk is aan het aantal anionen qua lading. Als nitraat uitspoelt samen met kationen, kan de bodem de zuurgraad minder bufferen en treedt er verzuring op. Tegelijkertijd heeft de stikstofaanvoer op met name natuurgebieden een verstoringseffect op de biodiversiteit van het bodemleven en de bovengrondse vegetatie. Plantensoorten die van veel stikstof houden en bestand zijn tegen zure grond, zoals bramen en brandnetels, verdringen plantensoorten die goed gedijen op een stikstofarme en minder zure grond. Daardoor neemt de diversiteit van plantensoorten af. Dat heeft weer negatieve gevolgen voor allerlei dieren die van deze planten afhankelijk zijn, zoals vlinders, insecten en vogels. Daarnaast kan bodemverzuring tot bossterfte leiden waarbij met name de zomereik hier erg gevoelig voor is. Verder kunnen hoge stikstofgehalten in de bodem zorgen voor een grotere gevoeligheid voor droogte, vorst, vraat en ziekteverwekkers.

Reactieve vormen van stikstof accumuleren niet in de bodem vanwege het natte klimaat. Vanwege de hoge gehalten aan organische stof en de beschikbaarheid van water, wordt ammonium veelal snel omgezet in nitraat, en nitraat wordt niet vastgehouden in de bodem. Dat betekent dus ook dat dit nitraat snel verdwijnt gedurende de winterperiode, enerzijds via denitrificatie (als het nat is in de bovengrond) en anderzijds via uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater (in de drogere percelen). Stikstof accumuleert zodra het wordt vastgelegd in biomassa en stabielere vormen van organische stof. Het gebruik van stikstof in de landbouw als ook de depositie van stikstof op het land heeft daarmee dus ook effect op de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater.

Gedrag in het oppervlaktewater

Stikstof is samen met fosfor een belangrijke voedingsstof in het oppervlaktewater. In veel Nederlandse wateren waren deze nutriënten van oorsprong beperkend voor de groei van algen en planten. Met het uitspoelend neerslagoverschot spoelt een deel van de aanwezige stikstof weg uit de bodem naar grond- en oppervlaktewater, dat wil zeggen de oplosbare stikstofvormen. Dan gaat het concreet om nitraat en in mindere mate om ammonium. Via oppervlakkige afvoer en oevererosie kunnen daarbij ook bodemdeeltjes (met daaraan stikstof in organische vorm) naar het oppervlaktewater afgevoerd worden. Tijdens het transport kan stikstof op verschillende manieren worden omgezet. Deze omzettingen zijn met name afhankelijk van de lengte van de transportroutes, de samenstelling van de (water)bodem en de zuurstofhuishouding. Stikstof wordt hierbij opgenomen door algen en planten, en kan worden omgezet via microbiologische en chemische processen. In de meeste Nederlandse wateren zal denitrificatie de grootste bijdrage leveren aan verwijdering van stikstof. Dit proces lijkt in eerste instantie positief, omdat de stikstofconcentraties in het oppervlaktewater hierdoor dalen. Door denitrificatie ontstaan er echter ook bijproducten die een negatief effect kunnen hebben op de diversiteit van planten en dieren (zie sectie 2.3).

2.2 Bronnen van stikstof

De Nederlandse stikstofuitstoot is de hoogste van Europa: per hectare is de totale emissie ongeveer vier keer zo hoog als het EU-gemiddelde. Van de Nederlandse uitstoot naar de lucht bestaat ongeveer 67% uit ammoniak en 33% uit stikstofoxiden. In 2022 bestond de stikstofemissie naar de lucht uit 121 miljoen kilogram ammoniak (met name afkomstig uit de landbouw) en 162 miljoen stikstofoxide (vooral uit verkeer en industrie). Omgerekend naar elementaire stikstof bedraagt dit in totaal 149 miljoen kilogram stikstof, waarvan 100 miljoen kilogram uit ammoniak en 49 miljoen kilogram uit stikstofoxide (CBS, 2025). De meeste ammoniak komt vrij in de landbouw (ongeveer 91% van de totale emissie). Het wordt gevormd wanneer ureum uit de urine van landbouwdieren reageert met het enzym urease dat aanwezig is in mest. Dit proces treedt op in stallen, en bij het uitrijden van mest op landbouwgrond. Het merendeel van de uitstoot is afkomstig van rundvee (55%), varkens (15%) en pluimvee (11%) (CBS, 2025).

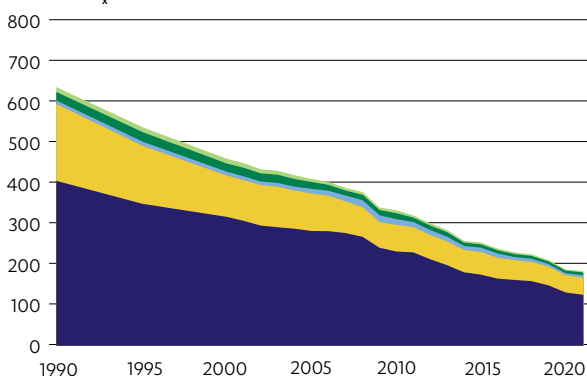
Stikstofoxiden komen vooral vrij bij verbrandingsprocessen, waarbij zuurstof en stikstof uit de lucht met elkaar reageren. Het wegverkeer heeft met 34% verreweg het grootste aandeel in de emissie van stikstofoxide gevolgd door de scheepvaart met 13%. Industrie en afval hebben samen een aandeel van ongeveer 14%, de bouwsector draagt voor ongeveer 0,3% bij aan de uitstoot van stikstofoxide. De gehele landbouw stoot ongeveer 8% uit van de totale emissie van stikstofoxide. Deze uitstoot wordt vooral veroorzaakt door het verwarmen van kassen, en bij het gebruik van mobiele (landbouw)werktuigen.

De ontwikkelingen in zowel de emissie van stikstofoxide als ammoniak over de afgelopen 30 jaar wordt hieronder weergegeven (Figuur 2.4). De emissies van de verzurende stoffen ammoniak, stikstofoxiden en zwaveldioxide (niet weergegeven) zijn sterk afgenomen in de periode 1990-2020. Dit is vooral het gevolg van het stellen van emissie-eisen aan personenauto's en vrachtverkeer als ook genomen emissie-reducerende maatregelen in verschillende industrieën als ook het krimpen van de veestapel en de verplichting van emissiearm bemesten.

Emissie stikstofoxiden (NO_x) per sector

Samenstelling volgens EU-Directive 2016/2284 (NEC)

kiloton NO_x



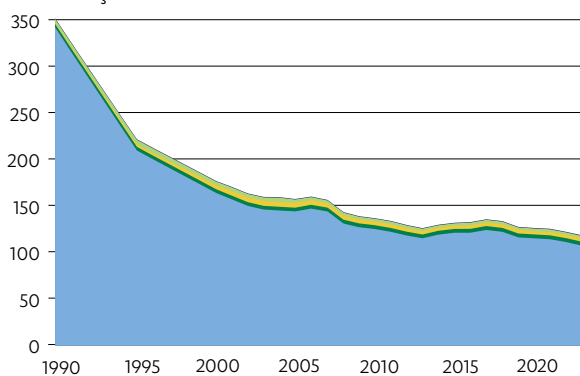
Handel, diensten en overheid en bouw Consumenten Landbouw Industrie, energie en raffinaderijen Verkeer

Bron: Emissieregistratie RIVM/feb23 www.clo.nl/nl/018328

Emissie ammoniak (NH_3) per sector

Samenstelling volgens EU-Directive 2016/2284 (NEC)

kiloton NH_3



Figuur 2.4. Trends in emissies van stikstofoxiden (links) en ammoniak (rechts) over de afgelopen 22 jaar, uitgesplitst per sector.

Tussen 2014 en 2017 nam, na een jarenlange daling, de uitstoot van ammoniak weer toe. De twee belangrijkste oorzaken voor deze stijging zijn de groei van de melkveestapel en het veranderde rantsoen. Deze toename werd voor een deel afgezwakt door schonere stalsystemen voor varkens en pluimvee. Vanaf 2018 nemen de ammoniakemissies weer af als gevolg van afnemende dieren aantallen van rundvee, (fok)varkens en pluimvee, een verdere toename in het gebruik van vooral emissiearme varkensstallen en de verplichtte mestverdunding bij toepassing van mest op graslanden op klei en veen.

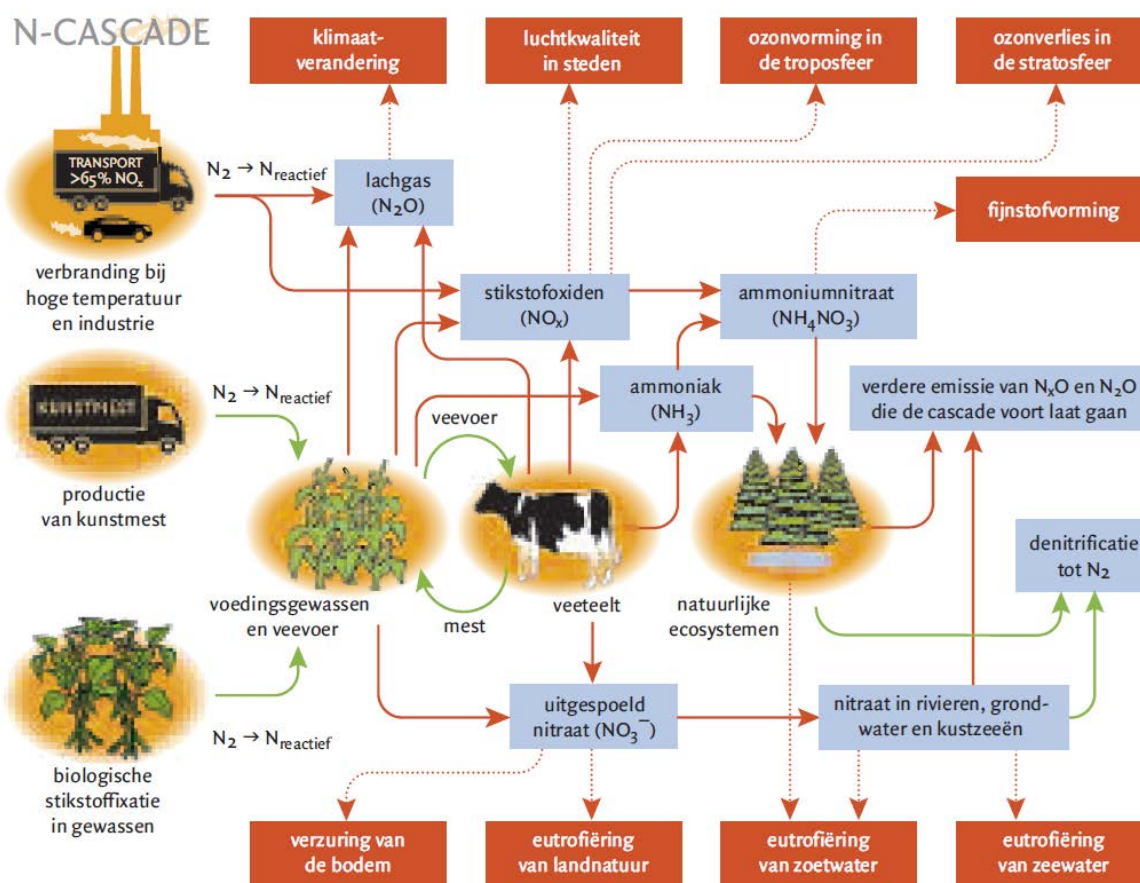
2.3 Effecten van stikstof

Vanuit diverse wetenschappelijke studies (Sutton et al., 2011; de Vries et al., 2024) is bekend dat stikstof op allerlei terreinen een negatief effect kan hebben zodra de aanvoer van stikstof de ecologische grenzen van het voedsel- dan wel ecosysteem overstijgt. Negatieve effecten omvatten de eutrofiëring van terrestrische en aquatische natuur, verzuring van bodems, nitraatverontreiniging van drinkwater, vorming van fijnstof met de daaraan gekoppelde effecten op de gezondheid van mensen en de samenstelling van de atmosfeer met bijbehorende gevolgen voor de opwarming van de aarde. Deze nadelige cascade aan effecten van reactief stikstof blijven bestaan totdat de reactieve vorm van stikstof weer is omgezet naar het niet-reactieve N_2 via denitrificatie (Figuur 2.5). We bespreken achtereenvolgens de effecten van stikstof op terrestrische natuur, aquatische natuur, menselijke gezondheid,

klimaat en als laatste gaan we in op de noodzaak van stikstof voor het produceren van voedsel.

Stikstof en impact op terrestrische natuur

De verhoogde stikstoftoevoer en de verliezen naar lucht, gevolgd door depositie, hebben effecten op het bodemleven en grote gevolgen voor de biodiversiteit op land (Figuur 2.5). De verhoogde opname van stikstof door de vegetatie veroorzaakt doorgaans een toename van de biomassa productie omdat de productiviteit van veel terrestrische ecosystemen in beginsel door stikstof is gelimiteerd (Bobbink et al., 2021). Veel planten uit deze half-natuurlijke en natuurlijke ecosystemen zijn aangepast aan nutriënten-arme omstandigheden, en kunnen alleen succesvol voortbestaan op stikstofarme bodems. De effecten van stikstof op deze ecosystemen zijn veelzijdig en vinden plaats op verschillende tijdschalen. De effecten zijn: a) directe toxiciteit van gassen en fijnstof, b) veranderingen in de bodem ten gevolge van verzuring, c) veranderingen in de concurrentieverhoudingen tussen soorten als gevolg van de stikstofrijkdom, d) negatieve effecten van gereduceerd stikstof op planten, e) toegenomen gevoeligheid voor secundaire stressfactoren als plagen en vorst- of droogteschade, en f) doorwerking van stikstof in het voedselweb met alle gevolgen van dien voor de fauna.



Figuur 2.5. De stikstofcascade en gekoppelde effecten (uit Erisman et al. (2021) afgeleid van Sutton et al. (2013)). De uitstoot van stikstof leidt tot een cascade aan effecten door uitstoot naar lucht en water, transport in de lucht en in het water, depositie op natuur en inname door de mens.

Stikstof en impact op aquatische natuur

In veel wateren staat de diversiteit van de vegetatie onder druk omdat de nutriëntenbelasting te hoog is. Soorten zoals algen en kroos gaan woekeren bij een te hoge nutriëntenbelasting, wat ten koste gaat van andere soorten en dus de ecologische waterkwaliteit. Niet alleen de absolute belasting is hierbij van belang maar ook de verhouding tussen stikstof¹ en fosfor die aangeeft welk nutriënt de groei van algen en kroos beperkt (nutriëntlimitatie). In veel zoete stilstaande wateren is fosfaat limiterend. Voor zoet water wijst een stikstof-fosfor-ratio van de belasting kleiner dan drie op stikstoflimitatie en groter dan 10 op fosforlimitatie. Deze grenswaarden zijn bepaald op basis van de door Redfield bepaalde grens voor stikstof- en fosforlimitatie waarbij rekening wordt gehouden met processen in het watersysteem. De stikstof-fosfor-ratio van de belasting uit

landbouwgronden is relatief hoog, in het bijzonder voor de zandgebieden in Nederland. In de zuid-westelijke zeelei en het westelijk veenweidegebied ligt deze rond de 6 tot 8. In veel situaties is voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit inzet nodig voor zowel fosfor als stikstof.

De belasting van het oppervlaktewater met stikstof leidt niet alleen tot directe effecten, maar heeft ook een aantal indirecte effecten. Hierbij is een sleutelrol weggelegd voor denitrificatie; het proces waarbij nitraat wordt gereduceerd tot stikstofgas ontleent zijn energie aan de oxidatie van organisch materiaal, tweewaardige ijzerverbindingen of pyriet (ijzersulfiden). De 'bijproducten' die bij deze reacties worden gevormd, kunnen negatieve effecten hebben op het ecologisch functioneren van het oppervlaktewater.

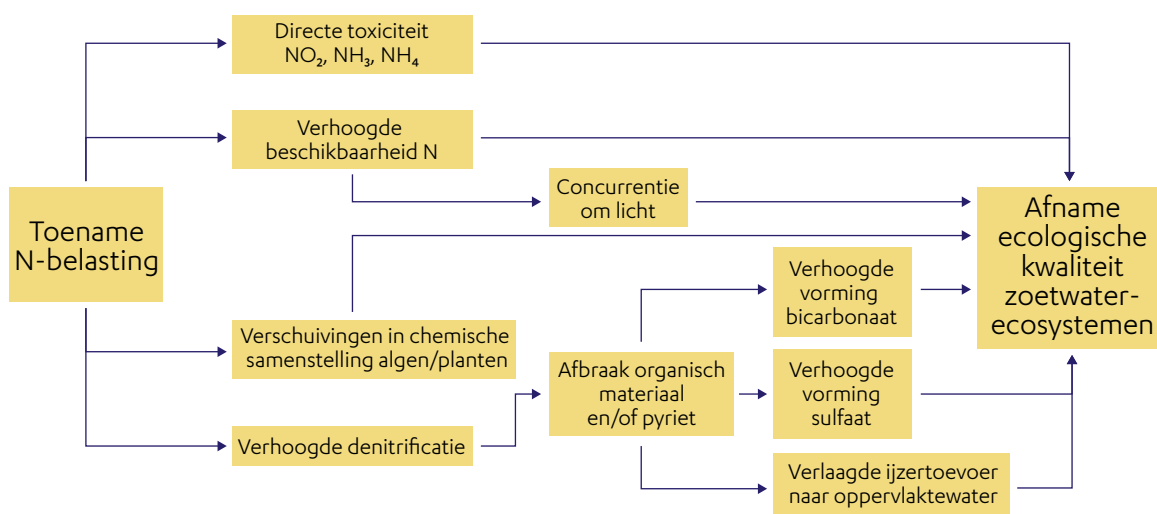
¹ Het gaat hierbij om de totale belasting met stikstof, en deze stikstof omvat zowel de oplosbare fracties (nitraat, ammonium, nitriet, organisch) als bodemdeeltjes die stikstof bevatten (organisch).

Een hoge stikstofbelasting kan op verschillende manieren invloed hebben op de ecologie. De onderliggende mechanismen zijn complex. In 2021 hebben van Geest et al. een inventarisatie uitgevoerd van de rol van stikstof in oppervlaktewatersystemen, en zij noemen vier belangrijke effecten², gevisualiseerd in Figuur 2.6 die op kunnen streken in zowel stilstaande als stromende wateren. Het relatieve belang van de individuele mechanismen hangt sterk samen met de verblijftijd van het water. Als water lang in een sloot of gebied aanwezig is, dan heeft het watersysteem veel tijd om het water te zuiveren. Daarbij groeien in kleine waterlopen met een lange verblijftijd vaak veel waterplanten. Deze planten stimuleren denitrificatie en vergroten de vastlegging van stikstof in planten en de bodem. Kortom: bij langere verblijftijden spelen interne processen in de sloot (zoals algenbloei, denitrificatie en afbraak van organische materiaal) een grotere rol, terwijl bij korte verblijftijden vooral de kwaliteit van het aangevoerde water doorslaggevend is.

De belangrijkste effecten van een verhoogde stikstofbelasting zijn:

- Voedselverrijking waarvan sommige soorten (zoals algen of kroos) beter of sneller profiteren dan andere, wat ten koste gaat van karakteristieke en zeldzame soorten;
- Verschuiving in de verhouding van stikstof en fosfor in algen en planten, wat negatief kan doorwerken naar de rest van het voedselweb;
- Verhoogde denitrificatie met als indirect effect een verhoogde concentratie van bicarbonaat en sulfaat en een verlaagde concentratie van ijzer, wat de beschikbaarheid van fosfaat vergroot. Met name in voedselarme systemen kan dat leiden tot een vermindering van soortdiversiteit;
- Directe vergiftiging door te hoge concentraties van stikstofhoudende verbindingen.

Dit laat zien dat een overmaat aan stikstof tot een cascade van effecten op het ecologisch functioneren en de soortenrijkdom van Nederlandse oppervlaktewater kan leiden (Van Geest et al., 2021). Ten eerste stimuleert een hoge stikstofbelasting de groei van algen waardoor eutrofiëring optreedt. Een overmaat aan stikstof in oppervlaktewater leidt daarnaast tot verruiging van oevervegetatie. Verruiging is niet altijd het gevolg van bemesting, maar wordt ook veroorzaakt door maaisel en/of bagger die langs slootkanten blijft liggen. Ten tweede veroorzaakt stikstof ook een disbalans tussen de hoeveelheden van verschillende nutriënten en mineralen in algen en waterplanten. Hierdoor kan de voedingswaarde veranderen, wat negatieve gevolgen heeft voor het voedselweb. Bovendien kunnen stikstofverbindingen toxische concentraties bereiken met grootschalige sterfte van planten en dieren als gevolg. Bij een hoge pH in het water (>8.5) wordt ammonium omgezet in ammoniak, een stikstofvorm die vluchtig is en giftig is voor zowel fauna als flora. Zulke omstandigheden kunnen optreden in dicht begroeide onderwater-



Figuur 2.6. Potentiële werkingsmechanismen van een overmaat van stikstof die tot een afname van de kwaliteit van aquatische ecosystemen kunnen leiden (van Geest et al., 2021).

² Voor een gedetailleerde procesbeschrijving met illustraties uit de wetenschappelijke literatuur, verwijzen we graag naar de publicatie van Van Geest et al. (2021).

vegetaties of bij algenbloei op een zonnige dag. De mediane EC50-waarden waarbij er acute effecten op fauna optreden is 27,8 mg L⁻¹ (Posthuma et al., 2016). Daarnaast kunnen hoge ammonium-gehalten in het poriewater van de waterbodem giftig zijn voor waterplanten. Voor veel wateren overschrijdt de ammoniumconcentratie de huidige generieke norm van de KRW, terwijl de ecologische toestand lang niet altijd slecht is. De gestandaardiseerde jaar-gemiddelde norm voor ammonium is vastgesteld op 0,304 mg L⁻¹ en de gestandaardiseerde maximum norm ligt op 0,608 mg L⁻¹. Deze normen zijn afgeleid op basis van de karper- en zalmachtige vissen in het Rijngebied en geldig verklaard voor alle watertypen. Hierbij is rekening gehouden met het evenwicht tussen ammonium en ammoniak in het oppervlaktewater (Rost et al, 2020). De mate waarin deze effecten optreden verschilt per soort, en soorten in Nederland komen voor binnen een grote range van ammonium (van Geest et al., 2024). Ten slotte kan te veel stikstof ook de beschikbaarheid van koolstof, sulfaat en fosfaat verhogen, wat de eutrofiering versterkt. Dit komt bijvoorbeeld voor bij de omzetting van ammonium naar nitraat, een proces waarbij zuurstof nodig is. Hoge emissies van ammonium kunnen daarom leiden tot zuurstofloosheid en daarmee tot mobilisatie van ijzer-gebonden fosfaat. Stikstofuitspoeling kan daarmee ook de fosforconcentraties in oppervlaktewater verhogen.

Stikstof en menselijke gezondheid

Een overmaat aan stikstofoxiden bedreigt ook onze eigen gezondheid. Hoge concentraties van koolstofdioxide veroorzaken schade aan de longen en leiden tot ademhalingsproblemen. Belangrijker is dat stikstofoxiden samen met vluchtige organische verbindingen ozon (O₃) vormen, waardoor smog kan optreden. Smog door ozon veroorzaakt luchtwegklachten, irritaties aan de ogen, neus en keel, en duizeligheid. Daarnaast dragen ammoniak en stikstofoxiden in Nederland gemiddeld voor circa 38 procent bij aan de vorming van fijnstofdeeltjes (TNO, 2024). Die deeltjes hebben een schadelijke uitwerking op longen, hart en bloedvaten. Een verhoogde uitspoeling van nitraat naar grond- en oppervlaktewater vormt een risico voor de drinkwatervoorziening.

Stikstof en klimaat

De overmaat aan stikstof heeft ook gevolgen voor het klimaat door de hogere emissies van lachgas, een driehonderd keer sterker broeikasgas dan koolstofdioxide. Lachgas ontstaat in het water en in de bodem, bijvoorbeeld bij het gebruik van mest, het omploegen van grasland of door depositie en stikstofbinding. Daarnaast leidt de uitstoot van stikstofoxiden tot de vorming van ozon op tien tot vijftien kilometer hoogte, de zogenoemde troposferische ozon. Dit broeikasgas vergroot de opwarming en vermindert de groei van bossen, die daardoor weer minder van het broeikasgas koolstofdioxide vastleggen. Maar er zijn ook tegenovergestelde effecten. Zo bemesten ammoniak en stikstofoxiden de bodem en zolang de depositie niet te hoog wordt, stimuleert dat de groei van bossen en dus de vastlegging van koolstofdioxide. Bemesting leidt ook tot meer koolstofvastlegging in de landbouw. Netto zorgt de bijdrage van stikstof voor een klein koelingseffect op het klimaat, maar dat effect is kortdurend (de Vries et al., 2024).

De noodzaak van stikstof voor voedselproductie

Planten nemen stikstof op uit de bodem, en hebben stikstof nodig om te kunnen groeien. Het is echter geen vanzelfsprekendheid dat deze op het juiste moment beschikbaar zijn. Bovendien zijn veel stikstofverbindingen vluchtig of gevoelig voor uitspoeling; er treden daardoor veel verliezen op naar lucht en water. Dit betekent dat op een natuurlijke manier (via vlinderbloemige gewassen) of kunstmatige manier (via minerale en organische meststoffen) extra stikstof moet worden aangevoerd om de kringloop te sluiten én de huidige opbrengsten te handhaven. Als dat niet gebeurt, daalt de gewasproductie. Als er gebruik wordt gemaakt van dierlijke mest en andere organische reststromen dan kan het gewas niet alle stikstof opnemen die wordt gegeven. Dit komt omdat er gedurende het groeiseizoen ook stikstofverliezen optreden die onvermijdelijk zijn. Omdat de vraag naar plantaardig eiwit de komende 30 jaar met 70% zal toenemen, en maximaal 80% van de stikstof wordt opgenomen, is er wereldwijd minimaal 125 kg N per hectare nodig³ om de gewasopname te compenseren (Ros & de Vries, 2020). Gegeven het huidige landbouwareaal én

3 Op wereldschaal ligt de jaarlijkse gewasopname rond de 120 mln. Ton stikstof. Bij het huidige gewasareaal komt dat neer op een gemiddelde gewasopname van 60 kg N per hectare. Als de voedselvraag de komende 30 jaar met 70% stijgt, dan komt dat neer op een gewasopname van 102 kg N per hectare. Omdat van elke kilo gegeven stikstof er altijd 20% zal verdwijnen naar lucht of water, dan betekent dit dat er 127,5 kg N per hectare nodig is aan input. Afgerond is dat 125 kg N per hectare.

de wereldwijde voedselvraag is het helaas niet mogelijk om via vlinderbloemigen deze hoeveelheid stikstof uit de lucht te halen; de gemiddelde stikstofopname van vlinderbloemigen ligt op 75 kg N per hectare. Dit geldt op zowel regionale als mondiale schaal. Zolang er geen revolutionaire doorbraak komt om de stikstofbinding substantieel te vergroten, blijft er behoefte aan stikstof uit dierlijke mest en kunstmest. Ook in Nederland, en ook in provincie Zuid-Holland.

Voor een duurzame landbouw is het gewenst dat de stikstof alleen beschikbaar is in de periode dat het gewas groeit. Bij bestaande reststromen uit de landbouw, natuurterreinen en humane reststromen moet een deel hiervan eerst biologisch omgezet worden voordat het beschikbaar is voor gewasopname. Dit betekent inherent een verhoogde stikstofbelasting van de bodem en daarmee ook van de leefomgeving. Een goede bemestingsstrategie is daarom cruciaal: door in te spelen op het juiste moment met de juiste meststof op de juiste plek met de juiste hoeveelheid, kan zowel gezorgd worden voor een goede gewasproductie als een minimale hoeveelheid van verliezen. In combinatie met de juiste maatregelen voor een goed bodembeheer, gewasbeheer en beregening is het mogelijk om de nitraatuitspoeling vrijwel overal in Nederland te verlagen tot onder de nitraatnorm van 50 mg nitraat per liter (Gies et al., 2023b). De uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater kan door de inzet van maatregelen uit de goede landbouwpraktijk met 2 tot 55% worden verlaagd. In de provincie Zuid-Holland zal de potentiële reductie kleiner zijn dan 10% vanwege het voorkomen van veel klei en veenbodems; in deze bodems is nitraatuitspoeling beperkt (Gies et al., 2023b).

2.4 Landelijk beleidskader

Binnen Nederland wordt er op verschillende terreinen gewerkt om de negatieve effecten van stikstof op terrestrische en aquatische natuur te verkleinen. Voor de kwaliteit van terrestrische natuur is de emissie van stikstof geïdentificeerd als een van de belangrijkste sleutelfactoren. Deze emissie moet omlaag om de kwaliteit van stikstofgevoelige natuur te beschermen en te verbeteren. Voor de kwaliteit van aquatische natuur en de kwaliteit van het water wordt er beleid gemaakt om te voldoen aan de Europese Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn. Beide krijgen vorm via het landelijk mestbeleid (met allerlei verboden en

geboden) als ook de stroomgebiedsbeheerplannen met maatregelen om de kwaliteit van het watersysteem te verbeteren.

Een historische analyse van de implementatie van de Europese Vogel- en habitatrichtlijn valt buiten de scope van deze studie. Wel is het belangrijk om te noemen dat er in 2021 [een wet](#) is aangenomen om de stikstofuitstoot te verlagen en daarmee de natuur te verbeteren: de Wet stikstofreductie en natuurverbetering. In 2030 moet de stikstofneerslag volgens deze wet in de helft van de Natura 2000-gebieden onder de kritische depositiewaarde liggen. De bouwsector, industrie, luchtvaart, binnenvaart én de landbouw moeten allen een bijdrage leveren en kunnen rekenen op financiële steun hiervoor. Het effect van maatregelen om de uitstoot en depositie te verlagen wordt jaarlijks getoetst. Ook wordt het herstel van de natuur gemonitord.

Om de waterkwaliteit te verbeteren zijn er in het mestbeleid gebruiksnormen geïntroduceerd waarmee onnodige stikstofbemesting wordt voorkomen, en er niet meer stikstof wordt gegeven dan dat er nodig is om gewassen goed te laten groeien. Ook worden er diverse maatregelen genomen voor rioolwater-zuiveringsinstallaties, oeverinrichting, en peilbeheer om zo de kwaliteit van aquatische natuur te verbeteren. De kerndoelstelling van de KRW is namelijk het realiseren van en behouden van chemisch schoon en ecologisch gezond oppervlaktewater en grondwater. De ecologische doelstellingen zijn opgebouwd uit de beoordeling van de biologische kwaliteit, de algemeen fysisch-chemische kwaliteit (waaronder voor stikstof en fosfor), de specifiek verontreinigde stoffen en de hydromorfologie. Er gelden twee verplichtingen: in de eerste plaats dient achteruitgang te worden voorkomen door middel van het nemen van noodzakelijke maatregelen. In de tweede plaats moeten lidstaten alle wateren beschermen, verbeteren en herstellen met de bedoeling dat uiterlijk eind 2027 een goede watertoestand is bereikt. Het gaat hier dus om het bereiken van een goede chemische en ecologische toestand (Groothuijse en van Rijswijk, 2023).

De provincie heeft voor ieder KRW-waterlichaam doelen vastgesteld voor zowel de biologische waterkwaliteit (waterplanten, macrofauna, fytoplankton en vis) als nutriënten. Waterschappen hebben deze doelen bepaald op basis van watersysteemanalyses. Het ingeschatte effect van

maatregelen is hiervoor opgeteld bij de uitgangssituatie op het moment van doelbepaling. Waterschappen hebben voor nutriënten veelal landelijke default doelen gebruikt die per watertype zijn bepaald. Het kan daarom zo zijn dat het doel voor stikstof niet de concentratie is die past bij de gewenste biologische toestand. RWS, HHNK, en Rivierenland gebruiken default doelen voor vrijwel al hun KRW-waterlichamen. De waterschappen WSHD, HDSR gebruiken default doelen voor ten minste 80% van hun waterlichamen. Bij het hoogheemraadschap van Delfland, Rijnland, Schieland en Krimpenerwaard en Amstel, Gooi en Vecht zijn doelen voor ten minste 63% van de waterlichamen aangepast. Deze verschillen tussen water-beheerders hebben verschillende oorzaken. Er zijn verschillen in de fysische en geologische karakteristieken van de beheergebieden en daarmee ook in de achtergrondbelasting en gewenste belastingreductie. Daarnaast wijkt de methode waarmee doelen zijn afgeleid af tussen water-beheerders. Bij een aanpassing van de nutriëntendoelen speelt vooral de achtergrondbelasting een grote rol. In een enkel geval is gekeken naar de nutriëntenbelasting die gewenst is voor het behalen van ecologische doelen. De opgave berekend met KRW-Echo (Schipper et al., 2025) kan daarom afwijken van de benodigde reductie in nutriëntenbelasting voor het behalen van biologische doelen.

De belangrijkste reden voor de slechte ecologie in waterlichamen is de beperkte biodiversiteit in planten en dieren, veroorzaakt door een te hoge nutriëntenbelasting (vanuit de landbouwbodem, kwel, en rwzi's), het voorkomen van invasieve soorten planten en dieren, beperkte slootdiepte (in veengebieden), en het voorkomen van (micro-) verontreinigingen (van Galen et al., 2019). Ook de inrichting en beheer van het oppervlaktewater hebben grote invloed op de ecologische waterkwaliteit. Daarnaast variëren de oorzaken sterk afhankelijk van grondsoort, landgebruik, en eigenschappen van het hydrologisch systeem. Dit maakt maatwerk cruciaal om de doelen te bereiken. Waterbeheerders geven aan dat 'te hoge nutriënten' in 80% van de KRW-waterlichamen een significante belasting is (KRW-portaal) en wijzen daarbij in vrijwel alle gevallen mede naar de landbouw als belangrijke bron van nutriënten.

2.5 Kennisvragen

Anno 2025 zijn er een aantal kennisvragen die op basis van de huidige kennis nog niet beantwoord kunnen worden. Deze worden hieronder kort samengevat:

- Stikstof in het watersysteem kan tijdelijk worden opgeslagen in waterplanten of het sediment. Stikstofconcentraties in het water zijn daarmee niet alleen het resultaat van inputs maar ook van biologische en chemische processen in het watersysteem zelf. Omdat deze processen erg dynamisch zijn over ruimte en tijd, en afhankelijk van allerlei locatiefactoren, bemoeilijkt dit een juiste interpretatie, en het gebruik ervan als normering. Om deze reden is het sturen op een juiste stikstofbelasting beter dan het sturen op stikstofconcentraties. De koppeling tussen de ecologische systeemanalyses en de gebruikte normerende concentraties is tussen waterbeheerders niet consistent, en de invloed van tijdelijke of permanente retentie van stikstof in het watersysteem is op zijn minst onduidelijk. Meer inzicht is gewenst in de kritische factoren die nodig zijn om de biologische waterkwaliteit te verbeteren als ook de nutriëntenconcentraties te sturen. Dit voorkomt ook het onjuiste gebruik van meetgegevens in de onderbouwing van mestbeleid, en verbreedt de huidige focus op nutriënten naar een breder palet van maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren.
- Recente data-gedreven studies die rekening houden met oevererosie en baggervorming laten zien dat de stikstof- en fosforconcentraties vanuit de landbouwbodem afwijken van veel gebruikte procesmodellen die goed zijn in de modellering van opgeloste nutriënten. Omdat een groot deel van de stikstof en fosforbelasting via deeltjes plaatsvindt, is het belangrijk om inzicht te krijgen in de onderliggende sturende factoren en in welke mate deze ook daadwerkelijk stuurbaar zijn via managementmaatregelen.
- Er zijn op basis van expertkennis, modelberekeningen en proeven allerlei maatregelen geïdentificeerd die in de landbouw ingezet kunnen worden om de emissie van stikstof naar de lucht dan wel de uit- en afspoeling naar het water te verkleinen. Er zijn nog veel onduidelikheden over mogelijke stapeleffecten en het is evident dat de totale effectiviteit van maatregelcombinaties niet gelijk is aan een simpele optelling van individuele effecten. Ook ontbreken eenduidige prioriterings- en toepassingsregels

waarmee integraal op bedrijfsniveau – maar ook op gebiedsniveau – gestuurd kan worden op een duurzame inzet van stikstof. Landelijke modellen als INITIATOR (Kros et al., 2021), LWKM (van der Bolt et al., 2022) en KRW-ECHO (Schipper et al., 2025), en beslissingsondersteunende tools als het BBWP (Ros & Verweij, 2025) zijn inzetbaar om maatwerk te faciliteren en combinatie-effecten in beeld te brengen, maar kennen elk hun beperkingen, en worden maar heel beperkt in combinatie met elkaar ingezet. Zeker als het om effectinschattingen van maatregelen op bedrijfsniveau gaat, is de huidige kennis en modelinstrumentarium beperkt.

- De relatie tussen ammoniakemissie en depositie elders wordt in kaart gebracht via een combinatie van landelijke inventarisatie van activiteiten (Gecombineerde Opgave), metingen (LML en MAN) en modellen (OPS, Aeries). Op regionale en landelijke schaal zijn deze redelijk betrouwbaar. Recente modelvergelijkingen suggereren echter

dat de verspreiding van stikstof groter is dan wordt aangenomen, wat de daadwerkelijke impact van genomen en geplande maatregelen zal beïnvloeden. Ook zal een verlaging van depositie niet per direct een verbetering opleveren van de natuurkwaliteit; het kost tijd, en er zijn ook aanvullende maatregelen nodig om de natuurkwaliteit te herstellen dan wel te verbeteren. Gezien de benodigde reductie in ammoniak (minimaal een halvering) is deze onzekerheid niet belemmerend voor de inzet op emissieverlaging, maar in de context van doelsturing en verwachte impact ervan is een accurate impactanalyse en duidelijk verwachtingsmanagement belangrijk.

3. Stikstof in provincie Zuid-Holland

Leeswijzer. In dit hoofdstuk worden de verschillende bodem- en landbouw-gerelateerde eigenschappen besproken die van invloed zijn op de emissie van stikstof naar de lucht en naar het water. Hierbij gaat het om landgebruik en basiskenmerken van de bodem, maar ook om de aanvoer van stikstof in de vorm van dierlijke- en kunstmest en het stikstof-bodemoverschot (het verschil tussen aangevoerde stikstof en stikstof opgenomen door het gewas). Deze kenmerken zijn zichtbaar gemaakt in kaarten van de regio, die vervolgens besproken worden met betrekking tot (a) wat je ziet, (b) wat de variatie is in het gebied en (c) wat hier de mogelijke consequenties zijn voor de emissie van stikstof.

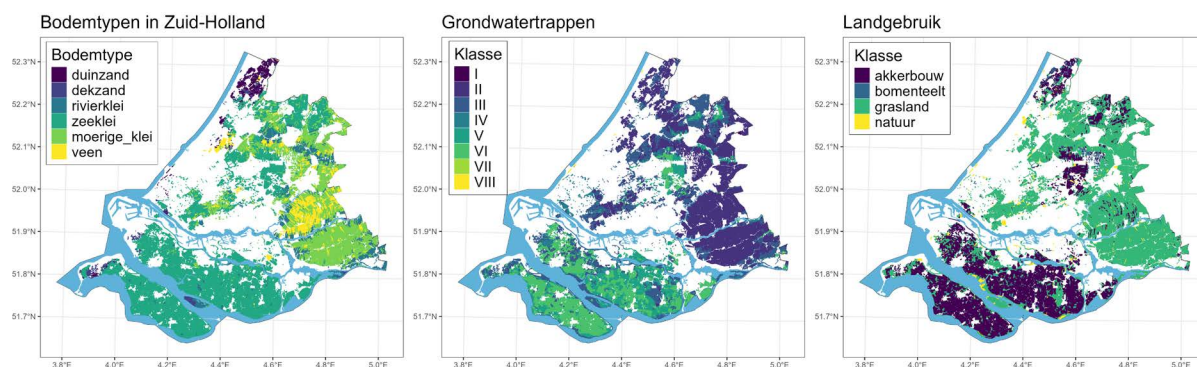
De huidige situatie. Stikstof is nodig voor elke vorm van landbouw. Een gemiddeld melkveebedrijf bemest de bodem met 420 kg N ha^{-1} terwijl een akkerbouwbedrijf gemiddeld 241 kg N ha^{-1} aanvoert. Het gemiddelde bodem-overschot (d.w.z. het verschil tussen aangevoerde en afgevoerde stikstof) ligt rond $100\text{--}120 \text{ kg N ha}^{-1}$. Gemiddeld gaat er in de melkveehouderij 39 kg N ha^{-1} als ammoniak de lucht in, tegenover 15 kg N ha^{-1} in de akkerbouw. Circa 40% van de melkveehouderijbedrijven stoot meer uit dan 40 kg N ha^{-1} , terwijl dat vrijwel niet voorkomt voor akkerbouwbedrijven. De gemiddelde N-uitspoeling naar het oppervlaktewater varieert tussen 3 en 10 kg N ha^{-1} , en is daarmee relatief beperkt.

3.1 Het bodem- en watersysteem

Een goed beheer van stikstof is cruciaal voor een duurzaam en toekomstbestendig landbouwsysteem. Stikstofverliezen treden op vanuit de bodem via natuurlijke processen zoals de afbraak van organische stof. Stikstofverliezen treden ook op zodra er meer stikstof wordt aangevoerd dan er door gewassen wordt opgenomen. Zowel de verliezen van stikstof als ook de gewasopname en de bemestingspraktijk worden daarbij beïnvloed door landgebruik, grondsoort, en grondwatertrap. Hierbij beperken we ons tot de grondgebonden teelten. Voor met name Delfland en Schieland is ook glastuinbouw een belangrijke bron. Uitgaand van een realistisch scenario waarin bestaande lekken worden gedicht, wordt verwacht dat met bestaand beleid de belasting van deze sector voor 2027 met 40% wordt verlaagd (Schipper et al., 2025). Emissies van ammoniak uit deze sector zijn beperkt.

Bodem en landgebruik

Het zuiden van de provincie bestaat grotendeels uit zeeklei en wordt gebruikt voor akkerbouwgewassen (Figuur 3.1). In het noordoosten van de provincie komen naast zeeklei vooral moerige klei- en veengronden voor die grotendeels gebruikt worden als grasland. Aan de kust komen daarnaast nog enkele duinzandgronden voor. Een groot deel wordt



Figuur 3.1. Voorkomende grondsoorten (links), grondwatertrappen (midden) en landgebruik (rechts) binnen PZH.

gekenmerkt door relatief hoge grondwaterstanden. Omdat ruim een kwart van de provincie bestaat uit veengronden, betekent dit ook dat een substantieel deel van de provincie gevoelig is voor bodemdaling (door veenoxidatie). Gekoppeld daaraan bestaat driekwart van de provincie uit slappe veen- of kleigronden die gevoelig zijn voor zettingen (door belasting van de bodem). Dit resulteert in opgaven voor zowel nieuwe ontwikkelingen als voor beheer en onderhoud, in zowel bebouwd als landelijk gebied. Veenbodems zijn van nature rijk aan stikstof.

De natte en veenrijke gronden worden veelal gebruikt door melkveehouders. De vruchtbare kleigronden in het zuiden van de provincie worden vooral voor akkerbouwmatige teelten gebruikt. Het landgebruik bepaalt voor een groot deel hoeveel stikstof er jaarlijks mag worden bemest. In Nederland zijn daarvoor verschillende gebruiksnormen vastgesteld. Voor de aanvoer uit dierlijke mest geldt een algemene gebruiksnorm van 170 kg N ha⁻¹. Op melkveebedrijven met derogatie geldt in 2025 de derogatienorm van 200 kg N ha⁻¹, 190 kg N ha⁻¹ in nutriëntenverontreinigde gebieden en 170 kg N ha⁻¹ in bufferzones rondom N2000 gebieden en in grondwaterbeschermingsgebieden. Vanaf 2026 is de derogatie vervallen en is de norm overal 170 kg N ha⁻¹. Naast deze norm geldt er een gewas- en bodem-afhankelijke norm voor werkzame stikstof, dat wil zeggen de hoeveelheid reactief stikstof dat beschikbaar komt vanuit dierlijke mest en kunstmest. Deze norm kan variëren van 30 kg N ha⁻¹ voor vlinderbloemige gewassen tot 275 kg N ha⁻¹ voor aardappelen en 385 kg N ha⁻¹ voor grasland (RVO, 2025). De gebruiksnorm op klei ligt hoger dan op zand en veen, en de norm voor grasland is hoger dan die voor akkerbouwgewassen. Op natte percelen zal het grootste deel van het N-bodemoverschot omgezet worden naar N₂ via denitrificatie, het risico op uitspoeling is gering. Stikstofverliezen uit bemesting op veengronden naar het oppervlaktewater zijn daarom beperkt. Wel is er in het veenweide gebied sprake van oeverafkalving en erosie van bodemdeeltjes bij gebruik van greppels. Ook kan na een bemesting en onder erg natte omstandigheden sprake zijn van oppervlakkige afvoer via het oppervlak; dit risico is echter beperkt omdat mest uitrijden onder erg natte omstandigheden lastig is vanwege draagkracht en bufferstroken verplicht zijn die het risico van afspoeling beperken.

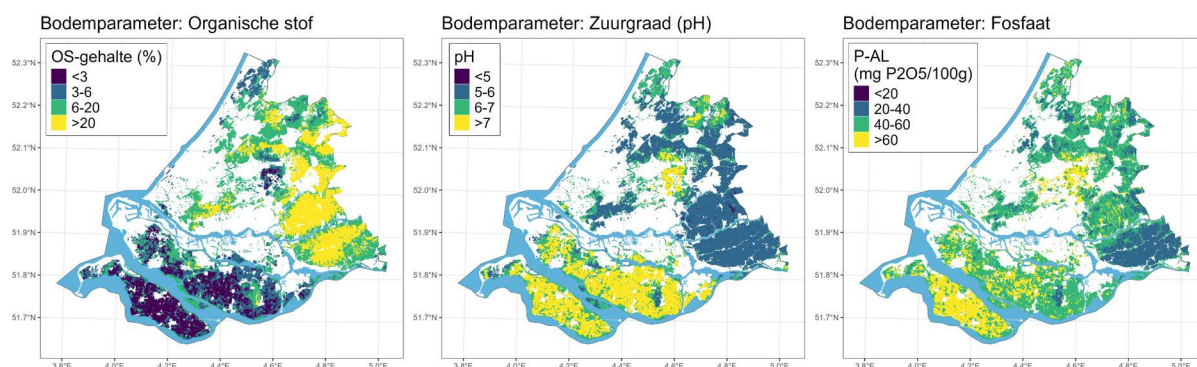
Omdat de natte percelen veelal gedraineerd zijn, is het risico op stikstofverliezen gedurende natte periodes echter groot voor akkerbouwpercelen. De emissies van ammoniak worden grotendeels gestuurd door de techniek bij het injecteren dan wel toedienen van dierlijke mest. Hoe hoger het gebruik van dierlijke mest, hoe hoger de emissie van ammoniak. Bij het achterlaten en onderwerken van gewasresten zal ook een klein deel van de stikstof vervluchtigen als ammoniak, variërend van <0,3 tot 7,3% van de achtergebleven hoeveelheid stikstof in de gewasresten (Van Bruggen et al., 2024).

Bodemvruchtbaarheid en stikstof

Drie belangrijke bodemparameters die van invloed zijn op de gewasproductie en daarmee de opname van stikstof zijn het gehalte aan organische stof, de zuurgraad van de bodem en de beschikbaarheid van fosfaat. De ruimtelijke variatie in deze parameters wordt weergegeven in Figuur 3.2.

Organische stof heeft belangrijke functies in de bodem en is van directe invloed op de bodemvruchtbaarheid. Het verbetert de structuur, bevordert de bewerkbaarheid en verhoogt het vochtvasthoudend vermogen. Daarnaast zorgt organische stof voor extra kationomwisselcapaciteit, waardoor een bodem meer kationen als kalium, calcium en magnesium kan vasthouden. De organische stof bevat daarnaast ook zelf nutriënten als stikstof, fosfor en zwavel, die na afbraak beschikbaar komen voor gewasopname. Het organische stofgehalte varieert tussen de 2 en 32% (Figuur 3.2). Dit is vooral hoog op de veengronden met een gehalte hoger dan 20%, gevolgd door de moerige kleigronden. Het organische stofgehalte is gemiddeld lager dan 3% op de kalkrijke zeekleipercelen in het zuiden van de provincie.

De zuurgraad (pH) van de bodem (Figuur 3.2) beïnvloedt de vorm waarin nutriënten in de bodem aanwezig zijn en de beschikbaarheid ervan. De zuurgraad heeft niet alleen een groot effect op de chemische vorm van de verbindingen en hun omzettingen, maar ook op biologische processen. Een optimale zuurgraad voor het bodemleven ligt tussen de 6 en 7. Bij lage pH's, lager dan 4,5 wordt de gewasopname van nutriënten geremd. Dit komt vrijwel niet voor vanwege de natuurlijke aanwezigheid van carbonaten, en het gebruik van dierlijke mest waarmee voldoende kationen worden aangevoerd om de verzurende werking van stikstof te compenseren.



Figuur 3.2. De ruimtelijke variatie in organische stof (%), zuurgraad (midden) en fosfaat (mg P₂O₅ 100g⁻¹, rechts) binnen PZH. De bodemdata zijn voorspeld op basis van een ruimtelijk landelijk model dat gekalibreerd is op meer dan 200.000 analyses uit agrarische meetnetten.

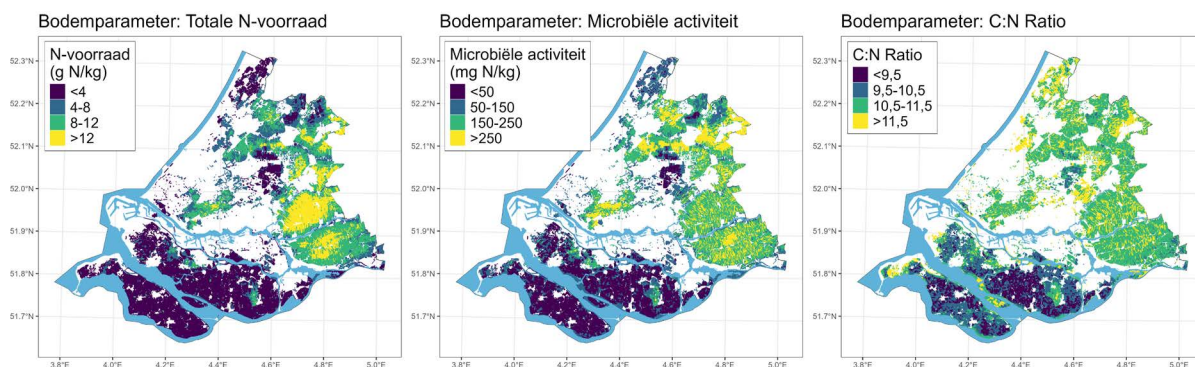
De fosfaattoestand van de bodem (Figuur 3.2) geeft aan of er voldoende fosfaat in de bodem aanwezig is voor een optimale gewasproductie. De fosfaattoestand wordt gebruikt als graadmeter in zowel bemestingsadviezen als de mestwetgeving. In Nederland wordt daarvoor gebruik gemaakt van twee analysemethoden. Afhankelijk van de hoeveelheid fosfaat wordt een bodem vervolgens geclassificeerd als een toestand 'arm', 'laag', 'neutraal' of 'hoog'. Een optimale P-bodemtoestand ligt rond de 45 mg P₂O₅ per 100 gram. Een substantieel deel van het areaal heeft bodems die meer fosfaat bevatten dan in deze optimale toestand. In de veenrijke Krimpenerwaard is het gehalte laag, evenals in de Alblasserwaard, met op lange termijn knelpunten voor een duurzame gewasproductie.

De direct beschikbare hoeveelheid fosfaat (niet weergegeven) is veelal lager dan 2.5 mg P kg⁻¹. Deze concentratie (als ook het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem) bepaalt de P-concentratie van uitspoelend water. De bronnenstudie uitgevoerd door WEnR (Schipper et al., 2025) suggereert echter dat er een relatief grote restopgave voor de landbouw ligt, gekoppeld aan bemesting. Dit kan mogelijk samenhangen met een te hoge inschatting van de fosfaatconcentratie in de bodem; de *berekende* fosfaatconcentratie in de bodem zoals gebruikt in het landelijk waterkwaliteitsmodel ligt substantieel hoger dan de *berekende* P-concentratie afgeleid van duizenden metingen zoals gebruikt in de studie van Stokkermans et al. (2025). Dit verschil kan ook samenhangen met het feit dat een groot deel van de fosforbelasting van het oppervlaktewater in natte klei- en veengebieden samenhangt met oevererosie en oppervlakkige afspoeling van deeltjes (Ros &

Moria, 2024), een proces dat maar heel beperkt wordt meegenomen in de landelijke waterkwaliteitsmodellen. Maatregelen om de fosforbelasting te verlagen liggen daarom ook in het voorkomen en beperken van oeverafkalving, afvoer via drains en greppels, en het beperken van oppervlakkige afvoer.

Het fosfaatgehalte van de bodem bepaalt overigens ook de hoeveelheid bemesting: op percelen met een hoge fosfaattoestand mag minder bemest worden. Op bodems met een lage fosfaattoestand mag wettelijk meer fosfaat via mest aangevoerd worden, een regel die aansluit bij het landbouwkundig advies (te vinden in het [Handboek Bodem en Bemesting](#)). Dit advies houdt in dat bodems met een hoge fosfaattoestand weinig tot geen fosfaatbemesting nodig hebben om een goede gewasproductie te realiseren. Als er veel fosfaat in de bodemoplossing aanwezig is (wat vaak de praktijk is bij percelen met een hoge fosfaattoestand), bestaat er een relatief groot risico op fosforverliezen naar het oppervlaktewater.

Verder kijkend naar de stikstof gerelateerde bodemkenmerken, is de ruimtelijke variatie in kaart gebracht voor de totale voorraad van stikstof in de bouwvoor (in g N kg⁻¹), de microbiële activiteit (mg N kg⁻¹) en de kwaliteit van de organische stof gemeten via de CN-ratio (Figuur 3.3).



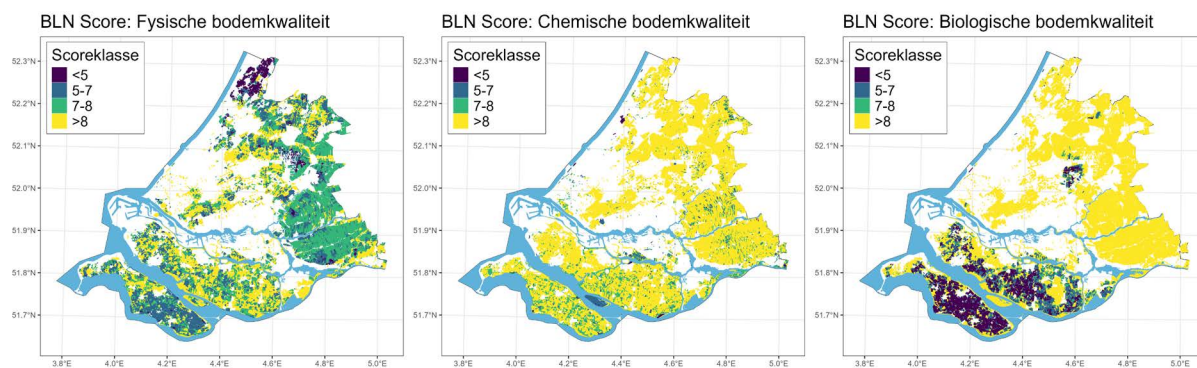
Figuur 3.3. De ruimtelijke variatie in N-totaal (mg N kg^{-1} , links), microbiële activiteit (mg N kg^{-1} , midden) en de CN-ratio van de organische stof (-, rechts) binnen PZH. De bodemdata zijn voorspeld op basis van een ruimtelijk landelijk model dat gekalibreerd is op meer dan 200.000 analyses uit agrarische meetnetten.

De totale hoeveelheid stikstof in de bodem varieert van $< 4000 \text{ mg N kg}^{-1}$ voor de zeekleigronden tot meer dan $12.000 \text{ mg N kg}^{-1}$ voor de veengronden. Voor minerale bodems (dat wil zeggen de zand- en kleibodems) neemt de natuurlijke stikstoflevering via afbraak van organische stof door het bodemleven (een proces dat mineralisatie heet) bijna lineair toe met de hoeveelheid totale stikstof in de bodem. In het landbouwkundig bemestingsadvies (gebaseerd op graslandproeven) wordt de stikstoflevering uit minerale bodems geschat op minimaal 70 kg N ha^{-1} , en elke gram stikstof per kilogram grond zorgt voor een extra stikstoflevering van 30 tot 35 kg N ha^{-1} . Voor akkerbouwgronden kan de stikstoflevering vanuit de bodem zelf variëren tussen 75 en 150 kg N ha^{-1} . Veengronden zijn van nature rijk aan stikstof: het landbouwkundig advies stelt bijvoorbeeld dat er gemiddeld meer dan 250 kg N ha^{-1} vrijkomt voor gewasopname via natuurlijke afbraakprocessen. In de praktijk varieert de stikstofopname op onbemeste proefpercelen tussen 100 en 600 kg N ha^{-1} (gebaseerd op meer dan 600 bemestingsproeven op veen (Ros & van Eekeren, 2016)). Omdat deze stikstof wordt vrijgemaakt door het bodemleven, en dit bodemleven ook actief is buiten het groeiseizoen, betekent dit dat bodems met veel stikstof vaak ook bodems zijn waaruit veel stikstof uitspoelt in de winterperiode.

De afbreekbaarheid van de organische stikstof wordt bepaald via een anaerobe incubatieproef waarbij grondmonsters 10 dagen bij 40 graden Celsius worden opgeslagen onder anaerobe omstandigheden. De toename van ammonium wordt vervolgens gemeten. Deze toename geeft een indicatie van de activiteit van het microbiële bodemleven, en daarmee ook van de kwaliteit van

de organische stikstof in de bodem. Bodems met een hoge afbreekbare hoeveelheid stikstof worden gekenmerkt door een hoge natuurlijke stikstoflevering, en hogere N-verliezen gedurende de winter. Ook hier is een duidelijk patroon waarneembaar, gekoppeld aan de aanwezige grondsoort. Eenzelfde patroon is zichtbaar bij de verhouding tussen koolstof en stikstof (Figuur 3.3). De CN-ratio varieert van kleiner dan 9 tot waarden groter dan 11, met hogere waarden op veen. De hoogste afbreekbaarheid voor stikstof wordt gevonden in grasland, wat samenhangt met zowel de graszodeontwikkeling als de huidige bemestingspraktijk met drijfmest. Het organische (kool)stofgehalte onder grasland is daardoor ook hoger dan onder bouwland.

De verhouding tussen koolstof en stikstof (d.w.z. de CN-ratio) is een tweede indicator voor de snelheid waarmee organische stof kan worden afgebroken. Oude, stabiele organische stof zoals aanwezig in de bovengrond van veengronden heeft een hogere CN-ratio dan organische stof in jongere bodems. Met dierlijke mest wordt jonge organische stof aangevoerd met een relatief lage CN-ratio (variërend tussen 5 en 15) terwijl compost meer stabielere organische stof bevat. Stikstof uit organische producten wordt vastgelegd (geïmmobiliseerd) in de bodem als de CN-ratio hoger is dan 25. Bodems met een lage CN-ratio zijn relatief rijker aan stikstof en worden gekenmerkt door een hogere afbraaksnelheid. Bij een hogere afbreekbaarheid is er een groter risico op nitraatverliezen tijdens de winterperiode.

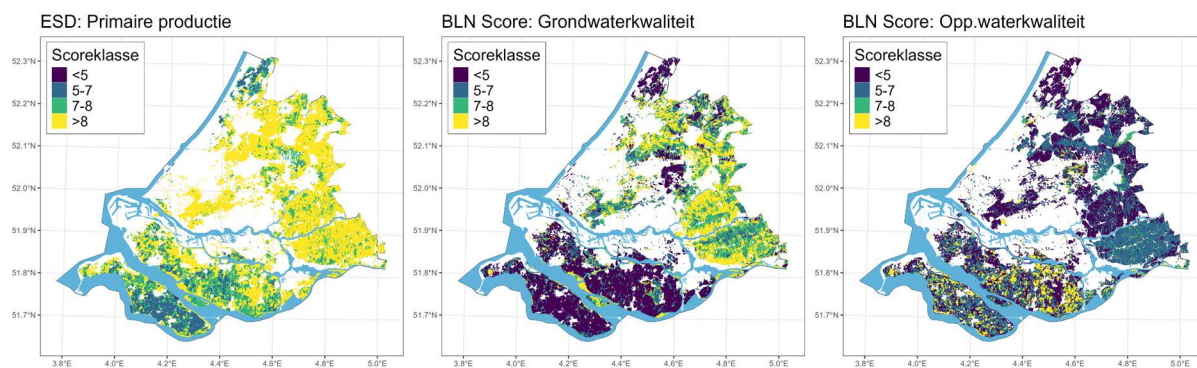


Figuur 3.4. De ruimtelijke variatie in de landbouwkundige kwaliteit van bodems in relatie tot hun functie om voldoende en gezonde gewasproductie te faciliteren, uitgesplitst naar de fysische bodemfuncties (links), chemische bodemfuncties (midden) en de biologische bodemfuncties (rechts) binnen PZH. Een score kleiner dan vijf betekent dat er serieuze bottlenecks aanwezig zijn, terwijl een score hoger dan 8 betekent dat de bodemfuncties dicht bij de gewenste streefwaarden liggen voor een duurzame en toekomstbestendige landbouwproductie.

De kwaliteit van landbouwbodems

Voortbouwend op de integrale beoordelings-systematiek van de *Open Bodemindex* (Ros et al., 2022) en het framework van de *Bodemindicatorenset Landbouwgronden Nederland* (BLN, Ros et al., 2023), is de kwaliteit van de landbouwbodems aanvullend beoordeeld in relatie tot het continueren van het huidige bouwplan voor de toekomst. Hiervoor is gekeken naar zowel de fysische, chemische als biologische bodemkwaliteit (Figuur 3.4). Hieruit blijkt dat de chemische bodemkwaliteit, dat wil zeggen alle functies gerelateerd aan het leveren van nutriënten, redelijk tot goed op orde is. Alleen in het zuiden zijn op een substantieel deel van het areaal nog enkele knelpunten aanwezig.

Voor de fysische bodemkwaliteit (Figuur 3.4, links) zijn er over vrijwel het hele landbouwgebied knelpunten aanwezig in relatie tot een eventueel tekort of overmaat aan water (leidend tot opbrengstschade), ondergrondverdichting en aggregaatstabiliteit. De biologische bodemkwaliteit lijkt prima op orde te zijn voor de moerige kleigronden en de veengronden, maar er zijn serieuze aandachtspunten voor de zeekleigronden in het zuiden van de provincie. Om de stikstofbenutting te verhogen is het belangrijk dat alle andere omstandigheden goed op orde zijn. Een gezonde bodem zorgt namelijk voor een stabiele en hoge gewasproductie, en daarmee indirect ook voor een hoge stikstofopname en lagere verliezen van stikstof naar grond- en oppervlaktewater.



Figuur 3.5. De ruimtelijke variatie in de landbouwkundige kwaliteit van bodems in relatie tot het produceren van gewassen (links), en de bijdrage van bodems om nutriënten en pesticiden vast te houden en te bufferen in het licht van de kwaliteit van grondwater (midden) en oppervlaktewater (rechts) binnen PZH. Een score kleiner dan vijf betekent dat er serieuze bottlenecks aanwezig zijn, terwijl een score hoger dan 8 betekent dat de bodemfuncties dicht bij de gewenste streefwaarden liggen voor een duurzame en toekomstbestendige landbouwproductie.

Conform de systematiek van de BLN is ook de integrale bijdrage van de landbouwbodems aan schoon grond- en oppervlaktewater in kaart gebracht, en kan deze bijdrage worden vergeleken met de bijdrage die de bodem levert aan het faciliteren van een goede en gezonde gewasproductie. Dit wordt gevisualiseerd in Figuur 3.5. In vergelijking met de bijdrage van de bodem aan gewasproductie liggen er meerdere knelpunten in relatie tot de kwaliteit van het watersysteem.

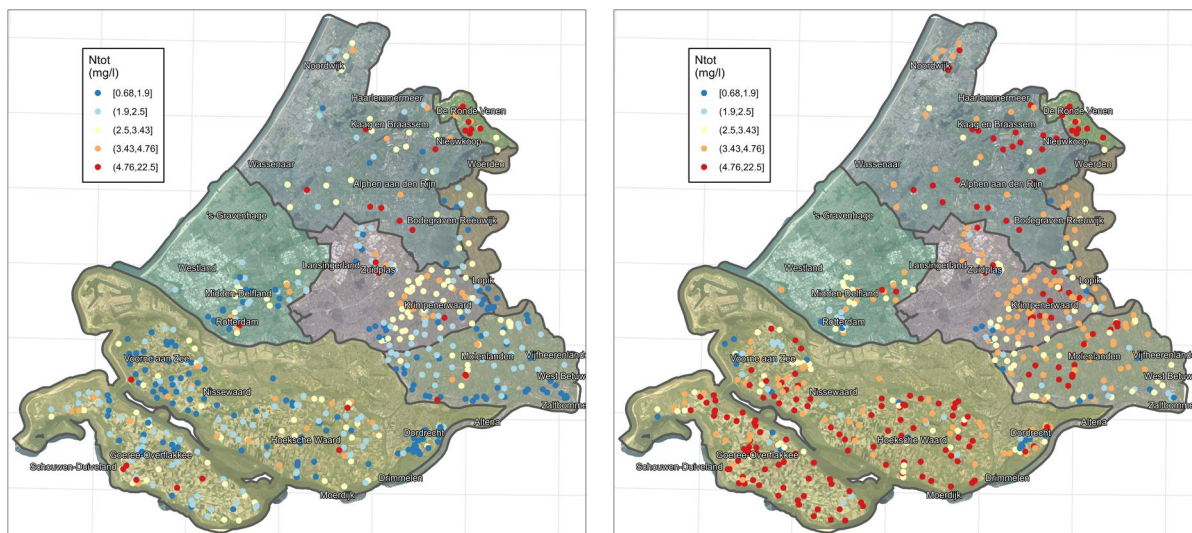
Verschillen in scores tussen grond- en oppervlaktewaterkwaliteit hangen sterk samen met het gedrag van stikstof en fosfor in de bodem. Onder natte omstandigheden (bij veen en klei) is er een groot risico op oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater. Er treedt dan weinig uitspoeling op vanwege denitrificatie, en uitspoeling van fosfor is beperkt vanwege de bindingscapaciteit van de bodem en de ondergrond. Akkerbouwmatige teelten vinden veelal niet plaats op natte en venige bodems, waardoor daar het risico op uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen beperkt is.

De relatief lage bodemkwaliteitsscores voor waterkwaliteit in vergelijking met de goede kwaliteit voor het produceren van gewassen laat zien dat vrijwel bij alle teelten en grondsoorten extra

maatregelen gewenst zijn om de belasting van het watersysteem met nutriënten te verminderen. Hiervoor zijn maatregelen inzetbaar die de hoeveelheid stikstof aan de bron verlagen (bijvoorbeeld een verlaging van de bemesting of een hogere gewasopname) of maatregelen die ingrijpen op de transportroute waarlangs stikstof uit de bodem naar het water loopt. Als laatste zijn er ook maatregelen mogelijk die ingrijpen op het gedrag van stikstof in de sloot zelf. Maatregelen die de bodemkwaliteit verbeteren, dan wel de bemestingspraktijk aanpassen in het licht van uitspoelingsrisico's, zijn zinvol om de potentiële verliezen van zowel stikstof als ook fosfor te verlagen.

Ruimtelijke variatie in waterkwaliteit voor stikstof

Ruimtelijke informatie over stikstofconcentraties in het oppervlaktewater wordt weergegeven in Figuur 3.6 voor zowel het zomer- (links) als het winterhalfjaargemiddelde (rechts). De stikstofconcentraties in het winterhalfjaar zijn hoger omdat er dan beperkt gewasopname en denitrificatie optreedt in de oever en het water. Hoewel normen getoetst worden ten opzichte van zomerhalfjaarconcentraties geven winterhalfjaarconcentraties een beter beeld van de invloed van uitspoeling van N uit percelen.

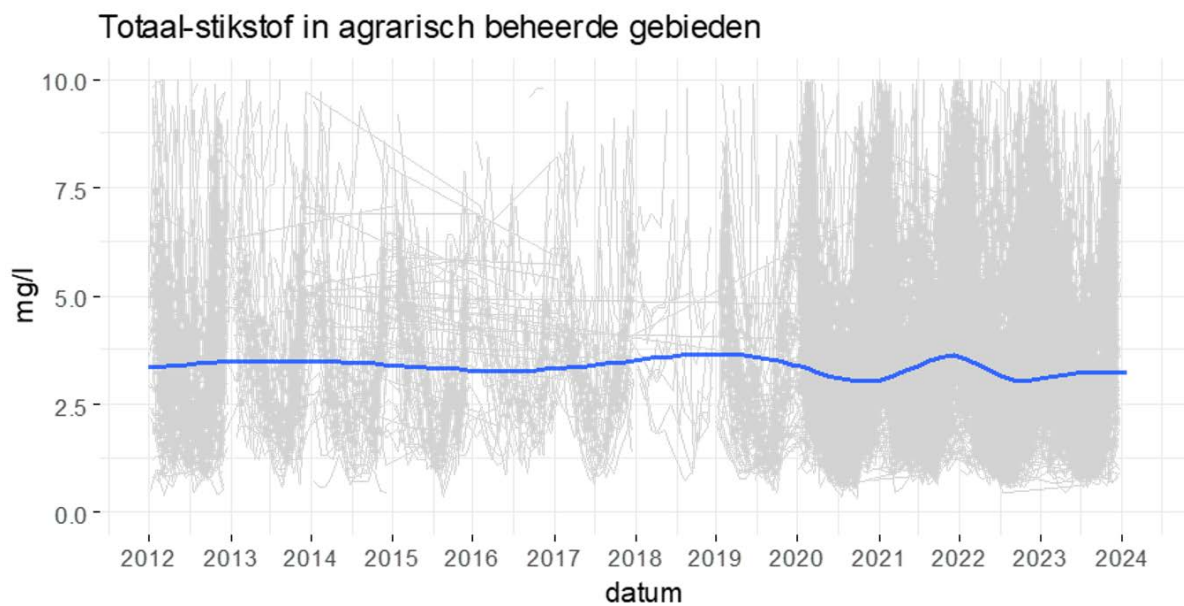


Figuur 3.6. Ruimtelijke variatie in halfjaargemiddelde stikstofconcentraties (mg/l) gemeten in de periode 2020-2023 van metingen in aan- en afvoergebieden waar ten minste 50% van het landoppervlak uit agrarisch beheerde percelen bestaan. Links het zomerhalfjaargemiddelde, rechts het winterhalfjaargemiddelde.

Uit de gebiedsanalyse blijkt dat N-concentraties in het oppervlaktewater over het algemeen hoger zijn in gebieden met een lagere grondwaterstand, diepe droogmakerijen waar veel (mariene) kwel dagzoomt en in brakke wateren met sterke wisselingen tussen zoete en brakke condities. De diepe droogmakerijen in Rijnland zijn de Polder Vierambacht, polder Nieuwkoop, Middelburg en Tempelpolder, en Polder de Noordplas. In het beheergebied van waterschap AGV zijn dat Zevenhoven; Diepe droogmakerij Delfland: Schieveen. Brakke wateren komen vooral voor bij WSHD, maar ook bij HHNK. In het beheergebied van Hollandse delta worden hogere N-concentraties gemeten dan bij de overige waterschappen. De recente bronnenanalyse van WENR (Schipper et al., 2025) laat zien dat het grootste deel van dit stikstof afkomstig is uit landbouwbodems. De lagere N-concentraties worden vooral waargenomen in het groengebied tussen de drie grote steden, de natuurgebieden de Nesse en Berkwoude en nabij de bebouwde gebieden in de Krimpenerwaard en Alblasserwaard.

Meetpunten die buiten agrarisch beheerde af- of aanvoergebieden liggen, zoals geïsoleerde plassen, zijn buiten beschouwing gelaten aangezien deze gebieden geen of een erg zwakke relatie hebben met landbouwuitspoeling. Bij HHSK zijn dit o.a. Zevenhuizerplas, Bergse Plassen, Kralingse plas, Lage Bergse Bos, Hoge Bergse Bos, Bleiswijkse zoom, de Eendragtspolder-roeibaan en de stedelijke gebieden. Bij Rijnland is dit o.a. Broekvelden Vettenbroek, Reeuwijkse plassen, grote delen van de Gouwepolder, de Nieuwkoopse plassen en de boezem.

Zowel totaal-N als nitraat en ammonium laten geen trend zien in de afgelopen 10 jaar gemiddeld over de aanwezige meetpunten in de provincie (Figuur 3.7). Er is wel een duidelijke seizoenfluctuatie te zien, met hogere concentraties in de winter.



Figuur 3.7. Stikstofconcentraties (mg/l) in agrarisch beheerde gebieden. Lichtgrijze lijnen zijn metingen op één meetlocatie, de blauwe lijn is de trendlijn van alle meetlocaties samen.

Ruimtelijke variatie in N depositie

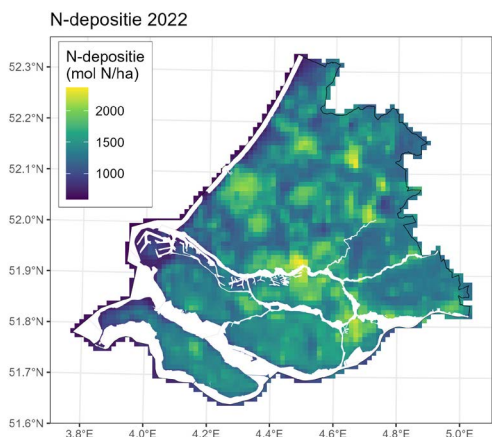
Er zijn dertien Natura 2000-gebieden die (deels) in de PZH liggen. In ieder natuurgebied komen verschillende habitattypen dan wel leefgebieden voor. Voor ieder habitatype/leefgebied is vastgesteld wat de maximale stikstofdepositie is waaronder dit type gehandhaafd kan worden. Dit is de kritische depositie waarde. De laagste kritische depositie waarde per natuurgebied varieert van 714 tot 1429

mol N ha⁻¹ jaar⁻¹ (ZH-PLG, 2022). In 2022 varieerde de gemiddelde depositie van 837 tot 1466 mol N ha⁻¹ jaar⁻¹. Het grootste deel van de neergeslagen stikstof is afkomstig uit het buitenland (30-60%) gevolgd door de landbouw (20-50%), met uitzondering van de veenweide gebieden “Nieuwkoopse Plassen & De Haeck” en “Lingebied en Diefdijk Zuid”, waar landbouw de grootste depositie bron is, gevolgd door het buitenland (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Gemiddelde jaarlijkse stikstofdepositie en herkomst in 2022 op Zuid-Hollandse natuurgebieden (Marra et al., 2024). De meest kritische KDW is afgeleid uit de factsheet stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden (ZH-PLG, 2022).

Natuurgebied	Gem. depositie mol N ha ⁻¹ jaar ⁻¹	Meest kritische KDW	Land- bouw	Industrie	Vervoer & overig	Werk- verkeer	Scheep- vaart	Overig	Buiten- land
Nieuwkoopse Plassen & De Haeck	1126	714	47	3,0	2,5	6,8	5	4,3	31
Lingegebied en Diefdijk Zuid	1669	1071	54	2,7	1,8	6,7	4,1	3,4	28
Kennermerland-Zuid	1057	714	29	4,6	3,2	7,2	8	6,6	41
Coepelduynen	991	1071	27	3,5	3,6	7,0	8	7,7	43
Meijndel & Berkheide	1065	714	25	3,7	3,1	8,0	8,7	7,7	44
Solleveld & Kapittelduinen	1256	714	26	4,4	3,1	5,7	12	7,0	42
Westduinpark & Wapendal	1388	714	29	3,1	2,8	6,5	8,3	14	37
Voornes Duin	1466	714	27	3,9	2,5	5,0	11	3,7	47
Duinen Goeree & Kwade Hoek	935	714	26	2,8	1,7	3,8	8,1	2,2	55
Grevelingen	936	1071	26	2,9	1,7	3,8	7,8	2,0	56
Biesbosch	1201	1286	38	3,5	2,0	6,4	6,5	3,4	40
Voordelta	837	1429	20	3,1	1,9	4,4	9,3	2,1	59
Krammer-Volkerak	1186	1000	32	3,0	1,6	4,9	7,3	2,0	49

Er is aanzienlijke variatie in het voorkomen van stikstofdepositie binnen provincie Zuid-Holland, samenhangend met de aanwezige landbouwsectoren (voor ammoniak) als ook het stedelijk en industrieel gebied (voor stikstofoxiden). Vooral rondom de intensief bebouwde en industriële gebieden loopt de N-depositie op tot meer dan 2000 mol stikstof per hectare (Figuur 3.8).



Figuur 3.8. De ruimtelijke variatie in de berekende stikstof-depositie (van alle bronnen) in de provincie Zuid-Holland (RIVM, 2022).

3.2 Landbouwemissies van stikstof

Om meer zicht te krijgen op het potentiële verlies van stikstof naar grond- en oppervlaktewater wordt vaak gebruik gemaakt van het zogenoemde stikstof-bodemoverschot. Het bodemoverschot wordt berekend als de aanvoer van stikstof naar de bodem minus de gasvormige verliezen uit mesttoediening minus de gewasopname via het geoogste en afgevoerde product. Omdat er op jaarbasis vrijwel geen accumulatie is van *reactief stikstof* in de bodem, zal het bodemoverschot ofwel uitspoelen naar het watersysteem ofwel worden gedenitrificeerd. Met behulp van het model INITIATOR is voor alle landbouwbedrijven in het beheergebied van provincie Zuid-Holland de N-balans van het jaar 2021 in kaart gebracht in relatie tot de aangevoerde bemesting als ook de optredende verliezen van stikstof naar lucht en water. Er is ook in kaart gebracht of en in welke mate de emissies van stikstof naar lucht en water zijn te verminderen via de inzet van maatregelen. In dit hoofdstuk presenteren we de huidige situatie. De effecten van maatregelen op N-verliezen worden weergegeven in hoofdstuk 5.4.

Het INITIATOR modelinstrumentarium

De aanvoer van stikstof en fosfaat uit dierlijke mest is ruimtelijk expliciet in kaart gebracht door gebruik te maken van de mestverdelingsmodule van het model INITIATOR (*Integrated Nitrogen Impact Assessment Tool on a Regional Scale*). Het model maakt gebruik van gedetailleerde ruimtelijke gegevens die afkomstig zijn uit nationale GIS-datasets zoals de geografisch expliciete landbouwtellinggegevens, met het aantal dieren per bedrijf (GIAB; Van Os & Kros, 2022). Belangrijke variabelen zijn: het bedrijfstype, de bedrijfsomvang, arealen per gewas en dieraantallen per diergroep. Vanaf 2011 is ook de verdeling van dieren over de nevenvestigingen en de ligging daarvan in beeld gebracht. Door deze koppeling is het mogelijk om op een hoge ruimtelijke resolutie de N- en P-excretie, stal- en opslagemissies, mest- en kunstmestverdeling, bodememissie, uit- en afspoeling en N-depositie te berekenen. Op basis van de gewasarealen en de bodemtoestand wordt de plaatsingsruimte bepaald. Dit is gebeurd op basis van de geldende N- en P-normen voor het jaar 2021. Een uitgebreide modelbeschrijving is te vinden bij de Vries et al. (2023).

Voor stikstof is de bemestingsruimte vooral afhankelijk van derogatiestatus, gewas- en bodemtype. Wanneer derogatie van toepassing is mag de hoeveelheid N uit dierlijke mest verhoogd worden van 170 kg N ha⁻¹ naar 230 á 250 kg N ha⁻¹, een situatie die tussen 2023 en 2026 echter wordt afgebouwd omdat de derogatie is ingetrokken. De totale toegestane hoeveelheid werkzaam stikstof (dierlijke mest wordt hierin gecorrigeerd voor de werkzame N) is afhankelijk van het gewas en het bodemtype. Voor fosfaat is de plaatsingsruimte afhankelijk van de P-toestand van de bodem. De vorm (dierlijk/kunstmest) is afhankelijk van de derogatiestatus van bedrijven en de beschikbaarheid van dierlijke mest.

De overschotten van stikstof en fosfaat in de bodem zijn berekend door het verschil te nemen tussen de aanvoer (via dierlijke/ kunstmest en compost) en de opname van het gewas. Deze overschotten dragen voor een deel bij aan de opbouw van stikstof in de bodem omdat een deel van de stikstof in dierlijke mest in organische vorm aanwezig is en minder reactief is dan kunstmest. Deze organische stikstof kan later via afbraak door het bodemleven weer beschikbaar komen voor gewasopname of deels verloren gaan via uitspoeling en emissies. Omdat er op lange termijn geen structurele opbouw

plaatsvindt van reactief stikstof in de bodem afkomstig uit meststoffen, beschouwen we in de huidige studie alle overschotten als een potentieel verlies van stikstof. Dit uitgangspunt wordt ook gebruikt in de onderbouwing van de gebruiks-normensystematiek in Nederland. Voor het N-bodemoverschot wordt in INITIATOR wel onderscheid gemaakt tussen het bodemoverschot in werkzame stikstof (N_{wz} , de N die ook daadwerkelijk kan uitspoelen) en de totale hoeveelheid N waarvan een deel dus organisch is (N_{tot}). Werkzame N is stikstof die in het jaar van toediening door een gewas kan worden opgenomen, en bestaat uit ammonium en nitraat. Het bodemoverschot voor N_{wz} is daarmee de totale aanvoer van N_{wz} minus de gewasopname. Voor het bepalen van de N-werkingscoëfficiënt van dierlijke meststoffen (het deel van de totale N dat beschikbaar komt voor gewasopname) wordt aangesloten bij gangbare coëfficiënten zoals deze gebruikt worden in de in Nederland geldende bemestingsadviezen.

In deze studie focussen we ons op de ruimtelijke variatie in bemesting, gewasopname en bodemoverschotten. De fluxen zijn hierbij in beeld gebracht als jaargemiddelde. Voor gebiedsgericht maatwerk is het nodig om de 'hotspots' en 'hot moments' van nutriëntenverliezen in het gebied goed te kennen om daarmee gerichte en effectieve maatregelen te kunnen nemen (Rozemeijer et al, 2018). Waar hotspots sterk samenhangen met de perceelskenmerken (landgebruik, grondsoort, diepte grondwater) en de daaraan gekoppelde bemestingspraktijken, is het voorkomen van 'hot moments' sterk afhankelijk van het weer en de timing van bemesting.

Voor wat het weer betreft, treden verliezen van stikstof vooral op in de winterperiode omdat er dan sprake is van een netto neerslagoverschot en er weinig stikstof wordt opgenomen door groeiende gewassen. Op klei- en veengronden kan daarnaast ook stikstof naar het oppervlaktewater afspoelen en uitspoelen rondom piekbuien waarbij de hoeveelheid neerslag groter is dan de waterberging in het bodemprofiel. Hierbij is het voorkomen van afspoeling en ondiepe uitspoeling groter op percelen met een hoge grondwaterstand. Zowel continue metingen als maandelijkse meetseries laten zien dat stikstof voornamelijk in het winterseizoen uitspoelt (Lukacs et al., 2022). Op basis van continue metingen in de Lage Vaart (Flevoland) bleek naast de invloed van neerslag ook een effect van vorst aanwezig

(lagere nitraatuitspoeling) en van vroegtijdige mesttoediening (ver voor de periode van gewasopname, met als gevolg een hogere nitraatuitspoeling). Ook concentratiepieken voor ammonium kunnen gerelateerd zijn aan voorjaars-bemesting, maar het risico hierop is beperkt. Gedurende de groeiperiode van gewassen is het risico op stikstofverliezen relatief beperkt omdat de gewasverdamping veelal groter is dan de hoeveelheid neerslag, en stikstof relatief snel wordt opgenomen door het groeiende gewas (uitgaande van een goede bemestingspraktijk) dan wel wordt vastgelegd in het bodemleven. Uitzonderingen zijn grote piekbuien net na het moment van bemesten. Het risico op verliezen van stikstof uit de landbouwbodem als gevolg van piekbuien is te beperken door het volgen van de zogenoemde vier juistheden van bemesting: kies de juiste meststof, dien deze op het juiste moment op de juiste plek in de juiste hoeveelheid toe. Meststoffen variëren namelijk in de gevoeligheid voor uitspoeling (ureum en ammonium spoelen niet uit en nitraat wel), en het splitsen van de gift over meerdere momenten verlaagt het risico van uitspoeling. Door een N-residu meting voor of tijdens het groeiseizoen te nemen én de bemesting daarop aan te passen, kan ook het risico op stikstofuitspoeling worden verlaagd. Naast de invloed van weer en bemesting zijn concentratieveranderingen soms ook direct te relateren aan werkzaamheden zoals maaien, baggeren, onderhoud aan duikers, stuwbeheer, overstorten en beregening (Lukacs et al., 2022). Daarnaast komen concentratiepieken in beeld die duiden op een directe lozing waar (nog) geen verklaring voor is.

Effecten van maatregelen

Met behulp van INITIATOR is in kaart gebracht wat de mogelijke effecten zijn van technische maatregelen (huisvesting, diervoeding, bemesting, bodembeheer en gewasbeheer) om de verliezen van stikstof naar het milieu te beperken (de Vries et al., 2023). Hierbij is uitgegaan van de maximale impact van maatregelen voor zover deze afgeleid konden worden vanuit wetenschappelijke studies. Hieruit bleek dat de emissie gemiddeld voor heel Nederland

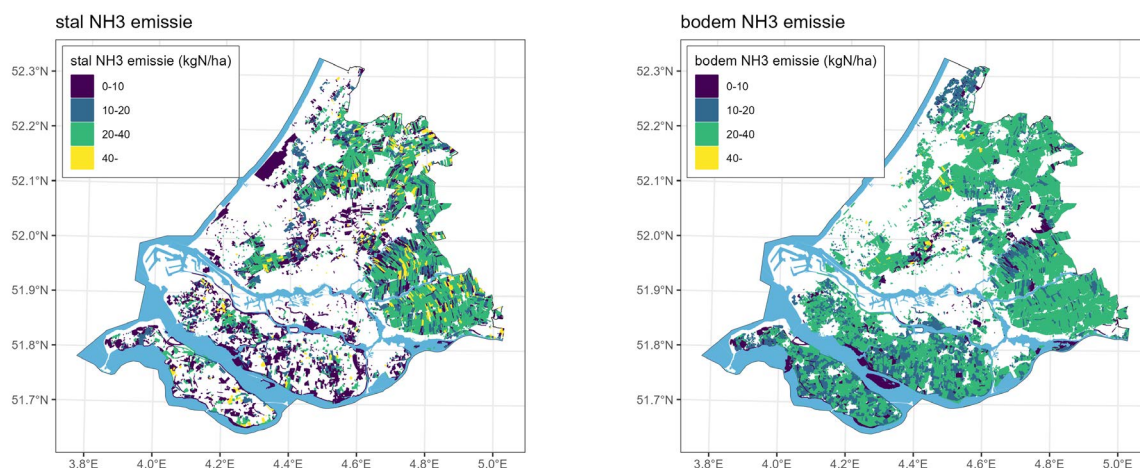
kon worden verlaagd met 53% voor ammoniak. De berekende emissiereductie voor ammoniak kan 5-15% hoger zijn zodra de toedieningsemissies verder worden verlaagd via grootschalige uitrol van diepe injectie (dat wil zeggen het injecteren van mest op 15-20cm onder maaiveld) of via het aanzuren van mest dan wel de inzet van vergisting (Ros et al., 2025). Uiteraard betekent dit ook dat daarmee de totale stikstofbemesting omlaag gaat; een hogere efficiëntie van meststoffen gaat samen met een lagere gift. De resultaten van deze berekening worden beschreven in sectie 5.4. Een gedetailleerde omschrijving van de onderliggende aannames per maatregel wordt gegeven in de Vries et al. (2023), waarbij een verdere specificering van maximaal haalbare en realistische doelen wordt gegeven in de publicaties van Ros et al. (2025bc). Gedetailleerde factsheets per maatregel, met daarbij een inhoudelijke beschrijving en een beoordeling van effecten en kosten wordt gegeven in de publicatie van Ros et al. (2025b).

Stikstofemissies per bedrijf

Op basis van de bedrijfseigen gegevens qua dieraantallen, staltypes, landgebruik en grondsoort is in kaart gebracht hoe groot de ammoniakemissie is (Figuur 3.9). Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar de stalemissie en de emissie die optreedt bij de toediening van mest. De stalemissie is in het zuiden van de provincie grotendeels lager dan 10 kg N-NH₃ ha⁻¹ terwijl de emissie uit mesttoediening op kan lopen tot 20 - 40 kg N-NH₃ ha⁻¹. Dit is kenmerkend voor een akkerbouwteelt⁴, en de emissie ligt onder de maximale toelaatbare normen⁵ in het licht van de landelijke doelstellingen waarmee het mogelijk is om de N-depositie op 74% van alle stikstofgevoelige natuurgebieden onder de KDW te brengen. In het noordwesten van de provincie met veel melkveehouderij varieert de stalemissie tussen de 20 en 100 kg N-NH₃ ha⁻¹, en de toedieningsemissie varieert tussen de 20 en 50 kg N-NH₃ ha⁻¹. De stalemissies zijn hierbij ruimtelijk toegekend aan alle percelen die bij het desbetreffende bedrijf horen. De emissies uit zowel stallen als ook de bodem (Figuur 3.9) zijn daarom bij elkaar op te tellen.

4 Let op de eenheid van kg N-NH₃ per hectare. Veel andere studies gebruiken de eenheid ammoniak (NH₃). Bij een eventuele vergelijking met andere studies moet hiervoor worden gecorrigeerd (1 kg NH₃ = 1,21 kg NH₃-N).

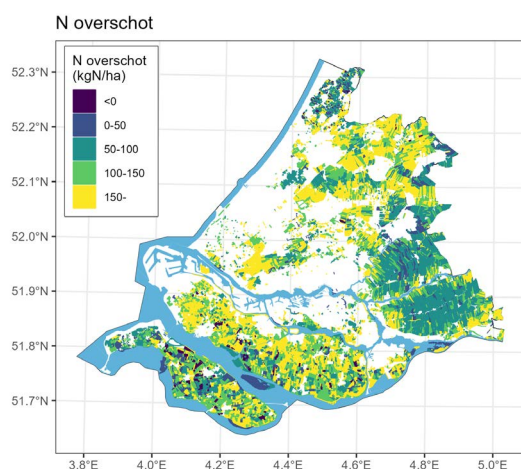
5 Hierbij wordt verwezen naar de toelaatbare normen zoals deze zijn afgeleid door Ros et al. (2023). Op basis van een sectorale verdeelsleutel gekoppeld aan het landelijke areaal is door hen in kaart gebracht wat de maximale emissie mag zijn om daarmee aan de opgave te voldoen dat 74% van alle stikstofgevoelige natuur onder de KDW wordt gebracht. Anno 2025 lopen er landelijke en regionale discussies en studies naar mogelijke alternatieven (per bedrijf, regio of sector). Conform de doelstellingen van de Stikstofwet zal desondanks de emissie sterk moeten worden verminderd om landelijk niet meer uit te stoten dan 25 tot 35 kg N-NH₃ per hectare. Ook de verdeelsleutel tussen sectoren (veehouderij en akkerbouw) is hierbij onderwerp van discussie. In provincie Zuid-Holland is er gekozen voor een indicatief emissieplafond van 35-45 kg NH₃/ha voor de melkveehouderij, om een ambitieus maar haalbaar doel te stellen (op basis van ervaringen uit pilots en de huidige scores van bedrijven, waarbij nog maar heel weinig bedrijven in de buurt van de 40 kg/ha komen).



Figuur 3.9. De ruimtelijke variatie in de berekende NH_3 -emissie uit stallen (links) en na toediening van dierlijke mest (rechts) in de provincie Zuid-Holland.

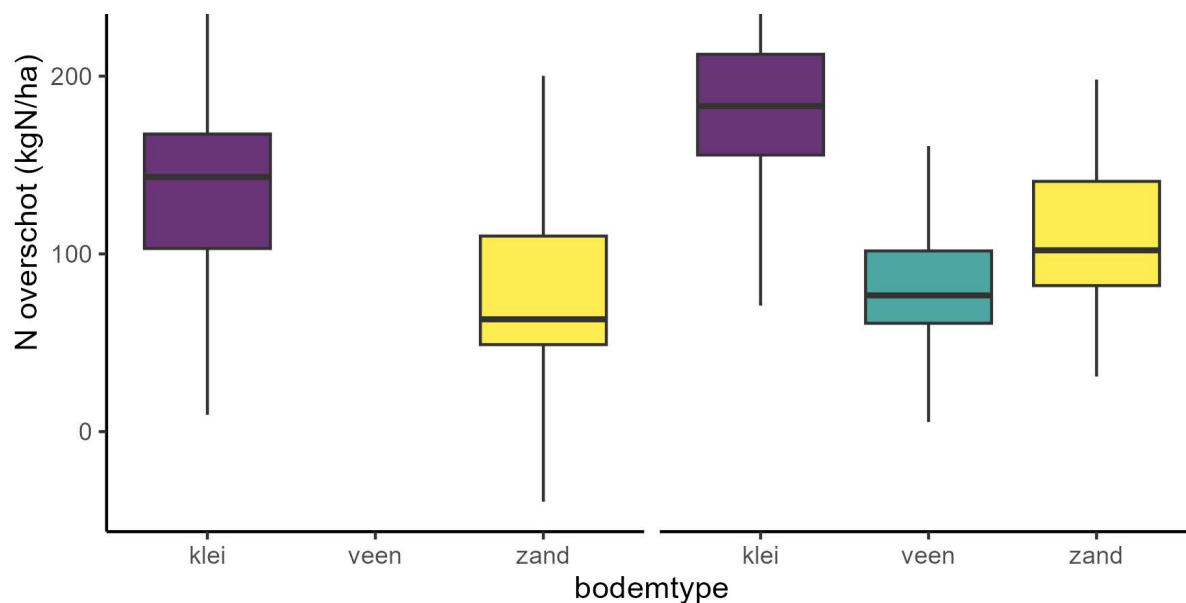
Stikstofbodemoverschotten per bedrijf

Nitraatuitspoeling ontstaat als er meer stikstof wordt gegeven dan een gewas opneemt en er sprake is van een netto neerslagoverschot. Het verschil tussen de aangevoerde stikstof via meststoffen (en depositie en fixatie) en afgevoerde stikstof (via gewasopname en ammoniakverliezen) wordt ook wel het stikstofbodemoverschot genoemd. Gerichte sturing op een lager stikstofbodemoverschot is nodig om de nitraatuitspoeling naar het grondwater te verlagen (Ros et al., 2021). Om inzicht te geven in de potentiële N-verliezen naar grond- en oppervlaktewater is voor alle bedrijven in kaart gebracht wat het N-bodemoverschot is. Deze resultaten worden weergegeven in Figuur 3.10.



Figuur 3.10. De ruimtelijke variatie in het berekende N-bodemoverschot in de provincie Zuid-Holland.

Het N-bodemoverschot varieert sterk met de laagste overschotten in het oostelijk weidegebied (met overschotten kleiner dan 50 kg N ha^{-1}) en de hoogste overschotten in het zuiden en noorden ($>150 \text{ kg N ha}^{-1}$) van de provincie. Het N-bodemoverschot varieert ook tussen sectoren en tussen bodemtype (Figuur 3.11). De mediaan waarden van het N-bodemoverschot voor akkerbouwbedrijven zijn 48 kg ha^{-1} op zand, 123 kg ha^{-1} op klei, en 141 kg ha^{-1} op veen. Op melkveehouderbedrijven liggen de mediaan waarden 73 kg ha^{-1} op zand, 154 kg ha^{-1} op klei, en 52 kg ha^{-1} op veen. Ter vergelijking, gemiddeld over heel Nederland varieerde van 2020-2022 het N-bodemoverschot op het grootste deel van de akkerbouwbedrijven tussen 91 en 114 kg ha^{-1} op zand en tussen 106 en 128 kg ha^{-1} op klei (Agrimatie, 2024). Op melkveehouderijbedrijven is eenzelfde variatie zichtbaar: $100 - 170 \text{ kg N ha}^{-1}$ op zand, $126 - 212 \text{ kg N ha}^{-1}$ op klei en $106 - 148 \text{ kg N ha}^{-1}$ op lössgrond. De grote variatie in dit bodemoverschot, zowel in Nederland als binnen de provincie Zuid-Holland, laat zien dat de stikstofverliezen sterk kunnen variëren per bedrijf en dat er daarmee dus ook mogelijkheden zijn om deze verliezen te beperken. Dit wordt bevestigd door meerdere modelstudies en metingen in het veld (van Dijk & Ros, 2022).

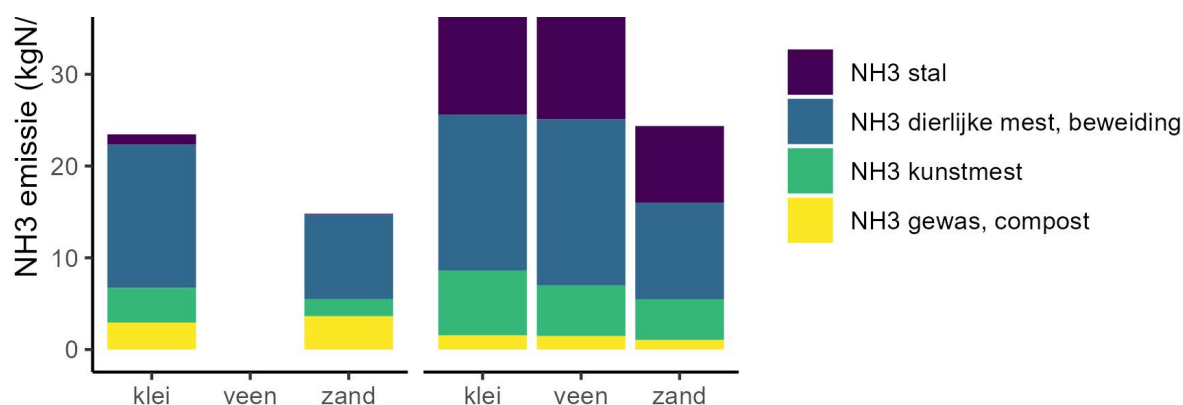


Figuur 3.11. N bodemoverschot (kg N ha^{-1}) in de provincie Zuid-Holland, apart weergegeven per sector (akkerbouwbedrijven (akker) en melkveehouderbedrijven (mvh) en bodemtype (klei, veen, zand). In een boxplot wordt de mediaan aangegeven door de zwarte lijn in de boxplot, de box zelf vertegenwoordigd 50% van de data tussen Q1 en Q3, de whiskers (zwarte lijn) zijn 1,5* interquartile range. Akkerbouwbedrijven op veen zijn uitgesloten omdat dit slechts 0,4% van het totale areaal beslaat.

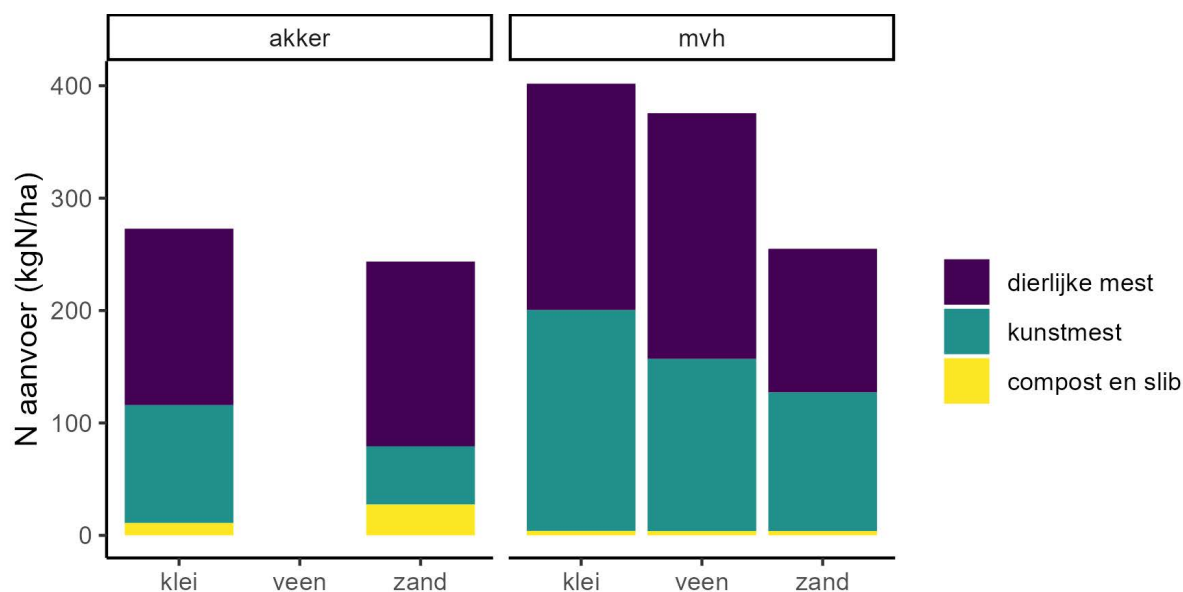
Stikstofverliezen naar lucht en naar het watersysteem

Stikstof die in de vorm van ammoniak in de lucht terechtkomt, veroorzaakt milieuproblemen. Een deel van de ammoniakemissie is afkomstig van de stal, een ander deel van de bodem via bijvoorbeeld

het uitrijden van mest of beweiding. Ammoniakemissie vanuit de stal is vooral hoog voor melkveehouderij, maar ammoniakemissie vanuit de bodem is ook hoger voor melkveehouderij dan akkerbouw (Figuur 3.12).



Figuur 3.12. Ammoniakemissie vanuit bodem en vanuit stal (kg N ha^{-1}) in de provincie Zuid-Holland, gemiddeld per sector (akkerbouwbedrijven en melkveehouderijbedrijven) en bodemtype (klei, veen, zand). Akkerbouwbedrijven op veen zijn uitgesloten omdat dit slecht 0,4% van het totale areaal beslaat.

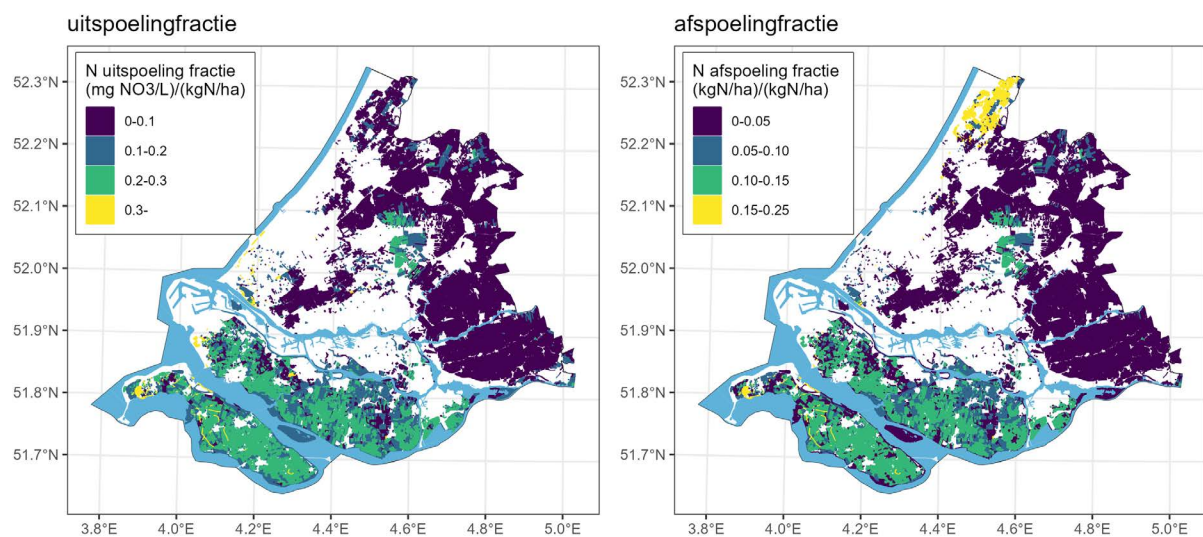


Figuur 3.13. Stikstofaanvoer (kg N ha^{-1}) in de provincie Zuid-Holland, gemiddeld per sector (akkerbouwbedrijven en melkvee-houderijbedrijven) en bodemtype (klei, veen, zand). Akkerbouwbedrijven op veen zijn uitgesloten omdat dit slechts 0,4% van het totale areaal beslaat.

De relatief hogere ammoniakemissie van kleigronden dan van zandgronden wordt veroorzaakt door een hogere stikstofaanvoer per hectare als gevolg van de hoger toegestane hoeveelheid stikstof in het landbouwkundig bemestingsadvies (Figuur 3.13). Dit leidt tot een hoger N-bodemoverschot voor kleigronden dan voor zandgronden, en dus ook tot een hogere NH_3 -emissie en een hoger N-bodemoverschot. Ook de hogere pH van kleigronden kan hierbij een rol spelen: de ammoniakemissie neemt toe bij hogere pH.

Het N-verlies naar water is nauw verbonden met het N-bodemoverschot, d.w.z. de hoeveelheid N die in de bodem achterblijft na gewasoogst en na gasvormig verlies via ammoniak. De mate waarin N uitspoelt en afspoelt naar het watersysteem hangt echter ook af van het bodemtype, het gewastype en de grondwaterstand. Onder natte omstandigheden spoelt er minder nitraat uit naar het grondwater omdat er meer stikstof denitrificeert en er een hoger risico is op afspoeling. Onder grasland spoelt ook minder nitraat uit dan onder akkerbouwgewassen omdat gras een intensief wortelstelsel heeft en een langere opnameperiode. Zandgronden zijn bovendien gevoeliger voor uitspoeling dan klei- of veengronden door een hogere infiltratiesnelheid van regenwater.

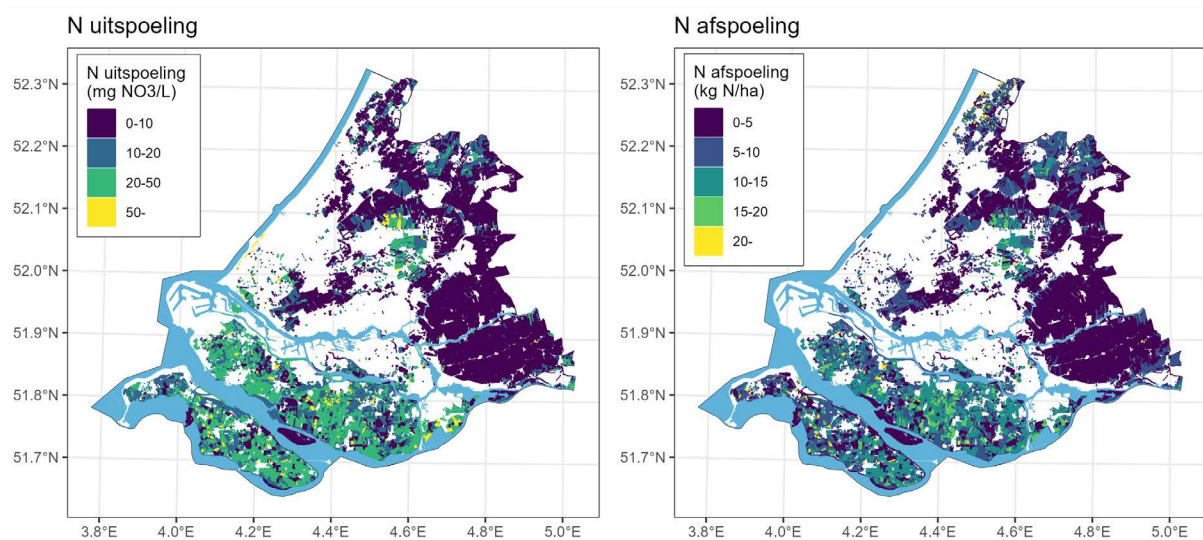
Op basis van het landelijke model STONE (Groenendijk et al. 2016) werd de gevoeligheid van N-uitspoeling en N-afspoeling berekend als functie van het N bodemoverschot. Op basis van dit model werd de zogenaamde uitspoelingsfractie (d.w.z. de fractie van het N-overschot in de bodem die uitspoelt naar het grondwater, uitgedrukt als $\text{mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ per kg N overschot ha^{-1}) en afspoelingsfractie (d.w.z. de fractie van het N-overschot in de bodem die afspoelt naar het oppervlaktewater: kg N ha^{-1} per kg N overschot ha^{-1}) gekwantificeerd (Figuur 3.14). De uitspoelingsfractie is over het algemeen hoger voor droge bodems, voor zand- dan kleibodems, en voor akker- dan grasland. De afspoelingsfractie is ook relatief hoger voor zandbodems en akkerland, en voor matig natte omstandigheden. In de Provincie Zuid-Holland is het risico van N-verlies naar het watersysteem groter in het rivier- en zeekleigebied waar de grondwaterstand laag is. In veengebieden is het risico op uitspoeling en afspoeling relatief laag.



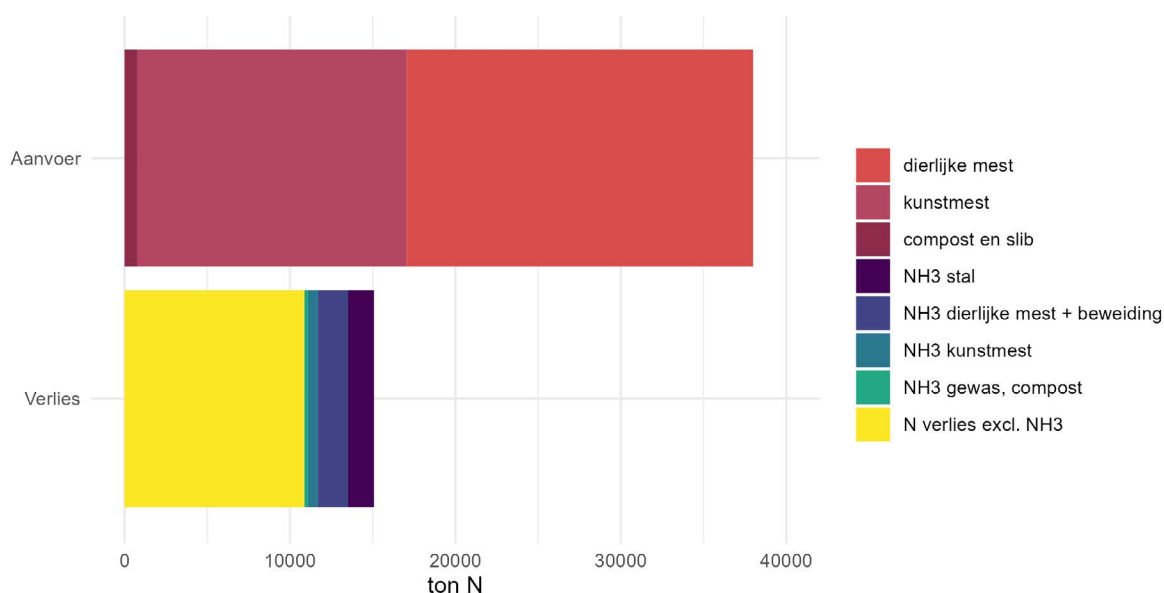
Figuur 3.14. Ruimtelijke variatie van uitspoelingsfractie (links) en afspoelingsfractie (rechts) in de provincie Zuid-Holland, berekend op basis van grondwaterstand, grondsoort en gewastype.

Op basis van de uitspoelings- en afspoelfractie en het N bodemoverschot werd de hoeveelheid stikstof die uitspoelt en afspoelt in de provincie geschat (Figuur 3.15). Bij de meeste percelen (99%) ligt de N-uitspoeling naar het grondwater onder de norm van $50 \text{ mg NO}_3/\text{L}^{-1}$. Zowel uitspoeling als afspoeling

zijn relatief hoog in kleibodems in het rivieren-gebied als gevolg van een lage doorlatendheid, de aanwezigheid van drains en een matig tot hoog N-bodemoverschot.



Figuur 3.15. De ruimtelijke variatie in geschatte N-uitspoeling (links) en N-afspoeling (rechts) in de provincie Zuid-Holland, berekend op basis van N-bodemoverschot en uit- en afspoelingsfractie.



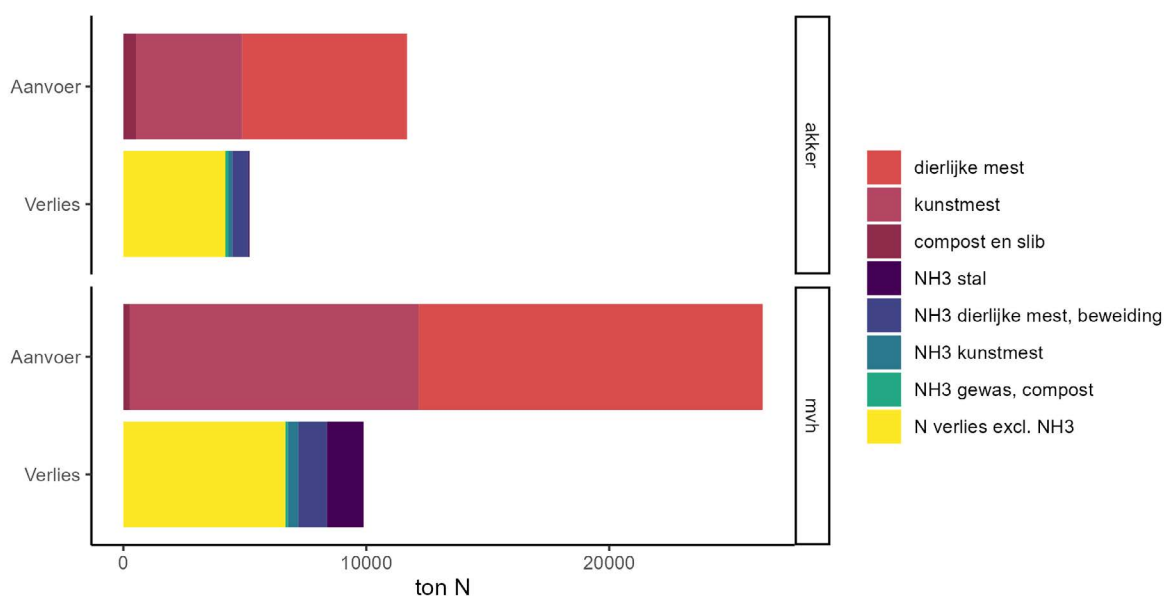
Figuur 3.16. Stikstofaanvoer en -verlies van de provincie Zuid-Holland.

Stikstofbalans provincie Zuid-Holland

De berekende totale stikstofaanvoer in de provincie op landbouwbodems bedraagt 37.993 ton, waarvan 55% afkomstig is van dierlijke mest, 43% van kunstmest en 2% van compost en slib (Figuur 3.16). Het totale stikstofverlies bedraagt 15.079 ton, waarvan 72% verloren gaat naar de bodem (en vandaar naar lucht en water verplaatst), 10% via ammoniakemissie uit stallen en 18% via ammoniakemissie na mesttoediening. Het landelijke stikstofverlies vanuit landbouw in 2021 was ongeveer 290 miljoen kg (CBS, 2023). Het landbouwareaal van de provincie Zuid-Holland beslaat ca. 6% van het nationale landbouwareaal. Dit komt in de orde van

grootte overeen met de procentuele bijdrage van de provincie aan het N-verlies (ca. 5,2%).

Van de totale stikstofaanvoer is 26.317 ton (69%) afkomstig uit de melkveehouderij en 11.677 ton (31%) uit de akkerbouw (Figuur 3.17). Aangezien melkveebedrijven ongeveer 61% van het totale landbouw-opervlak beslaan, is de bijdrage per hectare hier hoger dan bij de akkerbouw. Het totale stikstofverlies bedraagt 9.886 ton (66%) voor de melkveehouderij en 5.192 ton (34%) voor de akkerbouw (Figuur 3.17). Ook hier is de bijdrage per hectare iets hoger bij melkveehouderijen dan bij akkerbouwbedrijven. Wat betreft het verlies van stikstof via ammoniak komt het grootste deel (76%) vanuit melkveebedrijven.



Figuur 3.17. Stikstofaanvoer en verlies van de provincie Zuid-Holland, afzonderlijk weergegeven voor akkerbouw- (boven) en melkveehouderijbedrijven (onder).

4. De opgaven in beeld

Leeswijzer. In dit hoofdstuk worden de stikstof-opgaven gekwantificeerd en in beeld gebracht voor waterkwaliteit van oppervlaktewater (4.1.1) en grondwater (4.1.2) als ook voor terrestrische natuur (4.2). Hiervoor is gebruik gemaakt van de berekende reductie in de stikstofbelasting naar het water om daarmee de doelen voor de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn te realiseren. Voor de terrestrische natuur is gebruik gemaakt van de met Aerius berekende depositie op stikstofgevoelige N2000-gebieden in de provincie Zuid-Holland.

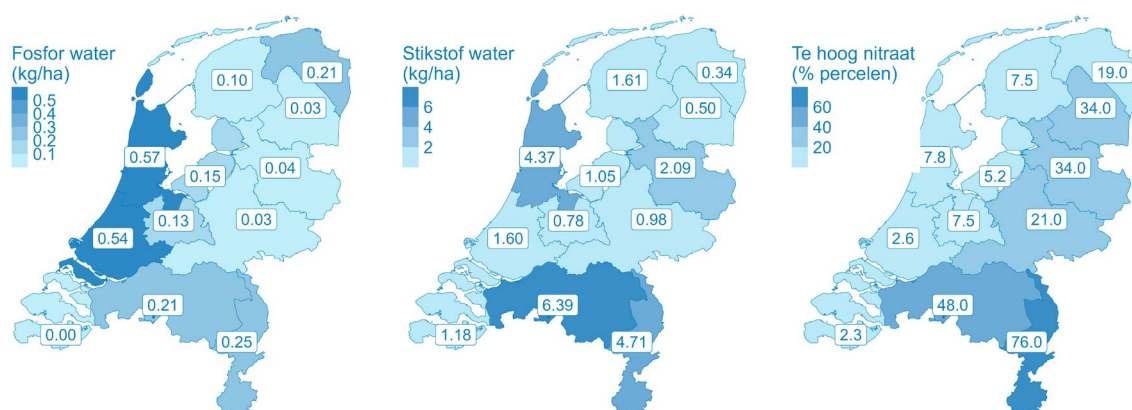
De opgave. De benodigde reductie van stikstofafspoeling naar het oppervlaktewater is minder dan 2 kg N ha^{-1} terwijl de nitraatuitspoeling naar het grondwater vrijwel nergens wordt overschreden. De stikstofopgave voor waterkwaliteit is daarmee beperkt. Daarbij komt dat in het grootste deel van het oppervlaktewater veel fosfor aanwezig is, waardoor stikstofmaatregelen minder bijdragen aan het reduceren van algen en/of kroos.

Stikstofdepositie vormt een uitdaging voor stikstofgevoelige natuur en vereist daardoor een reductie van uitstoot ook al is de bijdrage ervan aan de depositie op de stikstofgevoelige natuur binnen de provincie beperkt. Vanuit landelijk beleid (lees: de stikstofwet) is een halvering van stikstofuitstoot gewenst.

4.1 Waterkwaliteit en stikstof

De opgaven voor stikstof

De landelijke opgave voor zowel grond- als oppervlaktewater zoals deze door het ministerie van LVVN werd gedefinieerd in de context van het Nationaal Programma Landelijk Gebied, hierbij geaggregeerd per provincie, wordt hieronder weergegeven (Figuur 4.1). Rechts wordt aangegeven bij welk deel van de landbouwpercelen het nitraatgehalte van 50 mg nitraat per liter wordt overschreden: dit varieert van 2 tot 76%, waarbij de hoogste uitspoeling voorkomt in het Zuidoosten van Nederland.



Figuur 4.1. De gemiddelde opgave voor de landbouw gespecificeerd voor de benodigde reductie in belasting naar het oppervlaktewater voor fosfor (links) en stikstof (midden) als ook het percentage percelen waarbij de nitraatnorm wordt overschreden (rechts). Bron: Gies et al. (2023b).

Voor de provincie Zuid-Holland komt dit slechts in 2,3% van de percelen voor. Het risico op nitraatuitspoeling is daarom gering. Voor de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater moet de belasting van het oppervlaktewater met 0,03 tot 0,57 kg P ha⁻¹ (4-60%) en 0,3 tot 6,4 kg N ha⁻¹ (3-59%) dalen, waarbij de gewenste daling relatief laag is in de provincie Zuid-Holland voor stikstof.

4.1.1 Stikstof in oppervlaktewater

In het zomerhalfjaar in de periode 2017-2022 was, landelijk gezien, de grootste landbouwkundige bron van stikstof in oppervlaktewater de actuele mestgift, gevolgd door bodemlevering en kwel (Schipper et al., 2025). Gebruik makend van de KRW-ECHO systematiek onderzochten Schipper et al. (2025) hoeveel de stikstofbelasting van oppervlaktewateren in Zuid-Holland af zal nemen in 2027 (het jaar waarin de KRW-doelen moeten zijn gerealiseerd). Hierbij wordt rekening gehouden met het huidige stikstof- en mestbeleid, de aanvullende geplande maatregelen voor glastuinbouw, boom- en bollenteelt en emissie prognoses van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Dit omvat maatregelen zoals de afbouw van de derogatie voor het gebruik van dierlijke mest, een mestproductieplafond, mestvrije bufferstroken, lagere N-gebruiksnormen in nutriëntenverontreinigde gebieden, maatregelen uit het zevende Nitraat Actie Programma (NAP), vrijwillige maatregelen door agrariërs welke gestimuleerd worden vanuit het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer en het omzetten van 1600 ha agrarisch grasland naar natuur in de Krimpenerwaard. Met deze maatregelen neemt de uit- en afspoeling van stikstof in de meeste gebieden met enkele procenten af. In een paar gebieden neemt de stikstof belasting licht toe door een veranderde verdeling van mestgift.

De generieke maatregelen zorgen ervoor dat er in 2027 geen restopgave voor stikstof in het oppervlaktewater is voor de landbouw in:

- Veenvaarten Nederwaard / Alblas (in waterschap Rivierenland)
- Boezem Westland, Holierhoekse en Zouteveensepolder en Zuidpolder van Delfgauw (in waterschap Delfland)

De overige gebieden blijven zitten met een restopgave. Daarom onderzochten Schipper et al. (2025) ook hoe de restopgave kan worden verkleind met aanvullende maatregelen. In het waterschap Rijnland is uit- en afspoeling van bloembollenteelt en boomteelt een belangrijke bron van stikstof.

Aanvullende maatregelen in deze teelten zijn zinvol om de emissies te verlagen, aangevuld met vrijwillige maatregelen uit het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. In elk waterschap waren er overigens overschrijdingen van de vastgestelde streefconcentratie voor stikstof. De grootste overschrijdingen waren in Hollandse Delta en Delfland.

Om de KRW-doelen te halen (en dus de restopgave in te vullen), wordt door Schipper et al. (2025) aanbevolen om in te zetten op i) het reduceren van emissies uit de glastuinbouw, ii) maatregelen die de emissies vanuit boom- en bollenteelt sterk verminderen, iii) maatregelen voor de RWZI's en de waterketen, iv) het blijven stimuleren van vrijwillige maatregelen vanuit het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (zie hoofdstuk 5) en iv) maatregelen te stimuleren die integraal bijdragen aan meerdere milieuproblemen: waterkwaliteit, biodiversiteit, natuurherstel en klimaat. Idealiter zijn dit maatregelen waarmee de af- en uitspoeling van nutriënten (en pesticiden) vermindert, de stikstof- en broeikasgasemissies vanuit landbouw naar de lucht afnemen, de retentie van water en nutriënten toeneemt door herstel van de sponswerking van bodems, het peil wordt opgezet en detailontwatering wordt geëxtensieerd.

Voor veel wateren overschrijdt de ammoniumconcentratie de huidige generieke norm, terwijl de ecologische toestand lang niet altijd slecht is. De bron van te hoge ammoniumconcentraties is onduidelijk maar lijkt samen te hangen met stikstof uit diepere bodemlagen. Een gedetailleerde tijdsanalyse uitgevoerd voor waterschap Hunze en Aa laat zien dat ammonium behoorlijk variabel is over de jaren, waarbij dag-tot-dag variatie minstens zo groot is als de variatie tussen seizoenen (Ros & Verweij, 2019). Vergelijkbare resultaten zijn te verwachten voor de situatie in Zuid-Holland. De tijdsanalyse naar het aantal piekevents bevestigt dan wel suggereert dat slordig bemesten en piekbelastingen rondom het moment van bemesten niet verantwoordelijk zijn voor hoge NH₄-concentraties in de winter. Ammonium is daarnaast een element dat sterk gebonden wordt aan bodemdeeltjes, waarna het op korte termijn (onder zuurstofrijke omstandigheden) wordt omgezet naar nitraat.

Hoge NH₄-gehalten in de winter kunnen ook de resultante zijn van interne processen in de watergang, omdat afstervende algen, bacteriën, fytoplankton en slootvegetatie zorgen voor een extra

productie van ammonium (door ammonificatie van organisch stikstof). De nattere (zuurstofloze) omstandigheden in de winter remmen nitrificatie waardoor de omzetting van ammonium wordt beperkt. Daarbij komt dat de aanvoer van NH_4 via kwel uit ondiep en dieper grondwater substantieel kan bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater, zeker in diepe droogmakerijen. Zolang de onderliggende oorzaken van (te) hoge ammoniumconcentraties niet helder zijn, is sturing op lagere concentraties via landbouw-maatregelen niet opportuun.

4.1.2 Stikstof in grondwater

Het risico op nitraatuitspoeling vanuit landbouwpercelen naar het grondwater is klein in de provincie Zuid-Holland, en hangt samen met de aanwezige grondsoorten, landgebruik en het watersysteem. Risico-locaties bevinden zich vooral op akkerbouwmatige teelten op zandige en lichte kleibodems met diepere grondwaterstanden. Op veen- en kleigronden is er vanwege de hoge denitrificatie en de beperkte uitspoeling van water weinig tot geen risico op (te) hoge nitraatconcentraties in het grondwater. Andere vormen van stikstof spoelen vrijwel niet uit.

In veel situaties zal via een goede combinatie van bodembeheer en bemesting de norm voor de kwaliteit van het grondwater worden gerealiseerd: de overschotten liggen lager dan de toelaatbare norm die is afgeleid om de kwaliteit van het grondwater te beschermen. Een toelaatbaar N-bodemoverschot kan in die context worden gedefinieerd als het verschil tussen de aangevoerde en afgevoerde stikstof per gewas(groep), grondsoort en grondwatertrap, waarmee wordt voorkomen dat het nitraatgehalte in het grondwater de norm overschrijdt. Deze toelaatbare norm⁶ varieert tussen de 50 en 125 kg N ha⁻¹. Deze norm geldt overigens alleen voor grondgebonden bedrijven, dat wil zeggen bedrijven die grond gebruiken voor de productie van landbouwgewassen. Voor het oppervlaktewater zijn deze normen minder expliciet en niet gedefinieerd op bedrijfsniveau.

4.1.3 Een kritische reflectie

Er is anno 2025 veel aandacht voor stikstof en fosfor uit de landbouw als het gaat om de kwaliteit van het oppervlaktewater. Een te sterke aandacht op deze twee stoffen kan afleiden van de benodigde integrale

systeemaanpak om de ecologische kwaliteit van het watersysteem te verbeteren. De meeste waterlichamen voldoen niet aan de gewenste ecologische waterkwaliteit, waardoor een beoordeling van nutriënten a priori nog niet aan de orde is; de nutriëntenconcentraties functioneren als een *early warning* of de ecologie wel of niet de goede kant op ontwikkelt. In 39% van alle KRW-waterlichamen worden doelen van stikstof niet gehaald, in 57% worden doelen van fosfor niet gehaald (toestandsbepaling 2024). Nederland heeft ervoor gekozen om de nutriënten op basis van het uitgangspunt van “one-in, all-in” naar Brussel te rapporteren. Dit betekent dat de status “goed” wordt gerapporteerd als of stikstof of fosfor goed scoort. Met dat uitgangspunt worden in 29% van alle waterlichamen nutriëntendoelen niet gehaald.

Ecologisch gezien is de variatie in soorten planten afhankelijk van de belasting met zowel stikstof als fosfor, naast de andere Ecologische Sleutel Factoren. Het is belangrijk om te beseffen dat de N/P ratio in het oppervlaktewater een gevolg is van nutriëntenlimitatie (en niet de oorzaak). Een hoge NP ratio kan een indicatie zijn van P-limitatie, maar ook het gevolg van zeer hoge concentraties stikstof én fosfor. Hierbij gelden de volgende aandachtspunten voor het oppervlaktewater in provincie Zuid-Holland. In de winter zijn N-concentraties hoger (geen opname) en P-concentraties lager (door minder nalevering uit de waterbodem), waardoor het gebruik van concentraties in de winter ervoor zorgt dat eventueel aanwezige N-limitatie niet altijd wordt herkend. De uitgevoerde watersysteemanalyses door het waterschap, ondersteunend aan de Stroomgebiedbeheerplannen, suggereren dat er alleen sprake is van N-limitatie in het uiterste westen van Goeree-Overflakkee (Voornes duin en bij Ouddorp), de Akerdijkse plassen en de bollenstreek. In het zuiden (Krimpenerwaard, Delfland, westen van Voorne-Putten en Goeree-Overflakkee) is sprake van co-limitatie. In het grootste deel van de wateren (circa 75%) is de NP-ratio groter dan 7, wat aangeeft dat fosfor limiterend is (ook in de zomer). In deze situatie zullen maatregelen om N-afspoeling te verminderen minder zinvol zijn voor het reduceren van algen en/of kroos.

6 Voor de afleiding van deze toelaatbare normen, zie de bijlage in het visiedocument van Ros et al. (2023). Een uitgebreidere rapportage met alternatieve normen en streefwaarden voor het N-bodemoverschot en N-residumetingen in de context van de Maatwerkaanpak Nitraatrichtlijn zal in het voorjaar van 2026 worden gepubliceerd.

Opvolgend op de theorie (zie hoofdstuk 2) leidt een overmaat aan stikstof tot verruiging van oevervegetatie. Het daadwerkelijke effect hangt samen met het uitgevoerde oeverbeheer. Verruiging is niet altijd het gevolg van bemesting, maar wordt ook veroorzaakt door maaisel en/of bagger die langs slootkanten blijft liggen. Bij een te hoge N-belasting van het watersysteem is het belangrijk om aandacht te hebben voor goed slootkantbeheer. Ook hier is een genuanceerde en integrale aanpak zinvol.

4.2 Natuurkwaliteit en stikstof

Stikstofdepositie vormt een significante uitdaging voor veel Natura 2000-gebieden in Zuid-Holland. Van de Natura 2000-gebieden in de provincie is de ruime meerderheid gevoelig voor vermesting en verzuring. De stikstofgevoelige N2000-gebieden liggen voornamelijk langs de kust en de rivieren. De Nederlandse landbouw draagt voor circa 25% bij aan de totale N-depositie op deze stikstofgevoelige natuurgebieden in Zuid-Holland (zie Tabel 5.2). Stikstofdepositie heeft verschillende negatieve effecten op de natuur. De voornaamste gevolgen zijn verzuring en vermesting. Verzuring kan schadelijk zijn voor planten en dieren die aangepast zijn aan een basische of neutrale bodem. In Kennemerland-Zuid wordt bijvoorbeeld de ontkalking van de bovengrond in de Amsterdamse Waterleidingduinen versneld door de verzurende effecten van stikstofdepositie. Dit bedreigt het voortbestaan van kalkrijke grijze duinen. Vermesting kan leiden tot een verandering in de plantensamenstelling. Soorten die van nature op voedselarme gronden groeien, worden overwoekerd door sneller groeiende, stikstofminnende soorten, zoals grassen en brandnetels. Dit resulteert in vergrassing en verstruweling van open duinvegetaties, waardoor de typische biodiversiteit van deze gebieden afneemt.

Opgave stikstofdepositie

Om de beschermde natuurgebieden in Nederland te behouden of te verbeteren, is een flinke reductie nodig van de stikstofemissie. De provincie heeft de ambitie dat de Natura 2000-gebieden in goede staat van instandhouding verkeren en er geen verslechteringen optreedt en is daar ook wettelijk toe verplicht. Daarom zet de provincie zich in om de stikstofdepositie te verminderen ten behoeve van natuurherstel. De provincie had binnen het Nationaal Programma Landelijk Gebied een concrete reductiedoelstelling om de stikstofemissie te verminderen, met als doel een emissieplafond van 2,9 kiloton ammoniak per

jaar in 2035 te bereiken. In 2021 was de jaarlijkse ammoniakemissie 5,4 kiloton. Hoewel duidelijk is dat de ammoniakemissie sterk omlaag moet om de natuurkwaliteit te verbeteren, is het landelijke beleid onvoldoende effectief voor zowel het terugdringen van emissies als het bieden van concreet toekomstperspectief aan boeren (Ros et al., 2023).

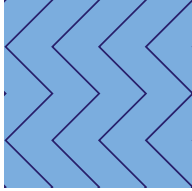
Ros et al. (2023b) doen concrete voorstellen om de opgaven in het landelijk gebied aan te pakken door middel van doelsturing op basis van normen voor een aantal zogenaamde kritische prestatie indicatoren (KPI's), te weten het stikstofbodemoverschot en emissies van ammoniak en broeikasgassen. Dit omdat i) de huidige middelsturing onvoldoende in staat is om de beoogde emissiereducties te realiseren, ii) de daadwerkelijke milieukundige impact van middelsturing staat en valt met de motivatie van boeren om de middelen ook op de juiste manier in te zetten, en er iii) veel potentie in de sector aanwezig is om de benodigde doelen te realiseren maar prikkels om dat te doen op dit moment ontbreken. De toelaatbare ammoniakemissie is berekend door de landelijke ammoniakemissie in 2018 te reduceren met 50% (~49 Gg NH₃) om daarmee ervoor te zorgen dat de depositie op 74% van de natuurgebieden onder de kritische depositiewaarde terecht komt, het juridisch bindend doel voor Nederland zoals dat in de wet is vastgelegd. De daarvoor benodigde halvering van emissie is naar rato van de emissies in 2018 toegekend aan de grondgebonden en niet-grondgebonden sectoren. De toelaatbare ammoniakemissie op basis van deze aanpak is 21,5 kg NH₃ ha⁻¹ voor grasland en mais en 16,6 kg NH₃ ha⁻¹ voor bouwland. De berekende toelaatbare emissie voor de niet-grondgebonden landbouw varieert van 0,05 kg NH₃ per dier voor pluimvee tot 1,16 kg NH₃ per dier voor vleeskalveren. In vergelijking met deze toelaatbare emissies ligt er nog een substantiële opgave voor de melkveehouderij. Wel laten Ros et al. (2023b) zien dat op provinciaal niveau de benodigde reducties voor ammoniak en broeikasgassen gemiddeld 25% lager liggen wanneer met autonome ontwikkelingen rekening wordt gehouden, zoals de uitkoop van bedrijven en het afschaffen van derogatie.

In de stikstofgevoelige Zuid-Hollandse Natura 2000-gebieden is nog ongeveer 4840 hectare met te hoge stikstof depositie (Tabel 4.1). De grootste verschillen tussen de gemiddelde depositie in een gebied en de laagste KDW in een gebied zijn te vinden in Voornes Duin (752 mol N ha⁻¹ jaar⁻¹),

Westduinpark & Wapendal (674 mol N ha⁻¹ jaar⁻¹) en Lingegebied en Diefdijk Zuid (598 mol N ha⁻¹ jaar⁻¹).
De data zijn verkregen via Aeries Monitor 2022 van het RIVM.

Tabel 4.1. Overzicht van stikstofbelasting in stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden in Zuid-Holland in 2022. Voor elk gebied is het totale oppervlak weergegeven, samen met het percentage en de absolute oppervlakte die onder de Kritische Depositiewaarde (KDW) valt (Zuid-Hollands Programma Landelijk Gebied, 2022).

Natuurgebied	Areaal	Areaal onder KDW (%)	Areaal onder KDW (ha)	Areaal boven KDW (ha)
Nieuwkoopse Plassen & De Haeck	2008	45	904	1104
Lingegebied en Diefdijk Zuid	750	71	533	218
Kennemerland-Zuid	8171	78	6373	1798
Coepelduynen	188	96	180	8
Meijendel & Berkheide	2878	82	2360	518
Solleveld & Kapittelduinen	827	69	571	256
Westduinpark & Wapendal	246	82	202	44
Voornes Duin	1432	90	1289	143
Duinen Goeree & Kwade Hoek	1624	81	1315	309
Crevelingen	13753	100	13753	0
Biesbosch	9640	96	9254	386
Voordelta	83534	100	83534	0
Krammer-Volkerak	6081	99	6020	61



5. Het handelingsperspectief in beeld

Leeswijzer. In dit hoofdstuk wordt het handelingsperspectief in beeld gebracht voor maatregelen om de effecten van stikstof op waterkwaliteit en natuurkwaliteit te voorkomen of te mitigeren. Hiervoor is gebruik gemaakt van landelijke modelberekeningen met het model INITIATOR. Hiermee zijn de effecten van deze maatregelen doorgerekend als ook van recente WUR-publicaties waarin effecten van innovaties in de veehouderij en de akkerbouw zijn beschreven. In secties 5.1 tot 5.3 worden de verschillende maatregelen voor waterkwaliteit, natuurkwaliteit en klimaat beschreven. In sectie 5.4 wordt in beeld gebracht wat de effecten zijn van deze maatregelen op de ammoniakemissie, het stikstofbodemoverschot het voorkomen van afspoeling en uitspoeling naar het watersysteem. In sectie 5.5 wordt een overzicht gegeven van praktijkervaringen vanuit lopende en recent afgeronde pilots uit de provincie Zuid-Holland. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een overzicht van kennishiaten en benodigde inzichten om het toekomstig landbouwsysteem verder te concretiseren.

Het handelingsperspectief. Er zijn veel maatregelen beschikbaar om verliezen van stikstof te beperken. Emissies naar het watersysteem vereisen veelal een verlaging van het stikstofbodemoverschot (d.w.z. het verschil tussen aangevoerde stikstof en gewasopname). Binnen het huidige mestbeleid is hierop te sturen via de zogenoemde goede landbouwpraktijk. Voor vermindering van ammoniakuitstoot naar de lucht zijn maatregelen inzetbaar gericht op de voeding van dieren (bijv. minder eiwit en meer beweiden), op de emissie in de stal (bijv. aanzuren, regelmatig schoonmaken, sproeien), en tijdens mesttoediening (bijv. aanzuren van mest, emissiearme toediening). Met het landelijk model INITIATOR is berekend dat hiermee de stikstofverliezen vrijwel zijn te halveren.

5.1 Stikstofmaatregelen voor waterkwaliteit

Om de belasting van stikstof naar het grond- en oppervlaktewater te verlagen is het belangrijk dat het verschil tussen de aangevoerde en afgevoerde stikstof (via het geoogste gewas) zo laag mogelijk is. Dit verschil wordt ook wel het stikstofbodemoverschot genoemd. Stikstof kan worden aangevoerd via dierlijke mest, organische reststromen zoals compost, slootbagger en natuurmaaisel, en kunstmest. De gewenste hoeveelheid die nodig is voor een goede gewasproductie wordt per gewas gereguleerd via stikstofgebruiksnormen voor dierlijke mest (gebaseerd op de totale N-aanvoer in deze mest) en andere meststoffen of reststromen (gebaseerd op de hoeveelheid effectieve stikstof in deze producten). De daadwerkelijke beschikbaarheid van de gegeven stikstof voor gewasopname hangt samen met het type meststof, de toedieningstechniek, het tijdstip van toedienen, het weer, en de bodemkenmerken die van invloed zijn op de denitrificatiesnelheid (en daarmee stikstof omzetten naar gasvormige verbindingen) of de uitspoelingsgevoeligheid (waarmee stikstof uit het bodemprofiel lekt naar het grondwater). Maatregelen die ingrijpen op de bemestingspraktijk of de bodemkenmerken die de beschikbaarheid van stikstof vergroten, zorgen in de periode dat het gewas groeit daarmee voor een lagere uitspoeling.

De agronomische behoefte voor stikstof is gebaseerd op gewasbehoefte én de bodemvruchtbaarheid. Het Nederlandse bemestingsadvies en het daarvan afgeleide mestbeleid zijn erop gericht om een economisch optimale opbrengst te realiseren (het gewasgericht advies) én onnodig stikstofgebruik te voorkomen. De daadwerkelijke optimale stikstofgift is van veel factoren afhankelijk welke niet allemaal verwerkt kunnen worden in de bemestingsrichtlijnen zoals: voorvrucht, bemestingsverleden, vochtvoorziening en ziektedruk. Naast maatregelen

gericht op de aanvoer van stikstof, is het ook mogelijk om de afvoer van stikstof te beïnvloeden. Concreet betekent dit dat de teeltomstandigheden optimaal moeten zijn voor een goede gewasgroei. Dit uit zich in een gezonde bodem (chemisch, fysisch en biologisch), de duurzame inzet van gewasbeschermingsmiddelen (de juiste middelen in de juiste hoeveelheid en op de juiste plek als ook het juiste moment), en voldoende berekening in tijden van droogte. Door de gewasopname van stikstof te verhogen verlaagt het N-bodemoverschot en daarmee ook de uitspoeling. Omdat de aanvoer, opname en uitspoeling van stikstof in de tijd niet synchroon lopen, betekent dit ook dat er mogelijkheden zijn om in de timing van werkzaamheden, het aantal gewassen en via de gewasvolgorde te sturen op een hogere stikstofopname vanuit het bodem-profiel.

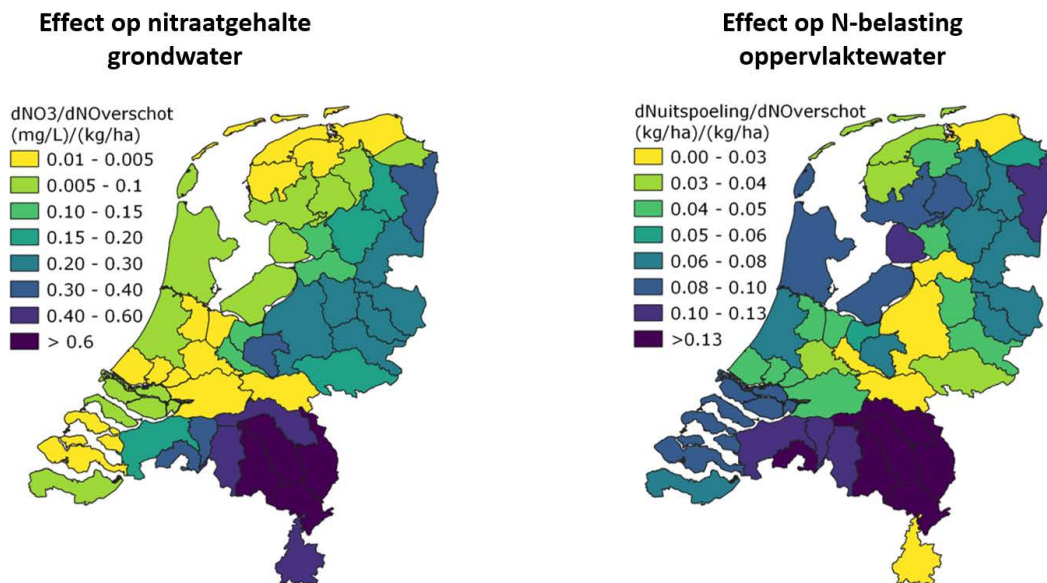
Er is als laatste ook nog een type maatregel die niet zozeer het N-bodemoverschot beïnvloedt, maar wel zorgt voor minder uitspoeling. Door bijvoorbeeld percelen natter te maken, tijdelijk via inundatie of langdurig via een verhoging van waterpeilen, zal van hetzelfde bodemoverschot een kleiner deel uitspoelen en een groter deel denitrificeren. Vanuit de literatuur zijn lange lijsten beschikbaar met potentieel inzetbare maatregelen om het N-bodemoverschot te verlagen dan wel de verliezen naar lucht en grond- en oppervlaktewater te beperken (zie Ros & de Vries, 2025c).

Maatregelen in de landbouw voor een lager N-bodemoverschot

Vanuit de literatuur is een overzicht gemaakt van maatregelen waarmee het N-bodemoverschot kan worden verlaagd om zo de nitraatuitspoeling te verminderen. Van elke maatregel is aangegeven in welke teelten deze inzetbaar is, het onderliggend sturingsmechanisme (aanvoer, afvoer of intensiteit) en de verwachte daling in het nitraatgehalte (als effectklasse, in de range en mediaan in mg NO₃ per liter). De daadwerkelijke effecten zijn uiteraard bedrijfsafhankelijk; de weergegeven effecten gelden voor het gemiddelde effect over alle grondsoorten. Wel is het zo dat de onderzochte literatuur in de praktijk een sterke focus heeft op uitspoelingsgevoelige gronden en teelten in zuidoost Nederland omdat daar nitraatuitspoeling een veel groter probleem is dan in andere gebieden in Nederland. De lijst met maatregelen is opgenomen als bijlage I.

Er zijn in totaal 42 maatregelen geselecteerd. Het grootste deel van de maatregelen (n = 27) is gebaseerd op een vermindering van de N-aanvoer bij een gelijkblijvende gewasproductie. In de praktijk betekent dit dat de stikstofgebruiksruimte niet volledig wordt benut, en dat via maatregelen de benutting van de gegeven stikstof toeneemt. Daarnaast zijn er diverse mogelijkheden (n = 5) om via het beheer van bodem en het bouwplan te zorgen voor een hoge(re) en stabiele(re) gewasopbrengst. Gekoppeld daaraan zijn er een aantal maatregelen (n=8) waarmee de intensiteit (dat wil zeggen de hoeveelheid stikstof per hectare, de benodigde N-aanvoer) wordt verlaagd, en daarmee automatisch ook de verliezen, ofwel end-of-pipe de verliesroute naar het grondwater wordt aangepast.

Een verlaging van het stikstofbodemoverschot heeft niet voor elk bedrijf hetzelfde effect. Dit wordt hieronder geïllustreerd (Figuur 5.1) voor zowel het nitraatgehalte in het grondwater (links) als de N-belasting van het oppervlaktewater (rechts), gebaseerd op modelberekeningen. Als het bodemoverschot met één kg stikstof per hectare daalt door de genomen maatregelen, dan daalt het nitraatgehalte in het grondwater met minder dan 0,1 mg NO₃ L⁻¹ in het westen en noordwesten van Nederland. De impact van de voorziene maatregelen is veel groter in het zuiden van Nederland, waar het nitraatgehalte met meer dan 0,5 mg NO₃ L⁻¹ per kg reductie in het bodemoverschot kan dalen. Ook de impact van de maatregelen op de N-belasting op het oppervlaktewater varieert sterk en kan in Zuid-Nederland oplopen tot 0,13 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹ wanneer het bodemoverschot met één kg stikstof per hectare daalt door de genomen maatregelen. De ruimtelijke variatie hangt samen landgebruik, grondsoort en hydrologie als ook de stikstofintensiteit. Alle maatregelen die leiden tot lager N-bodemoverschot zorgen daarmee voor een verbetering van de waterkwaliteit. In de onderliggende modelberekeningen is rekening gehouden met interacties tussen grond- en oppervlaktewater; wel wordt hier alleen gekeken naar de impact van een verlaging van het overschot op de belasting vanuit de landbouwbodem richting grond- en oppervlakte-water. Externe stikstofbronnen als ook natuurlijke achtergrondbelasting vanuit diepere bodemlagen zijn hierbij impliciet niet meegenomen; het gaat hierbij om een gevoeligheidsanalyse van berekende nitraatconcentraties (of N-uitspoeling) in relatie tot het netto N-bodemoverschot.



Figuur 5.1. Berekende effecten van een lager N-bodemoverschot op de verandering in het nitraatgehalte van het bovenste grondwater (links) dan wel de N-belasting van het oppervlaktewater (rechts). De legenda geeft aan met hoeveel mg nitraat per liter de nitraatconcentratie van het grondwater daalt (links) of de stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater (in kg N ha⁻¹) daalt (rechts) als het bodemoverschot met 1 kg N ha⁻¹ daalt.

De grootste effecten worden verwacht van maatregelen die ingrijpen op ondiepe af- en uitspoelingsroutes, in het bijzonder voor fosfaat. Voor stikstof kan met bemesting of bodembeheer de belasting met maximaal 35% worden verlaagd. De effectiviteit van een individuele maatregel of set aan maatregelen hangt af van de locatie waar het wordt uitgevoerd en de manier waarop het wordt uitgevoerd. De eigenschappen van de bodem, het bouwplan en de bemestingspraktijk zijn hierbij drie belangrijke sturende factoren. Ter illustratie, de *Commissie Deskundigen Meststoffenwet* heeft recent een eerste selectie gemaakt van effectieve maatregelen en deze geclusterd op basis van het type maatregel:

- Gewasbeheer om efficiënter om te gaan met stikstof: rijenbemesting bij maïs en groentegewassen, voorjaarstoediening van mest op kleigrond in plaats van najaarstoediening, uitbreiding van het areaal vanggewas, geen mest toedienen op gescheurd grasland, afvoer van gewasresten en hergebruik van slootbagger.
- Bodembeheer om snelle afvoer naar de sloot te verminderen en de opbrengst te verhogen: uitmijnen van bodemfosfaat in landbouwgronden, goed organische stofbeheer voor een goede infiltratie, de teelt van maïs in stroken uitgefreesd in grasland en minimale grondbewerking.
- Hydrologische maatregelen gericht op het verminderen van afspoeling en het voorkomen van oeverafkalving: aanleg van infiltratie-

greppels, bufferzones en verbeterde drainage.

- Technische end-of-pipe maatregelen: het inrichten van reactieve barrières in en op de bodem van een landbouwperceel en fosforverwijdering uit het oppervlaktewater (waterzuivering).
- Ruimtelijke maatregelen: aanpassen van het bouwplan, beperking van beweiding, teelten uit de grond, grasbufferstroken en het saneren van hotspots van uit- en afspoeling.

Ammoniakemissiebeperkende maatregelen kunnen een effect hebben op de nitraatuitspoeling, omdat deze maatregelen de hoeveelheid stikstof die met mest wordt toegediend, beïnvloeden.

Maatregelen voor een gezonde bodem

De bodemvruchtbaarheid heeft grote impact op de gewasproductie en de opname van stikstof, en daarmee ook op het stikstofbodemoverschot. De huidige kwaliteit van landbouwbodems is het resultaat van het samenspel van natuurlijke geohydrologische factoren, het bodembeheer en bemesting van voorgaande jaren. Omdat er via afgevoerde gewassen nutriënten worden onttrokken aan de bodem en natuurlijke processen de aanwezige koolstof afbreken en de bodem verzuren, is het belangrijk om de bodem in balans te brengen. Deze balans is niet alleen gericht op koolstof, stikstof of fosfaat, maar ook op de noodzakelijke bodemstructuur en de levende organismen in de bodem.

Bodems zijn van nature geen oneindige bron van water en voedingsstoffen. Een landbouwbodem moet daarom beheerd worden. Om zo te zorgen dat de levering van nutriënten op orde blijft. Om zo te zorgen dat er voldoende water beschikbaar is en wortels onbekommerd de diepte in kunnen groeien. Om zo te zorgen dat het bodemleven voldoende actief is om de bodem te doorwoelen, nutriënten vrij te maken en te voorkomen dat ziekteverwekkende organismen de kop op steken. Dit vraagt om een ingewikkeld samenspel van bemesting, bouwplan, drainage en bodembeheer.

Om een bodem duurzaam en toekomstbestendig in te zetten voor de landbouw is het belangrijk dat het water-bufferend vermogen van de bodem wordt benut en vergroot. Een bodem met een hoog bufferend vermogen kan de uitwisseling van water tussen bodem en oppervlaktewater vertragen. Een groot bufferend vermogen zorgt er ook voor dat er minder droogtestress is in perioden van watertekort. Wanneer er veel neerslag valt, is er ook minder risico op wateroverlast. En direct daaraan gekoppeld zijn verliezen van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen lager bij een hoge buffercapaciteit. Zeker als ook de bemestingspraktijk wordt afgestemd op de variatie in bodemkwaliteit. Om het bufferend vermogen van de bodem te vergroten, zijn er de volgende vuistregels:

- Zorg voor voldoende (variatie in) aanvoer van organische stof. Dit stimuleert het bodemleven, verbetert de bodemstructuur en waterhuishouding, verlaagt de emissie van broeikasgassen (op zand) en draagt daarnaast ook nog bij aan vastlegging van koolstof.
- Houd de zuurgraad en levering van nutriënten vanuit de bodem op peil. Een te zure grond is niet gunstig voor het bodemleven en verlaagt de benutting van nutriënten.

- Zorg voor een goede bodemstructuur en beworteling. Een goede timing van werkzaamheden, het gebruik van de juiste machinerie en werkwijze (rijpaden, werkvolgorde) dragen bij aan het voorkomen en beperken van structuurschade.
- Zorg voor voldoende water. Door een goede bodemstructuur en voldoende organische stof kan er meer water in de bouwvoor worden vastgehouden. Daarnaast kunnen via slim gebruik van drainagesystemen, de aanleg van boerenstuwen, en het verondiepen van waterlopen de mogelijkheden worden vergroot om water vast te houden in de bodem.

Er zijn in de literatuur lange lijsten met maatregelen bekend die op basis van expertkennis, modellen en experimentele data zijn geselecteerd om de bodemkwaliteit te verbeteren. Denk aan bestaande lijsten die onderdeel zijn van de BOOT-lijst van DAW (Verloop et al., 2018), programma Slim Landgebruik (Slier & van der Kolk, 2023), de pilot Ecoregeling, BedrijfsBodemWaterPlan (BBWP), PPS Klimaatadaptatie Open Teelten, PPS Beter BodemBeheer (Selin Norén et al., 2022), en de Open Bodemindex (OBI). Voor een uitgebreide bespreking van maatregelen als ook een eerste werkwijze om deze maatregelen te koppelen aan de kwaliteit van de bodem, wordt verwezen naar de publicaties van Selin Norén et al. (2022) en Van den Dool et al. (2023). Op basis van expertkennis van de auteurs, en gebruik makend van de hierboven genoemde studies naar de inzetbaarheid en effectiviteit van maatregelen, is een eerste uitwerking gemaakt van de maatregelen die inzetbaar zijn om de bodemkwaliteit in Zuid-Holland in relatie tot de verschillende ecosysteem-diensten te verbeteren. Deze worden samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Mogelijke bodembeheermaatregelen om een positieve bijdrage te leveren aan de vijf ecosysteemdiensten die de bodem levert: primaire productie (ESD1), waterregulatie en zelfreinigend vermogen (ESD2), koolstof-vastlegging en klimaatregulatie (ESD3), bodembiodiversiteit en habitatvoorziening (ESD4) en faciliteren nutriënten-kringloop (ESD5). Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0) of positief (+).

Maatregel	Areaal	Bijdrage aan Ecosysteemdienst				
		ESD1	ESD2	ESD3	ESD4	ESD5
Verruiming bouwplan	Areaal waarin fractie gras en rustgewassen < 0,4	-	+	+	+	+
Volg Advies Handboek Bodem en Bemesting voor pH en bemesting	Volledig areaal	+	+	0	-	+
Pas wisselteelt toe en verleng leeftijd grasland	Areaal met continue maïs en tijdelijk grasland	+	+	+	+	+
Inzet van akkerranden en bufferstroken	4% van elk perceel	-	0	0/+	+	0
Vanggewassen en groenbemesters	Volledig areaal bouwland	+	+	+	+/-	+
Aanvoer van (extra) organische stof (compost, bokashi, etc.)	Volledig areaal bouwland	0	0/-	+	+	+
Voorkom verdichting met juiste timing van activiteiten, inzet rijpaden en aanpassing machines	Volledig areaal	+	+	0	0	+
Oeverafkalving verminderen/ voorkomen	Elk perceel in veenweidegebied	0	++	0	+	0
Aanpassen drainage basis en drains	Gedraineerd areaal	0	+	0	0/-	0
Perceel jaarrond groen houden	Volledig areaal	+	+	+	0/+	+
Water vasthouden in perceelsloten	Areaal droogtegevoelige gronden	+	+	0	0	0

Door maatregelen te nemen die positief bijdragen aan de ecosysteemdienst gewasproductie wordt de bodemkwaliteit verbeterd en zal de gewasopname van stikstof toenemen en daarmee het bodemoverschot dan wel het risico op uitspoeling verminderen. Tegelijkertijd zijn er ook maatregelen inzetbaar die gericht bijdragen aan een lager uitspoelingsrisico of afspoelingsrisico. Juist via integraal bodembeheer is het mogelijk om de weerbaarheid van de landbouw-bodem te vergroten, ook in de context van klimaatverandering, en daarmee de bijdrage aan schoon en voldoende grond- en oppervlaktewater te versterken.

Maatregelen buiten de landbouw (open teelten)

Om de stikstofbelasting uit andere bronnen te verlagen, is het belangrijk om de belasting vanuit RWZI's te verlagen door inzet van efficiëntere technieken als ook de vuillast vanuit regenwaterriolen en overstorten te verminderen. Verdere emissiereductie vanuit de glastuinbouw is ook geïdentificeerd als perspectiefvolle maatregel (Schipper et al., 2025). Volgens de prognose (bij implementatie van bestaand beleid) neemt deze belasting sterk af, waardoor een groot deel van de KRW-opgave wordt ingevuld. Aanbevolen wordt om

de aangenomen emissiereducties met monitoring te volgen en implementatie van de benodigde maatregelen te stimuleren en ondersteunen.

5.2 Stikstofmaatregelen voor natuurkwaliteit

Maatregelen in de landbouw

Op basis van een inhoudelijke analyse van gepubliceerde studies rond de impact van innovaties in de veehouderij is door Ros et al. (2025) in kaart gebracht wat de potentiële impact is van 36 innovaties in de melkveehouderij, 21 innovaties in de varkenshouderij en 5 innovaties in de pluimveehouderij (zie Bijlage I). Bij een goede uitrol van deze innovaties blijkt het mogelijk om de totale emissie van ammoniak met 41-50% te reduceren en de emissie van broeikasgassen inclusief lachgas met 27 tot 48%.

De belangrijkste maatregelen om de ammoniakemissie te verlagen vallen in twee categorieën: maatregelen die de ammoniakemissie vanuit stallen en opslag verlagen, en maatregelen die de ammoniakemissie tijdens toediening verminderen.

Overkoepelend levert het verlagen van de N-uitscheiding door het verminderen van het aantal dieren of het veranderen van de samenstelling van de mest ook een positieve bijdrage aan de emissie-reductie. De beste stalsystemen geven tot 50% minder emissie dan de klassieke ligboxenstal, al hangt de daadwerkelijke emissiereductie samen met het management van dieren, voer en mest op het landbouwbedrijf. Doel van deze systemen is om urine snel af te voeren naar een afgesloten ruimte, al dan niet gescheiden van de mest. De twee belangrijkste emissiereductieprincipes die in de huisvestings-maatregelen worden toegepast zijn snelle en zo volledig mogelijke afvoer van geloosde urine naar de kelder en het beperken van de luchtuitwisseling tussen kelder en stal. De afgelopen jaren is veel geïnvesteerd in emissiearme stallen. Tegelijk is het belangrijk dat de genomen aanpassingen in stal-systemen ook goed worden onderhouden; in de praktijk liggen hierbij nog uitdagingen. Naast vernieuwing van stalsystemen zijn diverse kleinere maatregelen inzetbaar zoals het gebruik van afdicht-flappen in de roosterspleten.

De emissie van NH_3 is direct gerelateerd aan het totaal ammoniakaal-stikstofgehalte (TAN) in urine en mest. Door verlaging van het eiwitgehalte – als ook het zoutgehalte in het rantsoen – is het mogelijk om het ureumgehalte in de urine en daarmee het ammoniumgehalte in de mest te verlagen. De huidige rantsoenen bevatten veelal nog veel eiwit, en dit gehalte kan worden verlaagd zonder negatieve gevolgen voor diergezondheid. Recent zijn er ook allerlei praktijkproeven uitgevoerd waarmee een combinatie van vergisten en biologisch aanzuren wordt ingezet om de emissie van zowel ammoniak als methaan substantieel te reduceren (zie Ros et al., 2025). Ook door de mest op de juiste manier toe te dienen (precisiebemesting dan wel Goede Landbouwpraktijk) kan de emissie van ammoniak worden verlaagd. Op grasland wordt bijvoorbeeld drijfmest op minerale gronden vooral met de zodenbemester toegediend. Met een zode-injecteur wordt, nadat de mest op 5-10 cm diepte is aangebracht, de sleuf ook dichtgedrukt. De emissie vermindert daardoor van 19% met de zodenbemester tot slechts 2% met de zode-injecteur. Vanuit de wetenschappelijke literatuur zijn hiervan nog geen negatieve effecten (op langere termijn) bekend op de bodemstructuur of het bodemleven. De emissie van ammoniak stijgt daarnaast sterk wanneer bij het bemesten met de zodenbemester de mest boven de sleuf uitkomt. Dit gebeurt wanneer te hoge giften

ineens worden gegeven. Bij voorkeur moeten bij het gebruik van de zodenbemester de giften daarom niet hoger dan 20-25 m^3 per ha zijn. Door mest op grasland te injecteren op een diepte van 15-20 cm daalt de emissie tot minder dan 2%; een bewezen technologie maar wel een techniek die met de huidige machines niet inzetbaar is. Ook op bouwland liggen er nog mogelijkheden om met inzet van emissiearme toedieningstechnieken de emissie verder te beperken; diepe injectie is overigens minder inzetbaar op kleirijke gronden en veen. Het snel onderwerken en netjes werken is bij elke grondsoort uitvoerbaar. Een alternatieve methode die recent terrein wint, is het verdunnen van mest. Door mest te verdunnen met water daalt de stikstof-concentratie, infiltreert de mest sneller in de bodem en daalt de emissie met meer dan 40%. Ureum meststoffen kunnen bij gebruik op ongeschikte momenten tot een onnodig hoge ammoniakemissie leiden. Bij grasland is het aan te bevelen om na de eerste snede vooral gebruik te maken van ammoniumnitraat (als kunstmest); dit geeft de hoogste N-werking en de laagste emissie. Door meer te beweiden wordt ook de ammoniakemissie verlaagd. Bij beweiding infiltreert urine in de bodem waardoor er minder ammoniak ontstaat; de emissie-factor voor urinestikstof tijdens beweiding is 4%. De hier genoemde maatregelen hebben vrijwel geen negatieve milieueffecten; wel vereist het meer kennis en vakmanschap, inzet van ondernemers en bij verschillende maatregelen spelen extra kosten ook een rol.

Omdat de hoogte van de N-bemesting van invloed is op de hoogte van de ammoniakemissie, betekent dit ook dat een verlaging van de stikstofaanvoer bijdraagt aan minder ammoniak. Bijkomend voordeel is dat tegelijkertijd ook N_2O -emissie en uit- en afspoeling ook vermindert. Op bedrijfsniveau is een verlaging van de N-aanvoer een maatregel om de totale stikstofintensiteit van het bedrijf (kg / ha) te verlagen, met positieve gevolgen voor alle gasvormige stikstofverliezen.

De impact van maatregelen op de emissies van ammoniak en lachgas naar de lucht en uitspoeling van nitraat naar het grondwater zijn sterk afhankelijk van de manier waarop ze worden geïmplementeerd. Ook zijn niet alle maatregelen onder elke omstandigheid inzetbaar. Een landelijk beoogde reductie van 50% voor ammoniak en broeikasgassen vraagt daarom om een gedegen en geborgde implementatie van maatregelpakketten die aansluiten bij

het type bedrijf. Deze beoogde reductie vraagt ook om versterking van kennisdoorwerking en -ontsluiting. Ervaringen uit het verleden rondom het effect van emissiearme stallen en toedieningstechnieken laten zien dat ammoniakverliezen sterk zijn gedaald na 1996 maar de beoogde effecten waren in de gerealiseerde praktijk lager. Het is daarom realistisch om te erkennen dat een halvering van emissies voor ammoniak en broeikasgassen, en in mindere mate voor het N-bodemoverschot, onder praktijkomstandigheden niet volledig ingevuld kunnen worden door managementverbeteringen en vakmanschap. Dit betekent dat in delen van de provincie er ook een noodzaak is tot extensivering, dat wil zeggen een daling in het aantal dieren per hectare.

Maatregelen in natuurgebieden

Naast het verminderen van de bronnen van stikstof, kunnen ook direct in en rondom de natuurgebieden maatregelen worden genomen om de negatieve effecten van stikstof tegen te gaan.

- Aanleg en beheer van overgangsgebieden (overgangszones): overgangsgebieden rond Natura 2000-gebieden dragen bij aan het realiseren van instandhoudingsdoelstellingen door de impact van stikstof vanuit de omgeving te verminderen. Binnen de provincie Zuid-Holland is dit effect relatief beperkt; wel vereist de Raad van State dat gebieden met een grote(re) opgave met meer prioriteit worden behandeld. Wanneer toegepast op heel Nederland dan liggen er geen grote prioritaire gebieden binnen de provincie van Zuid-Holland. Bedenk hierbij dat voor herstel van natuurkwaliteit de historische accumulatie van stikstof in de bodem een groter probleem is dan de huidige overschrijding van de depositie.
- Optimalisatie van hydrologische systemen (waterbeheer): Het herstellen of verbeteren van de waterhuishouding, inclusief vernatting van veengebieden, kan de stikstofcyclus beïnvloeden en ecosystemen minder kwetsbaar maken (er is meer denitrificatie en minder verzuring).
- Herstel van natuurlijke processen: In duingebieden betekent dit het bevorderen van dynamiek door verstuuving en duinvorming. Maatregelen zijn onder andere het verminderen van

zandsuppleties en het aanleggen van kerven in de zeereep.

- Habitatbeheer op specifieke locaties: Dit omvat diverse maatregelen die zijn afgestemd op de specifieke behoeften van de verschillende habitattypen en soorten, zoals geïdentificeerd in de natuurdoelanalyses. Voorbeelden zijn: verwijderen van gebiedsvreemde plantensoorten zoals Japanse duizendknoop en Amerikaanse vogelkers die kunnen profiteren van stikstofrijke omstandigheden; beheer van vegetatie door begrazing, maaien of plaggen om nutriënten te verwijderen en de gewenste vegetatiesamenstelling te bevorderen; stuifkuilen aanleggen om de winddynamiek in duingebieden te herstellen; verwijderen van naaldbos op locaties waar dit de ontwikkeling van andere, meer gewenste habitattypen belemmert.

De natuurdoelanalyses spelen een cruciale rol bij het inzichtelijk maken van de specifieke knelpunten per Natura 2000-gebied en het bepalen van de meest effectieve maatregelen.

Stikstofmaatregelen niet-landbouw

In 2018, droeg de Zuid-Hollandse landbouw voor 27% bij aan de NH_3 -depositie op stikstofgevoelige natuur binnen de provincie en 8% van de N-depositie op N-gevoelige N2000-gebieden in Nederland (Tabel 5.2). Om stikstofdepositie te verlagen zijn daarom ook maatregelen nodig om de emissie van andere sectoren terug te dringen. Naast bedrijfsgerichte doelsturing middels emissieplafonds voor de veehouderij, zet de provincie in op drie andere maatregelen om depositie in natuur terug te dringen.

- Het aanpassen van functies en activiteiten in overgangsgebieden (zones aangrenzend aan N2000-gebieden).
- Strategisch grondbeleid waarmee bedrijven kunnen worden verplaatst of geëxtensiveerd, natuur kan worden ontwikkeld en beperkingen kunnen worden opgelegd in overgangsgebieden.
- Voorkomen dat stikstofrechten van melkveebedrijven die van nature stoppen, overgaan op andere melkveebedrijven.

Tabel 5.2. Ammoniak depositie en landbouw bijdrage aan depositie op stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden. Data is afkomstig van onderliggende gegevens uit Gies et al. (2023).

Provincie	Depositie in Mol N per ha per jaar (peiljaar 2018)			Relatieve bijdrage landbouw	
	NH ₃ depositie in provincie	NH ₃ depositie buiten provincie	Totale depositie	% NH ₃ depositie binnen landbouw	% NH ₃ depositie van landelijke depositie
Zuid-Holland	99	263	1249	27	8

De provincie loopt met haar integrale aanpak voor op de gewenste nationale aanpak vanuit het Rijk. De provincie erkent echter ook dat met deze maatregelen minder dan 10% van de opgave kan worden gerealiseerd. Voor de restopgave is men afhankelijk van rijksmaatregelen (Provincie Zuid-Holland, 2025). De provincie had rond de zomer van 2025 nog geen eigen maatregelenpakket gericht op andere sectoren dan de landbouw. Hiervoor is in het najaar een apart spoor gestart. Deze emissies worden teruggebracht door het gebruik van best beschikbare technieken en gesprekken tussen het rijk en piekbelasters waar de provincie aan kan bijdragen.

5.3 Stikstofmaatregelen voor klimaat

Lachgas is één van de broeikasgassen die samenhangt met stikstofgebruik in de landbouw. Naast stikstof is het nodig om emissies te reduceren voor methaan en koolstofdioxide. Maatregelen voor deze emissies zijn wel geïnventariseerd, maar worden in de voorliggende studie niet besproken. Om lachgas te reduceren liggen er mogelijkheden in het verlagen van de N-bemesting, de inzet van bewerkte (dierlijke) meststoffen en de inzet van een goede bemestingspraktijk. Bemesting is namelijk de grootste bron van lachgas. De zogenaamde ‘4 R’ bemestingsstrategie is een strategie om de stikstofbenutting door gewassen te verhogen en N₂O te beperken. Dit wil zeggen dat bemesting plaatsvindt met het juiste type, in de juiste hoeveelheid, op het juiste tijdstip en op de juiste plaats. In gronden met een hoge denitrificatiecapaciteit, zoals veengronden en grasland, kunnen nitraatmeststoffen bijvoorbeeld leiden tot veel N₂O. Het gebruik van ammonium kan de lachgasemissie sterk verminderen. Nitraathoudende kunstmest kan ook tot lachgasemissie leiden als recent drijfmest is toegediend. Door mestbewerking kan de samenstelling van dierlijke mest worden veranderd (minder minerale stikstof en organische stof), waardoor de N₂O uit mest kan worden verlaagd. Het risico op

lachgasemissie is het hoogst als er veel minerale stikstof in de bodem aanwezig is. De stikstof moet daarom toegediend worden vlak voor en/of in de periode waarop het gewas stikstof opneemt. Neerslag leidt tot een toename van lachgasemissie. Het uitstellen van bemesting tot een drogere periode verlaagt daardoor het risico op verliezen. Oppervlakkige toediening van (kunst)mest leidt tot een lagere lachgasemissie dan injecteren, maar kan tegelijkertijd de ammoniakemissie verhogen. Het beperken van beweiding, het niet meer of beperkt beweiden in het najaar en de afvoer van gewasresten zijn andere maatregelen om N₂O te verlagen. Deze maatregelen verminderen de emissie van lachgas, omdat er meer mest in de stal en in opslag komt in plaats van in de wei en de emissie uit drijfmest lager is dan de emissie uit weidemest. Door verbetering van het graslandbeheer, waardoor er minder vaak vernieuwd hoeft te worden, kan veel N₂O emissie worden voorkomen. Omdat lachgas wordt gevormd tijdens natte omstandigheden in aanwezigheid van minerale stikstof in de bodem, liggen hier ook mogelijkheden om N₂O te verminderen via een goede drainage, beheer van grondwaterpeil en/of beregening (hoeveelheid en tijdstip) op momenten dat er veel stikstof in de bodem aanwezig is.

5.4 Effecten van maatregelen

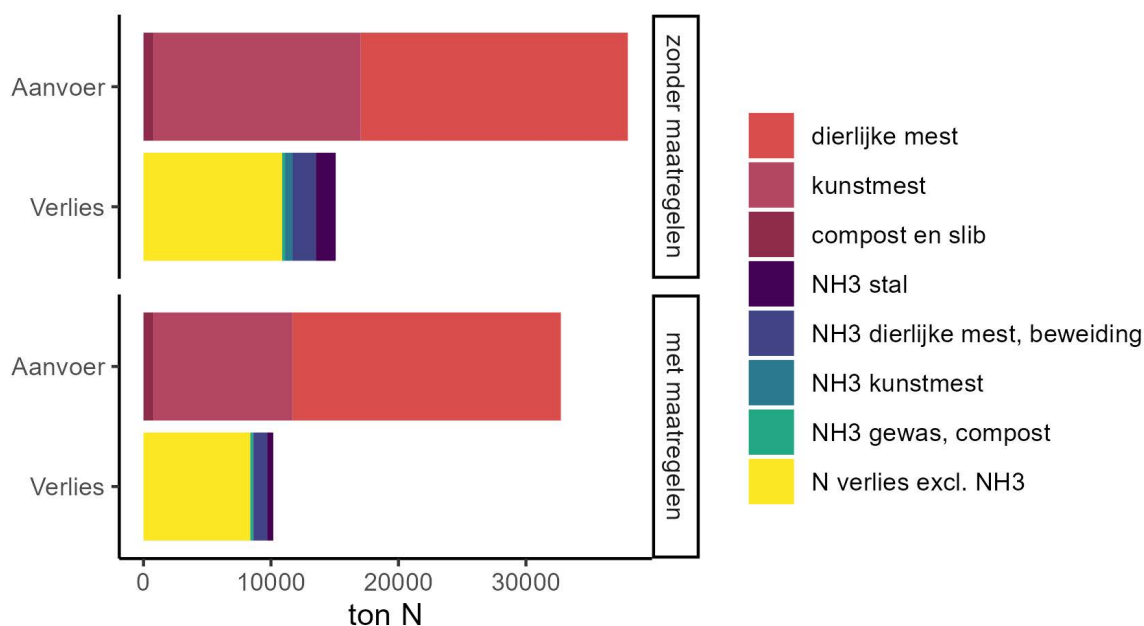
Er zijn de afgelopen jaren diverse studies uitgevoerd waarin (combinaties van) maatregelen worden voorgesteld of doorgerekend waarmee enkele of meerdere milieuproblemen voor de landbouw kunnen worden aangepakt (Gonzalez-Martinez et al., 2021; Lesschen et al., 2021; 2020; Erisman & Stroutman, 2021). In deze studie hebben wij met INITIATOR de effecten van de maatregelen op de milieueffecten geëvalueerd voor de situatie in provincie Zuid-Holland, gebruik makend van drie maatregelenpakketten zoals deze zijn gebruikt in Lesschen et al. (2020).

In het eerste pakket van autonome ontwikkelingen werden alleen maatregelen meegenomen die op weinig maatschappelijke weerstand stuiten en weinig negatieve invloed hebben op de landbouwkundige productie. In het tweede pakket (alles-uit-de-kast), werden ook maatregelen opgenomen die op maatschappelijke weerstand kunnen stuiten, zoals het verminderen van weidegang of het luchtdicht maken van stallen. Er werd wel uitgegaan van een vergelijkbare productiviteit. Het derde pakket bestond uit mitigatiemaatregelen vanuit een natuurinclusieve bedrijfsvoering. Hierbij werd wel

ruimte gelaten om productiviteit te doen afnemen. In deze studie is gekozen voor een maatregelenpakket met maximaal haalbare emissiereducties zonder land uit gebruik te nemen, dieraantallen te wijzigen of gewasrotaties aan te passen. Dit scenario wordt 'max haalbaar' genoemd en wordt vergeleken met een referentie scenario, de huidige situatie. De verschillende maatregelen die hierbij zijn meegenomen, worden weergegeven in Tabel 5.3. Merk op dat effecten op alle broeikasgassen als ook de emissies van fosfor naar water hierbij zijn meegenomen.

Tabel 5.3. Overzicht van de geëvalueerde maatregelen en hun impact op milieupgaven. Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0) of positief (+).

Omschrijving	Broeikasgassen			Natuur	Waterkwaliteit		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NH ₃	N	P	NO ₃ ⁻
Volledige mestexport van overschot	-/+	+	+	++	+	+	+
Dier voeding							
Verlaagd eiwitgehalte			+	++		+	+
Langere beweiding				+	-/+		+
Emissiearme stallen en toediening							
Innovatieve mestscheidingstechnieken; rasverbeteringen; veevoedertoevoegingen		++		+++			+
Verbeterde toedieningsmethoden, scheiding van dunne en dikke mest			+	++		+	+
Verbeterd nutriënten beheer							
Strengere N en P toedieningsdoelen			+	+	++	++	++
Inzet van precisiebemesting			++	+	+		+
Urease- en nitrificatie remmers gebruiken			+	+			
Verbeterd bodembeheer							
Gereduceerde grondbewerking	+				+	+	+
Bemestingsvrije perceelranden					+	++	+
Onderwaterdrainage	++	-/+	+		+	-/+	+
Verbeterd gewasbeheer							
Meer groenbemesters	+						++
Efficiëntere hoogproductieve rassen	+		+	+	+	++	++
Meer stikstofbindende gewassen			+	+	+		+

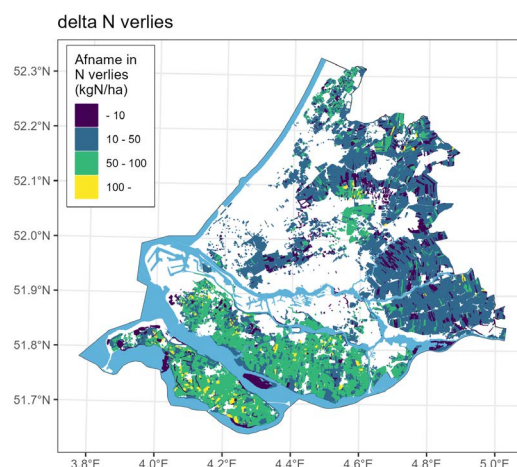


Figuur 5.2. N-aanvoer en N-verlies van de provincie Zuid-Holland, met en zonder de maatregelenpakketten, berekend met het INITIATOR-model.

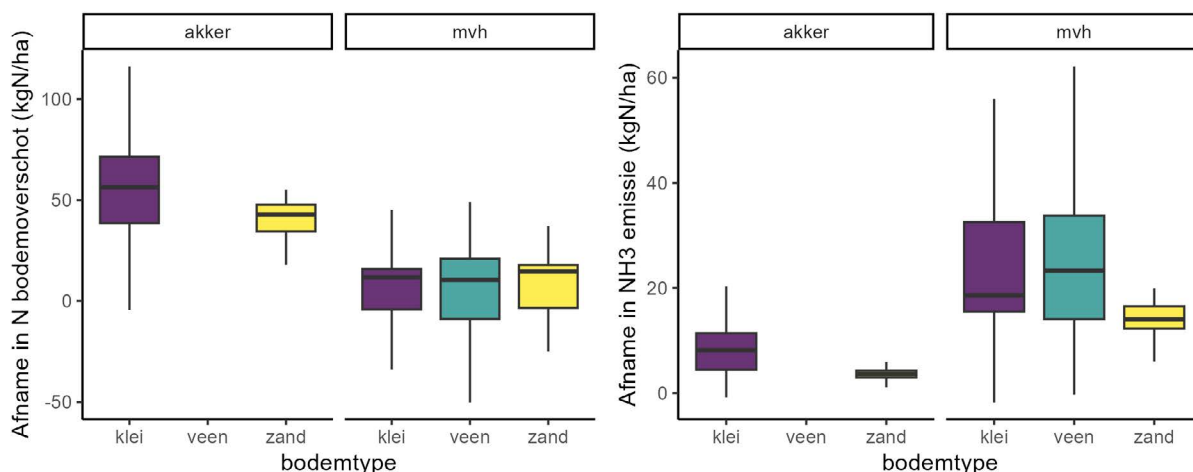
Berekende effecten van maatregelen

Door de maatregelen daalt de stikstofaanvoer van de provincie met 14% van ongeveer 38 kton naar 33 kton (Figuur 5.2). Omdat de maatregelen niet alleen de aanvoer verminderen, maar ook de retentie verhogen (bijv. verhoogde gewasopname, vermindering van de emissie), wordt het totale stikstofverlies verminderd van 15 tot 10 kton, een daling van 32% (Figuur 5.2). Vooral de daling van de ammoniakemissie uit stal was groot, met een daling van 70% van 1,6 naar 0,5 kton. De ammoniakemissie vanuit mesttoediening en de bodem is ook sterk afgenomen, met een daling van 50% van 2,7 naar 1,3 kton. Het N-bodemoverschot, dat is de hoeveelheid stikstof die in de bodem achterblijft na de oogst en daarom vatbaar is voor uitspoeling en afspoeling, is ook afgenomen, maar in mindere mate, met een afname van 23% van 10,9 naar 8,4 kton.

De vermindering in N-verliezen was groter in het zuiden van de provincie (Figuur 5.3). Dit gebied bestaat voornamelijk uit akkerland, waar de afname van het N-bodemoverschot groter was (Figuur 5.4 links) als gevolg van een betere nutriëntenopname van (vang)gewassen. Melkveebedrijven verbeterden het N-verlies voornamelijk door een verminderde ammoniakemissie (Figuur 5.4 rechts).



Figuur 5.3. De ruimtelijke variatie in veranderingen in N-verlies (d.w.z. N-bodemoverschot plus ammoniakemissies) door maatregelenpakketten in de provincie Zuid-Holland.



Figuur 5.4. Veranderingen in N-bodemoverschot (links) en ammoniakemissie (rechts) door maatregelenpakketten, apart weer-gegeven voor sector (akkerbouwbedrijven en melkveehouderbedrijven) en bodemtype (klei, veen, zand). In een boxplot wordt de mediaan aangegeven door de zwarte lijn in de boxplot, de box zelf vertegenwoordigt 50% van de data tussen Q1 en Q3, de whiskers (zwarte lijn) zijn 1,5* interquartile range. Akkerbouwbedrijven op veen zijn uitgesloten omdat dit slechts 0,4% van het totale areaal beslaat.

5.5 Praktijkervaringen met maatregelen in Zuid-Holland

De landbouwpraktijk heeft invloed op de waterkwaliteit, afhankelijk van locatie, bodem, en management en vice versa hebben maatregelen voor een betere waterkwaliteit vaak invloed op de landbouwpraktijk. Het samenbrengen van deze twee beleidsthema's is daarom van belang om tot de juiste maatregelen te komen en de impact op de sector te overzien. In 2024 is door de provincie een inventarisatie uitgevoerd van allerlei projecten waar gewerkt wordt aan verbetering van de waterkwaliteit (PZH, 2024). Hier zitten ook maatregelen tussen die direct de ecologische toestand van oppervlaktewater kunnen verbeteren. In de voorliggende analyse beperken wij ons echter tot projecten die gekoppeld zijn aan stikstof. Vrijwel alle maatregelen zijn gericht op het verminderen van afspoeling, alleen de maatregelen die nutriëntenbenutting verbeteren hebben ook een effect op atmosferische stikstofuitstoot.

Maatregelen toegepast in Zuid-Hollandse projecten

In Tabel 5.4 staan maatregelen die in de veenweidegebieden gebruikt worden, plus de projecten waar er ervaring mee is opgedaan. In veenweide zijn er naast opgaven voor oppervlaktewater ook opgaven voor het reduceren van broeikasgasuitstoot. Hiertoe wordt vaak peilopzet voorgesteld om een situatie te creëren waarbij zo min mogelijk CO₂ en methaan worden gevormd. Ervaringen uit de GLB-pilot Krimpenerwaard laten zien dat het verhogen van het waterpeil in sloten oevererosie in de hand kan werken en draagkracht van percelen kan verminderen. Dit is ongunstig voor de waterkwaliteit en het agrarisch potentieel van een perceel. Vernatting is daarom geen universele oplossing, de effectiviteit van deze maatregel hangt van specifieke lokale omstandigheden af (van Rotterdam et al., 2023). In de tabel zijn ook twee maatregelen opgenomen afkomstig uit [maatregelen op de kaart](#) (van Gerven et al., 2019). Met deze maatregelen is voor zover bekend geen praktijkervaring opgedaan in de provincie Zuid-Holland. De toepasbaarheid van deze maatregelen is plaatsspecifiek.

Tabel 5.4. Maatregelen om stikstofbelasting van veenweidegebieden op het oppervlaktewater te verminderen.

Maatregel	Project	Opmerking
Drinkbakken voor vee op veenweide	GLB-pilot Krimpenerwaard	Vee dat uit sloten drinkt kan oevererosie veroorzaken.
Niet-bemeste bufferstroken langs sloten	Koeien en kansen	Deze maatregel is sinds 2025 verplicht
Waterpeil verhogen in veenweiden	GLB-pilot Krimpenerwaard	Het verhogen van het waterpeil kan positief zijn voor het verminderen van methaan en N ₂ O emissies naar de lucht. Een snelle verhoging van het waterpeil kan echter ook slootoevers eroderen waardoor meer nutriënten en bagger in de sloot terecht komen.
Dierlijke mest niet of nauwelijks in het najaar gebruiken (> 15 augustus)	Deze maatregel is sinds 2025 verplicht	Dierlijke mest die in het najaar wordt opgebracht kan minder goed worden benut door gras waardoor meer nutriënten kunnen uitspoelen.
Gebruik organische mest met optimale C:N:P verhouding	DAW	Hiermee wordt de mestgift afgestemd op wat de bodem levert.
Greppels afsluitbaar maken in combinatie met bezinkplaats	DAW	Oppervlakkige afspoeling is de belangrijkste verliesroute.

Voor de akkerbouwgebieden op klei en zavelgronden is er ervaring met enkele maatregelen met een bescheiden effect op oppervlaktewaterkwaliteit (Tabel 5.5). De meeste van deze maatregelen richten zich in de eerste instantie op het verbeteren van de bodemkwaliteit, met bijkomend voordeel voor waterkwaliteit. Van de maatregelen waar projectervaring mee is opgedaan, is alleen het gebruik van bufferstroken direct bedoeld voor het verminderen van de belasting van oppervlaktewater met nutriënten. Ook in deze tabel zijn enkele plaatsspecifieke maatregelen uit maatregelen op de kaart opgenomen waarmee, voor zover bekend, geen praktische projectervaring is opgedaan in de provincie.

Tabel 5.5. Maatregelen om stikstofbelasting op het oppervlaktewater te verminderen bij akkerbouw percelen op klei en zavel.

Maatregel	Project	Effect water
Groenbemesters/onderzaai	Bodems als basis, Proeftuin van Pallandtpolder en Proeftuin niet kerende grondbewerking	Kan ook uitspoeling naar grondwater verminderen.
Gebruik organische mest	Bodem als basis en Proeftuin van de Pallandtpolder	Vooraf relevant als het OS-gehalte lager is dan 3%.
Verdichting vermijden bijv. met regelbare bandenspanning	Bodem als basis	Hoogstens een klein effect te verwachten voor waterkwaliteit
Bufferstroken bij akkerbouw	FABulous farmers en Voorne Putten Akkerranden	Vermindert risico oppervlakkige afvoer. Is verplicht anno 2025.
Aanleg van infiltratiegreppels	Maatregel Op De Kaart	Maatregel Op De Kaart
Zuiveren van drainagewater end-of-pipe	Onderzoekproject Deltares	Voornamelijk om fosfor uitspoeling te voorkomen. Kan in combinatie met houtsnippers ook stikstof beperken
Afdammen van eindsloot	Maatregel Op De Kaart	Verhoogt denitrificatie van N in de sloot.
Afsluitbare greppels met bezinkplaats	Maatregel Op De Kaart	Vermindert risico op afspoeling
Randdam met bezinkgreppel om het perceel	Maatregel Op De Kaart	Vermindert risico op afspoeling

In projecten voor de bollenteelt op zandgronden is vooral ervaring opgedaan met maatregelen ten behoeve van de bodemkwaliteit, zoals het verhogen van de organische stof aanvoer. Met precisiebemesting kan in potentie zowel de waterkwaliteit als de gewasopbrengst worden verbeterd doordat bij correcte toepassing de opname van toegediende

nutriënten wordt verhoogd en dus minder in het water terecht kan komen. Ook in deze tabel zijn enkele plaats specifieke maatregelen uit maatregelen op de kaart opgenomen waarvoor zover bekend, geen praktische project ervaring is opgedaan in de provincie.

Tabel 5.6. Maatregelen om stikstofbelasting op oppervlaktewater te verminderen bij bloembollen percelen op zandgronden.

Maatregel	Project	Effect water
Groenbemesters/onderzaai	Bollentelers WaterWijs en Beter Organisch Bemesten voor Beter Water	Kan ook uitspoeling naar grondwater verminderen.
Gebruik organische mest	Bollentelers WaterWijs en Beter Organisch Bemesten voor Beter Water	Het gebruik van organische mest kan op termijn de bodemstructuur verbeteren met mogelijk kleine voordelen voor de waterkwaliteit. Organische meststoffen welke te laat in het seizoen worden opgebracht kunnen mineraliseren op het moment dat er geen gewas meer is om nutriënten op te nemen waarmee de meststoffen toch uitspoelen.
Precisiebemesting	Bollentelers WaterWijs en Beter Organisch Bemesten voor Beter Water	Verhoogt de benutting en beperkt de verliezen naar water
Niet kerende grondbewerking	Bollentelers WaterWijs en Beter Organisch Bemesten voor Beter Water	Hoogstens een klein effect te verwachten op waterkwaliteit.
Afsluitbare greppels met bezinkplaats	Maatregel Op De Kaart	Beperkt oppervlakkige afspoeling
Randdam met bezinkgreppel om het perceel	Maatregel Op De Kaart	Beperkt oppervlakkige afspoeling
Natuurvriendelijke oevers en of waterbergingoever	Maatregel Op De Kaart	Beperkt oppervlakkige afspoeling en verhoogt denitrificatie in de oever
Natte bufferstroken	Maatregel Op De Kaart	Beperkt oppervlakkige afspoeling
Beperkt gebruik van dierlijke mest	Maatregel Op De Kaart	Minder risico op langjarige uitspoeling

In bovenstaande tabellen komen geen maatregelen voor welke specifiek gericht zijn op het verminderen van nitraatuitspoeling naar grondwater of ammoniak vervluchtiging. Maatregelen die de opname van nutriënten verhogen dragen over het algemeen ook bij aan het verlagen van verliezen naar het grondwater of de atmosfeer. Dit zijn maatregelen als gebruik van vanggewassen (groenbemesters) en onderzaaien (waarbij gras of een andere bodembedekker onder een hoger maaigewas zoals maïs staat). Ook maatregelen die de opname efficiëntie verhogen dragen bij aan het terugdringen van de drie stikstof verliesposten. Hier vallen de maatregelen ‘precisiebemesting’ en ‘optimale C:N:P verhouding’ onder. Deze maatregelen zijn in feite een uitbreiding van de goede landbouwpraktijk:

bemest met de juiste meststof, op het juiste moment, op de juiste plek met de juiste hoeveelheid.

Ammoniak vervluchtiging van dierlijke mest kan worden verminderd door de mest netjes uit te rijden. Ook kan de mest worden aangezuurd: bij een lagere pH vervluchtigt er minder ammoniak. Dit kan door een zuur toe te voegen zoals zwavelzuur, maar ook door een suikerbron toe te voegen welke door micro-organismen gefermenteerd kan worden waarbij de mest verzuurd. Er is de afgelopen jaren op diverse plekken buiten Zuid-Holland ervaring opgedaan met biologisch aanzuren van mest, maar dit wordt in de praktijk nog niet toegepast (Bussink et al., 2025).

5.6 Kennishiaten en aanbevelingen

Uit de inventarisatie van (lopende)projecten in de PZH komt naar voren dat er diverse projecten zijn waarin maatregelen worden toegepast of getest met de bedoeling oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren. Veel van deze projecten beperken zich niet enkel tot stikstof maar kijken ook naar fosforafspoeling of richten zich direct op het verbeteren van de ecologische kwaliteit van de sloten of oevers. Het is op dit moment niet mogelijk om te kwantificeren hoe groot de bijdrage is van de maatregelen uit diverse projecten aan het verbeteren van de waterkwaliteit in Zuid-Holland. Dit komt enerzijds doordat het effect van een maatregel op een perceel moeilijk te vertalen is naar waterkwaliteit in het gehele systeem, maar ook doordat niet inzichtelijk is in welke mate maatregelen worden toegepast. Een verbetering in de informatievoorziening over zowel het effect als de implementatiegraad van maatregelen is nodig om gericht effectieve maatregelen te kunnen stimuleren.

In de inventarisatie van lopende projecten, ligt de focus erg sterk op waterkwaliteit. Maatregelen die bijdragen aan het verminderen van atmosferische stikstofbelasting zijn hier niet in opgenomen. Met

een soortgelijke inventarisatie van maatregelen en projecten die emissies in stallen en bij (kunst) mest-toediening verminderen, kan een beter overzicht worden verkregen van effectieve maatregelen die nu al worden toegepast in de provincie.

Gezien de totstandkoming van de bestaande maatregellijsten, en de wetenschappelijke onderbouwing ervan, is het voor de lange termijn gewenst om inzicht te krijgen in de synergiën en trade-offs tussen maatregelen in het licht van niet-stikstof-gerelateerde doelen. De huidige studie focust op stikstof en de impact ervan op terrestrische en aquatische biodiversiteit, en waterkwaliteit. In het landelijk gebied zijn echter nog meer opgaven te realiseren. Standaardisering van methoden om toepasbaarheid en impact te kwantificeren is daarbij gewenst, zeker in relatie tot de impact van maatregelen op broeikasgassen, bodemkwaliteit en agrobiodiversiteit. Voor een integrale sturing blijft het nodig om inzicht te krijgen hoe het management van een boer doorwerkt richting de verschillende doelen gegeven de grote ruimtelijke variatie in bodem- en bedrijfskenmerken. Dit inzicht is fragmentarisch beschikbaar voor individuele maatregelen, en vrijwel afwezig voor combinaties van maatregelen.

6. Toekomstbeelden

Leeswijzer. Hoofdstuk 6 brengt de inzichten uit eerdere opgaven bij elkaar, gebruik makend van de aanwezige stikstofopgaven (vanuit hoofdstuk 4) en het handelingsperspectief (vanuit hoofdstuk 5). Hiermee kan het landbouwsysteem van de toekomst vorm worden gegeven, waarin landbouwkundige doelen kunnen worden gerealiseerd met minimale impact op terrestrische en aquatische natuur. Dit hoofdstuk begint met de beschrijving van een aantal uitgangspunten die sturing geven aan mogelijke toekomstbeelden die weergeven hoe de landbouw in provincie Zuid-Holland vorm kan krijgen. In sectie 6.3 worden hiervoor drie archetypen gedefinieerd, namelijk “de veenboer”, “de brede boer”, en “de intensieve boer”. Na de introductie van deze archetypen wordt een reflectie gegeven op de benodigde economische context (sectie 6.4) en de daarmee samenhangende implicaties (sectie 6.5) voor de landbouw en het beleid.

Regionaal Maatwerk. De mogelijkheden tot het voorkomen van stikstofverliezen zijn sterk afhankelijk van het lokale bodem- en watersysteem en het landgebruik. Om die reden wordt voor de toekomst van de landbouw een ruimtelijke aanpak voorgesteld waarbij drie archetypen van landbouwbedrijven vorm geven aan een duurzame landbouw. Dit zijn “de veenboer”, “de brede boer” en “de intensieve boer”. De brede boer functioneert hierbij als buffer rondom natuurgebieden, en kan een breed pallet aan maatregelen inzetten om de verliezen van stikstof te beperken. Veelal komt dit neer op een extensivering van productiemethode: de aanvoer van stikstof per hectare gaat omlaag. In het veenweidegebied is het belangrijk om goed rekening te houden met de bodemkwaliteit en de oevers van watergangen goed te beheren. Daarbij past een voortzetting van de huidige extensieve bedrijfsvoering met veel weidegang. De intensieve boer zorgt met name op de productieve landbouwgronden voor minder stikstofverliezen, bij gelijkblijvende productie, via inzet van allerlei technische maatregelen. Hiermee kunnen de doelen voor landbouw, natuur en waterkwaliteit worden gerealiseerd.

6.1 De uitgangspunten

De landbouw staat voor een aantal grote uitdagingen. Voor een groot deel heeft dat te maken met de toenemende verwachtingen van overheid en markt rond het verduurzamen van de gewasproductie en het leveren van diensten aan gebiedsgerichte opgaven voor klimaat, waterkwaliteit, waterkwantiteit en biodiversiteit. Zo moet de agrarische sector een goede opbrengst blijven behalen met minder aanwending van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, moet zij kringlopen sluiten en de uit- en afspoeling van nutriënten naar het water en de verliezen van ammoniak verminderen. Tegelijkertijd is er een groeiende vraag naar meer weidegang, meer vogels, meer kruiden, meer koolstofopslag, meer waterberging en een betere bodemkwaliteit. En dat alles binnen de harde randvoorwaarde dat er voldoende geld verdiend moet worden om het bedrijf draaiend te houden op dure landbouwgrond. Wat betekenen deze opgaven nu voor het landbouwkundig bodemgebruik? Wat is binnen deze opgaven een duurzaam bodembeheer? Is het wenselijk om bepaalde vormen van landgebruik of bepaalde bemestingspraktijken te verbieden zodra de natuurkwaliteit of waterkwaliteit onder druk staat?

Bodemeigenschappen zijn in sterke mate bepalend voor de droogte- en uitspoelingsgevoeligheid van (landbouw)bodems. In een goede toestand leveren bodems belangrijke ecosysteemdiensten aan de maatschappij. Intensief land- en bodemgebruik heeft deze diensten echter aangetast. Zo heeft bodembewerking met zware machines op grote schaal geleid tot bodemverdichting en heeft intensieve bemesting, uniformering van teelten en het gebruik van bestrijdingsmiddelen en diergeneesmiddelen gezorgd voor een verminderde diversiteit aan bodemleven. De stapel rapporten en visies over een omslag naar een duurzamer systeem wordt groter en groter. Tegelijkertijd behoren de Nederlandse landbouwbodems nog tot de meest productieve bodems van Europa, is de benutting van stikstof en fosfor hoog, en worden allerlei maatregelen doorgevoerd om de biodiversiteit als ook de kwaliteit van de leefomgeving te versterken. Wat betekent dit nu concreet voor het beheer van landbouwbodems in de provincie Zuid-Holland?

En wat voor consequenties heeft dat voor het optimale landgebruik?

In dit hoofdstuk willen we een pleidooi voeren voor een landgebruik dat voortbouwt op de kwaliteit van de landbouwbodem waarbij rekening wordt gehouden met zowel de landbouwkundige opbrengst-potentie als de draagkracht van de leefomgeving. We kijken hierbij naar de huidige situatie als ook naar de mogelijke effecten van klimaatverandering op de primaire voedselproductie, en naar de optimale inzet van landbouwbodems voor de productie van voedselgewassen. Tussen de regels door vragen we daarbij expliciet aandacht voor het vakmanschap van de agrarische ondernemer: op het bedrijf worden de doelen van de hierboven genoemde uitdagingen pas echt concreet, en via management kan de boer als enige zorgdragen voor een duurzame landbouwbodem én de impact op de omgeving verkleinen.

6.2 De landbouwbodem als basis

De landbouw produceert voedsel voor zowel menselijke als dierlijke consumptie, en maakt daarbij gebruik van de bodem. Een vruchtbare landbouwbodem is daarmee één van de pijlers onder onze voedselvoorziening. Een landbouwbodem met een goede kwaliteit faciliteert deze gewasproductie door het leveren van water en nutriënten en het bieden van een voedingsbodem om in te groeien. Hierbij spelen chemische, fysische en biologische processen een rol. Vanuit het principe van goed ondernemerschap en rentmeesterschap is het gewenst om een bodemkwaliteit na te streven waarbij de gewasproductie maximaal wordt ondersteund door natuurlijke processen in de bodem. Meststoffen, beregening of gewasbeschermingsmiddelen moeten alleen gebruikt worden om eventuele tekorten vanuit de bodem te compenseren. Dit betekent ook dat deze hulpmiddelen op de tweede plaats staan; de natuurlijke bodemvruchtbaarheid is daarin leidend.

Een landbouwbodem maakt onderdeel uit van een groter ecosysteem, en is daarmee verbonden via het transport van water en het leven boven en onder de grond. Klimaatverandering zorgt bijvoorbeeld voor een langer groeiseizoen en grotere weersextremen waardoor de oogst niet altijd onder goede weersomstandigheden kan plaatsvinden en de teelt van een nagewas lastiger wordt. Structuurbederf ligt op de loer als ook verlies van nutriënten. Juist vanwege

deze connectie met de omgeving is het belangrijk om ook grenzen te stellen aan het landbouwkundig gebruik van een landbouwbodem. Vanwege de kwaliteit van die omgeving, maar ook vanwege de volhoudbaarheid van de landbouwproductie zelf, zeker als er een negatieve feedbackloop ontstaat die ingrijpt op de bodemprocessen die juist de gewasproductie ondersteunen. Het is zelfs mogelijk dat dit tot onherstelbare schade leidt. Elke bodem heeft dan ook natuurlijke grenzen, ook rondom het landbouwkundig functioneren. Dat aspect heeft in de afgelopen jaren nog weinig aandacht gekregen. Er is veel schaarste in landbouwbodems en er komen steeds meer claims bij (huizen, groene energieproductie, wegen, natuur) wat de grondprijs opdrijft. Dit kan ervoor zorgen dat gewasrotaties intensiveren en het aandeel rooivruchten – dat dikwijls een hogere opbrengst per hectare levert – wordt vergroot ten koste van het aandeel granen. Granen leveren per hectare minder op maar zijn wel belangrijk voor de aanvoer van organische stof naar de bodem. Tot slot wordt de bodem niet primair gewaardeerd op kwaliteit maar vooral op basis van het (extra) bedrijfsoppervlak. De gerealiseerde opbrengsten in de praktijk benaderen gemiddeld weliswaar de maximale opbrengst, maar grote verschillen tussen bedrijven en percelen laten zien dat via beter bodembeheer winst is te behalen. Maatwerk is hierbij het sleutelwoord.

De relatie met het milieu heeft de laatste jaren veel aandacht gekregen, in het bijzonder in relatie tot stikstof (naar de lucht en het watersysteem). Voor de melkveehouderij is dit heel concreet uitgewerkt in de systematiek van de KringloopWijzer. Maar anno 2025 zijn er nog steeds grote vragen rondom de effectiviteit van maatregelen op het specifieke bedrijf, rekening houdend met de kenmerken van de individuele percelen. Desondanks zijn hier wel heel concreet al stappen vooruit te zetten, grotendeels gebaseerd op expertkennis en vakmanschap van boeren. Het recent ontwikkelde BedrijfsBodem-WaterPlan is hier een mooi voorbeeld van. Meer generiek geldt ook dat het versterken van de natuurlijke capaciteit van de bodem als ook de inzet van biologische / natuurlijke plaagbestrijding winst oplevert voor het milieu en gezondheid. Voor de toekomst is het belangrijk dat juist op dit vlak gerichte kritische prestatie indicatoren worden ontwikkeld om de relaties tussen landbouw, milieu en gezondheid verder te onderbouwen.

6.3 Landbouwsystemen van de toekomst

De afgelopen jaren hebben diverse partijen schetsen gemaakt van hoe de Nederlandse landbouw er in de toekomst uit kan komen te zien (de Boer & de Olde, 2020, Rabobank, 2023, Ros et al., 2023b). Het is iedereen duidelijk dat er veranderingen nodig zijn om de uitdagingen het hoofd te bieden.

Hierbij zijn verschillende ontwikkelsporen te onderscheiden:

- **extensiveren** waarbij de opbrengst per hectare (of per bedrijf) uit primaire productie afneemt, de inzet van externe middelen (als kunstmest, krachtvoer, en gewasbeschermingsmiddelen) wordt beperkt, en de verliezen van stikstof naar water en lucht afnemen. Dit spoor kenmerkt zich door lage input en lage output.
- **innoveren** waarbij de opbrengst per hectare (of per bedrijf) gelijk blijft dan wel toeneemt, maar de inzet van externe middelen wordt ingeperkt. Dit resulteert in een efficiëntere productie met minder verliezen. Denk hierbij aan stalinnovaties, emissiearme mesttoediening, precisiebemesting en inzet van drones, elektrische apparatuur. Dit spoor kenmerkt zich door hoge input en hoge output, met lage emissies per kilogram product maar potentieel hoge verliezen per hectare.
- **verbreden** van activiteiten. Hierbij komt de focus van een bedrijf niet alleen op landbouwkundige productie te liggen en zijn aanvullende activiteiten onderdeel geworden van het verdienmodel van het landbouwbedrijf zoals recreatie, agrarisch natuurbeheer, landschappelijk erfgoed, of weidevogels. Dit spoor kan samengaan met zowel extensivering als innovatie.

Binnen de provincie Zuid-Holland en in het licht van de stikstofproblematiek, zijn al deze drie toekomstige ontwikkelingen inzetbaar om de stikstofimpact te verlagen, met name vanuit de grondgebonden teelten. De daadwerkelijke inpasbaarheid hangt samen met enerzijds het landschap en de bodem en anderzijds de voorkeuren, kennis en middelen van de boeren zelf. Voor de provincie Zuid-Holland is te denken aan de volgende toekomstbeelden:

- in het veengebied is de boer te kenmerken als “de veenboer”
- in de bufferzones rondom N2000-gebieden is er “de brede boer”
- in akkerbouwgebieden op rivier- en zeeklei is er “de intensieve precisieboer”

Elk van deze toekomstbeelden wordt hieronder uitgewerkt in relatie tot bedrijfsfilosofie, de in te zetten maatregelen en de bijbehorende impact op water- en natuurkwaliteit. We merken hierbij op dat we de glastuinbouw in deze toekomstanalyse niet expliciet hebben meegenomen. Vanuit lopend beleid en gerichte sturing op vermindering van lozingen wordt verwacht dat de belasting van stikstof naar het oppervlaktewater in deze sector sterk kan worden verlaagd (Schipper et al., 2025). Dit vereist geen verandering van de bedrijfsvoering maar een versnelde controle op lekkages in bassins en aanwezige lekkages bij kassen die vervolgens gerepareerd kunnen worden.

6.3.1 De veenboer

In het veenweidegebied treffen wij **veenboeren**. Ten opzichte van het begin van de eeuw houden deze boeren veel minder vee. Door veranderingen in het grondwaterpeil nam de productiviteit van het grasland af. Ook zijn ondanks pogingen om oevervegetatie te herstellen en behouden, percelen kleiner geworden tijdens het verhogen van het waterpeil. Langzamerhand is de oevervegetatie uiteindelijk hersteld. Het extensievere beheer en de grotere diversiteit van planten in en rondom de sloten trekt meer insecten en vogels aan. Door een combinatie van agrarische nevenactiviteiten die profiteren van de toegenomen biodiversiteit en betalingen van lokale overheden voor het ecologisch slootbeheer, verdienen de hoeders van het veen nog steeds een belegde boterham.

Maatregelen waar deze boeren gebruik van hebben gemaakt staan in Tabel 6.1. Met een combinatie van deze maatregelen is het mogelijk om het stikstofbodemoverschot te verlagen met ongeveer 10-30 kg N ha⁻¹ en de ammoniakemissie met ruim 20 kg N-NH₃ ha⁻¹.

Tabel 6.1. Maatregelen geschikt voor melkveebedrijven in veenweidegebied en een inschatting van hun effect op stikstofemissies naar oppervlaktewater, grondwater en atmosfeer (depositie). Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Maatregel	Oppervlaktewater	Grondwater	Stikstofdepositie
10% minder kunstmest bij een NLV > 50 kg N/ha	+ / ++	+	+
20% minder werkzame N-aanvoer	++(+)	++	++
Ureum kunstmest vermijden	0/+	0/+	+
Bereken N aanvoer met een hogere werkingscoëfficiënt voor dierlijke mest	++	++	++
Inwerken ammonium meststoffen	0	0	++
Geen kunstmest toedienen voordat de TSOM > 400 graden	+	+	0
Beperk beweiding als de percelen nat zijn	+	+	0
Schrap de N-kunstmestgift voor de laatste snede	+	+	0
Dierlijke mest verdund uitrijden	0/+	0/+	+
Optimalisatie voederrantsoen (eiwit, verteerbaarheid)	+	+	++
Optimalisatie beweiding	0	0	+
Voederadditieven	0	0	++
Verhoog leeftijd van dieren	0/+	0/+	0/+
(Biologisch) aanzuren van mest in stal en opslag	0	0	++
Netjes werken bij mesttoediening	0	0	+
Bufferstroken	++	0	+
Omschakelen naar biologisch	0/+	0	+

6.3.2 De brede boer

In de bufferzones rondom de stikstofgevoelige N2000-gebieden treffen we twee soorten boeren, de meeste zijn **brede boer** geworden, net als de boeren van het veen, hebben zij hun bedrijfsactiviteiten verbreed en is het productieniveau afgenomen, maar hier door bewust lager middelen gebruik om het land meer natuur inclusief in te richten. De maatregelen in Tabel 6.1 zijn ook te gebruiken door brede boer melkveebedrijven.

De **brede akkerbouw boeren** houden het technologisch eenvoudiger. Zij gebruiken minder (kunst) mest dan voorheen en een groter deel van het areaal wordt gebruikt voor natuur inclusieve doeleinden zoals vogelakkers, heggen, bloeiende akkerranden of

andere landschapselementen. De productiviteit is hierdoor wat afgenomen. Deze boeren compenseren dat door verbredende activiteiten zoals educatie, streekproducten, zorg, direct aan consumenten verkopen of vergoedingen voor aanvullend natuurbeheer. Maatregelen voor brede boer akkerbouw en groenteteelt bedrijven staan in Tabel 6.2. Met deze maatregelen is het mogelijk om het stikstofbodemoverschot op akkerbouwbedrijven te verlagen met meer dan 50 kg N ha⁻¹ op klei en 40-50 kg N ha⁻¹ op zand. Voor **brede boer melkveebedrijven** kan het stikstofbodemoverschot met ongeveer 10-30 kg N ha⁻¹ worden verlaagd. De potentiële reductie in ammoniak is 5-10 kg N ha⁻¹ voor akkerbouwbedrijven en ongeveer 20 kg N ha⁻¹ voor melkveebedrijven.

Tabel 6.2. Maatregelen geschikt voor akkerbouw die inzetten op verbreding van activiteiten en extensiveren van de bedrijfsvoering. Deze maatregelen zijn bedoeld om de stikstof uitstoot naar lucht en of water te verminderen. Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Maatregel	Oppervlaktewater	Grondwater	Stikstofdepositie
15% minder werkzame N-aanvoer bij uitspoelingsgevoelige gewassen	++	++	+
20% minder werkzame N-aanvoer	++	++	+
Werk ureum of ammonium meststoffen in of injecteer deze	0	0	++
Pas de stikstofbemesting aan op basis van Nmin bemonstering	+	++	+
Gebruik nitrificatie remmers of langzaam-werkende meststoffen in het voorjaar	+	+	++
Verlaag N-gift bij rijenbemesting van maïs en suikerbiet	+	+	+
Houdt rekening met N-nalevering van de voorvrucht of groenbemester	+	+	+
Gebruik geen stikstofbijmeststelsysteem op percelen met hoge mineralisatie (NLV>80)	+	+	0/+
Dien dierlijke mest zo vroeg mogelijk toe	+	+	0/+
Gebruik groenbemesters indien mogelijk	+	+	0
Afvoeren en verwerken van stikstofrijke gewasresten	+ / ++	+ / ++	0
Gebruik vanggewassen na akker- en tuinbouw teelten indien mogelijk	+	++	0
Verwijder nitraat uit drainagewater bij bollenteelt	0 / ++	0	0

6.3.3 De intensieve precisieboer

Enkele melkveebedrijven in de bufferzones hebben fors ingezet op technieken om hun uitstoot te verminderen onder het ammoniak plafond, zonder in te leveren op productie. Deze **melkvee precisieboeren** konden door te vergroten emissiearme stallen met luchtwassers bouwen waar de dieren jaarrond verblijven. Er is daarmee minimale beweiding, en alleen in het voorjaar en de zomerperiode. De aangezuurde mest wordt deels verwerkt en afgevoerd, de overige mest wordt emissiearm toegediend. Voor de hoge investeringen die nodig waren voor de transitie was schaalvergroting nodig. Een melkveeprecisieboer kan diens N-bodemoverschot verlagen met ongeveer 10-30 kg N ha⁻¹ en een ammoniakemissiereductie behalen van 20-25 kg N ha⁻¹ (Figuur 5.4). Gegeven de huidige ammoniakemissie van 40-45 kg N ha⁻¹ (zie sectie 3.2) is een halvering van emissies realistisch haalbaar.

Ook in de akkerbouwgebieden treffen wij brede- en precisie boeren aan. De **akkerbouw precisieboeren** hebben volop ingezet precisiebemesting, vaste rijpaden en geïntegreerde gewasbescherming. Meerdere bedrijven gebruiken of experimenteren met strokenteelt en een enkel bedrijf heeft zelfrijdende machines die plaatsspecifieke handelingen uitvoeren. Deze bedrijven hebben een deel van hun areaal af moeten staan ten behoeve van het milieu in de vorm van bufferstroken. Echter, door de verbeteringen in bemesting en gewasbescherming zijn de opbrengsten er niet minder om.

Een overzicht van maatregelen waar precisieboeren gebruik van kunnen maken staat in Tabel 6.3. Hiermee is het mogelijk om het stikstofbodemoverschot op precisie-akkerbouwbedrijven te verlagen met meer dan 50 kg N ha⁻¹ op klei en 40-50 kg N ha⁻¹ op zand. De potentiële ammoniakemissiereductie op akkerbouwbedrijven is 5-10 kg N ha⁻¹.

Tabel 6.3. Maatregelen om de stikstof uitstoot van intensieve landbouwbedrijven te verminderen. Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Maatregel	Oppervlakte- water	Grond- water	Stikstof- depositie	Bedrijfstype
Ureum kunstmest vermijden	0/+	0/+	+	Beide
Werk ureum of ammonium meststoffen in of injecteer deze	0	0	++	Beide
Geen kunstmest toedienen voordat de TSOM > 400 graden	+	+	0	Veehouderij
Gebruik nitrificatie remmers of langzaam werkende meststoffen in het voorjaar	+	+	++	Beide
Dierlijke mest verdund uitrijden	0/+	0/+	+	Beide
Volledig maaien, niet beweiden	+	+	+	Veehouderij
Optimalisatie voederrantsoen (eiwit, verteerbaarheid)	+	+	++	Veehouderij
Voederadditieven	0	0	++	Veehouderij
(Biologisch) aanzuren van mest in stal en opslag	0	0	++	Veehouderij
Netjes werken bij mesttoediening	0	0	+	Beide
Aanzuren van mest bij toediening	0	0	++	Beide
Bufferstroken	++	0	+	Beide
Stalvloer aanpassingen	0	0	++	Veehouderij
Mest bewerking/vergistings	0	0	++	Veehouderij
Stalvloeren en rooster spoelen	0	0	+	Veehouderij
Luchtwassers in stallen	0	0	+++	Veehouderij
Dagontmesting en bewerking	0	0	++	Veehouderij
Dien dierlijke mest emissiearm toe en werk het zo snel mogelijk onder	0	0	+	Beide
Gebruik groenbemesters indien mogelijk	+	+	0	Akkerbouw
Afvoeren en verwerken van stikstofrijke gewasresten	+ / ++	+ / ++	0	Akkerbouw
Gebruik vanggewassen na akker- en tuinbouw teelten indien mogelijk	+	++	0	Akkerbouw
Verwijder nitraat uit drainagewater bij bollenteelt	0 / ++	0	0	Bollen
Teel geen uitspoeling gevoelige gewassen op uitspoeling gevoelige gronden	0	++	0	Akkerbouw
Bevorder denitrificatie door peilverhogen, tijdelijke inundatie of gebruik van koolstofrijke substraten	0	0	+	Akkerbouw
Verlaag N-gift bij rijenbemesting van maïs en suikerbieten	+	+	+	Akkerbouw

In bovenstaande tabellen staan alleen maatregelen die de uitstoot van stikstof naar lucht, oppervlakte- en grondwater verminderen. Er zijn nog meer maatregelen die overwogen moeten worden om de benodigde water- en natuurkwaliteit te bereiken (zie Ros & de Vries, 2025c). Dit zijn maatregelen specifiek gericht op fosfaat zoals ijzerrijke drains gebruiken of die direct de ecologische kwaliteit van sloot of natuur beïnvloeden zoals alternatief slootbeheer en plas-dras percelen.

6.4 De economische context

Recent heeft de Rabobank een positiepaper geschreven waarbij ze ingaan op het lange-termijn-perspectief voor de agrofoodsector; een positiepaper die een waardevolle reflectie biedt op mogelijke veranderingen in de economische context van landbouwbedrijven. Dit perspectief hangt samen met twee factoren: (i) zet de overheid het huidige “middelenbeleid” voort of stapt het over op een

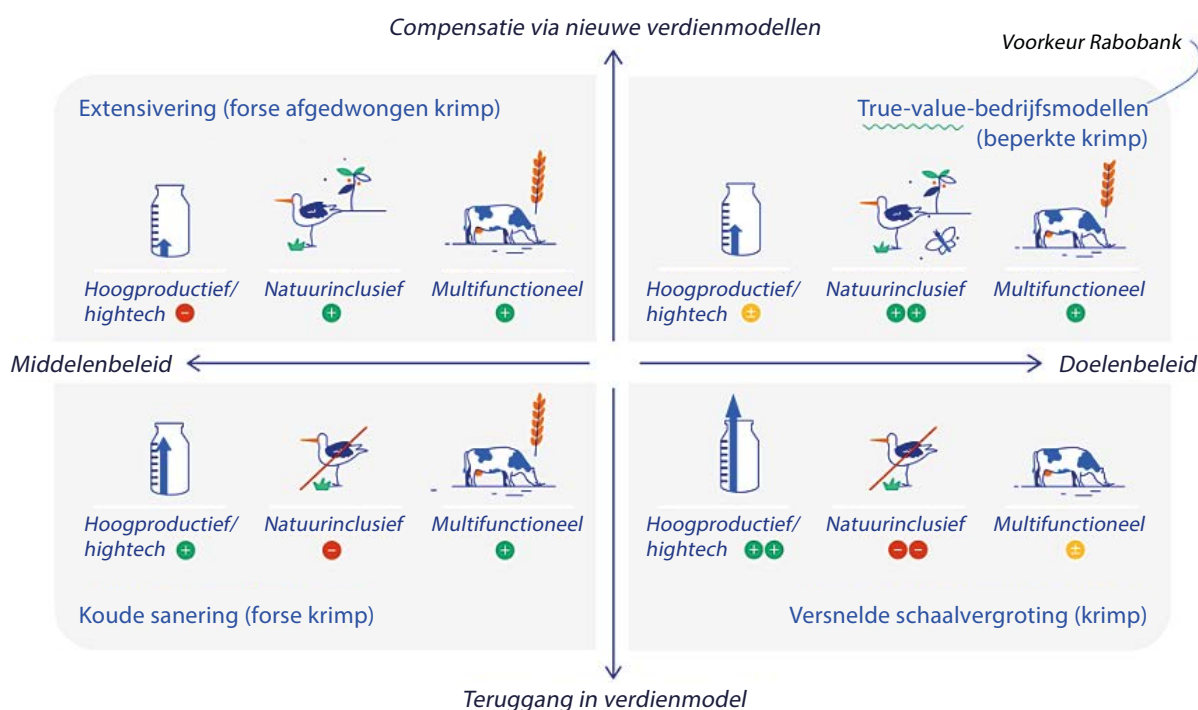
“doelenbeleid” met meer keuzevrijheid voor bedrijven, en (ii) worden de kosten om duurzamer te produceren betaald door de agrarische ondernemer of krijgt deze betaald voor zijn (positieve) bijdrage aan een duurzamer wereld.

In alle beleidsmatige projecties wordt aangenomen dat het voldoen aan de maatschappelijke wensen voor een duurzame landbouw en het leveren van een grotere bijdrage aan de brede welvaart in de meeste sectoren krimp van de productie met zich mee zal brengen. De mate waarin krimp plaatsvindt en de verdienmogelijkheden bij een kleinere productie, hangen sterk af van de keuzes die overheid, keten en consumenten gaan maken. De positionpaper onderscheidt hierbij vier scenario's (zie Figuur 6.1):

In het eerste scenario van **koude sanering** (Figuur 6.1, linksonder) is er sprake van forse krimp, waarbij keten en overheid niet betalen voor de benodigde verduurzaming in de primaire sectoren. De sector krimpt omdat veel agrarische ondernemers geen verdienmodel meer hebben. Omdat er een forse krimp van de productie plaatsvindt worden er weinig kosten voor verduurzaming gemaakt. De verduurzaming komt voor een deel uit krimp. Bedrijven die wel investeren in verduurzaming vangen de kosten op door forse schaalvergroting en/of een multifunctionele bedrijfsvoering. Vooral

in de melkveehouderij, waar bedrijven vaak nabij stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden liggen, zoals in het Groene Hart, is de impact groot. Bedrijven verdwijnen, en daarmee ook werkgelegenheid, kennis, familiebedrijven en sociale samenhang. De ecologische winst is duidelijk: lagere stikstofuitstoot, ruimte voor natuurherstel en verbetering van waterkwaliteit. In de akkerbouw zijn de gevolgen van een koude sanering minder ingrijpend. Deze bedrijven bevinden zich vaker op strategisch gunstige locaties zoals kleigronden in de Hoeksche Waard of Goeree-Overflakkee, hebben meer kapitaalcracht en lagere stikstofemissies.

In dit scenario wordt het aantal generieke maatregelen uitgebreid en worden bestaande maatregelen aangescherpt. Voorbeelden zijn een (strenger) ammoniak plafond voor melkveebedrijven, lagere bemestingsnormen, een kleiner gewasbeschermingsmiddelen pakket, meer verplichting tot het inzaaien van vanggewassen en het verbieden van uitspoeling gevoelige teelten als bloembollen en groenten op uitspoeling gevoelige bodems. In Zuid-Holland heeft dit scenario de grootste impact op melkveebedrijven. Voor deze bedrijven is er beperkt ruimte voor brede boeren. Melkveebedrijven die er niet in slagen de gedwongen krimp het hoofd te bieden met andere verdienmogelijkheden zullen verdwijnen. Het land wat hierbij vrijkomt zal voor een deel gebruikt



Figuur 6.1. Mogelijke scenario's voor de toekomst van de agrifoodsector in Nederland (Bron: Rabobank, 2023).

worden door precisieboeren die het nodig hebben voor hun schaalvergroting. Ook bedrijven die bloembollen verbouwen zouden het lastig kunnen krijgen als bepaalde teelten aan banden worden gelegd en er minder gewasbeschermingsmiddelen beschikbaar zijn. Voor akkerbouwbedrijven zullen er relatief weinig veranderingen zijn ten opzichte van de huidige situatie. Er zal weinig technologische innovatie zijn onder akkerbouwbedrijven. Akkerbouwbedrijven die niet kunnen verbreden of innoveren zullen waarschijnlijk minder verdienen door een toename in generieke maatregelen als het korten op bemestingsnormen of verkleining van de ruimte om gewasbeschermingsmiddelen te gebruiken.

In de situatie van een **versnelde schaalvergroting** (Figuur 6.1, rechtsonder) ligt de focus op economisch efficiënte productie op grote bedrijven die binnen de milieunormen produceren als gevolg van het doelenbeleid van de overheid. Daar waar geen ruimte is voor schaalvergroting, vindt sanering plaats. Keten en overheid betalen niet voor de benodigde verduurzaming. De afzet van de duurzame productie van deze bedrijven is gericht op Europese consumenten en de hoogwaardige wereldmarkt. In dit scenario verdwijnen kleine bedrijven door economische druk, maar worden hun gronden en productiemiddelen overgenomen door grotere, efficiëntere ondernemingen. De productie daalt niet per se, maar concentreert zich bij minder bedrijven. Voor de melkveehouderij kan dit kansen bieden voor innovatieve ondernemers die investeren in emissie-arme stallen, mestverwerking en precisielandbouw. Toch past schaalvergroting niet overal even goed. In Zuid-Holland, waar de ruimte schaars is en functies als natuur, recreatie en woningbouw concurreren met landbouw, stuit schaalvergroting op praktische en politieke grenzen. Voor de akkerbouw biedt dit scenario vooral voordelen. Op geschikte gronden in het noorden en westen van de provincie kunnen grotere bedrijven hun efficiëntie verhogen, bijvoorbeeld via robotisering en slimme teeltmethoden. Wel dreigt ook hier verlies van landschappelijke variatie en biodiversiteit. Ook voor bedrijven met veel sierteelt zijn er in dit scenario kansen om uit te breiden.

Bij de situatie van **afgedwongen krimp** (Figuur 6.1, linksboven) bepaalt de overheid hoe groot de sector mag zijn en welke (veelal natuurinclusieve) productiewijze ondernemers mogen toepassen. Met normering, middelenbeleid en betaling voor

groenblauwe diensten stuurt de overheid op extensivering, waarbij de landbouw bewust wordt teruggeschakeld. Boeren produceren met minder dieren of lagere input per hectare, vaak in combinatie met natuurbeheer of landschapszorg. Deze forse en deels afgedwongen krimp wordt gestuurd via beleid, bijvoorbeeld door het beperken van meststoffen (dierlijke mest of kunstmest), het verlagen van veedichtheid of het verbieden van bepaalde gewasbeschermingsmiddelen. Voor melkveehouders in veenweidegebieden van Zuid-Holland, zoals de Krimpenerwaard of Midden-Delfland, betekent dit een ingrijpende omschakeling. Minder opbrengst betekent lagere inkomsten, tenzij hier publieke vergoedingen tegenover staan. De ecologische baten zijn hoog: herstel van weidevogels, schoner water en hogere bodemkwaliteit. Als vanuit overheden en de keten het verdienvermogen van melkveebedrijven in de veenweide voldoende wordt ondersteund, kunnen de veenboeren floreren als hoeders van het veen. In de akkerbouw is de omslag minder ingrijpend maar nog steeds aanzienlijk. Boeren zullen overstappen op minder intensieve gewassen of biologische teelten, en er ontstaat ruimte voor mengvormen van natuur en landbouw, mits de markt of overheid hier een prijs aan hangt. Daarnaast kunnen bedrijven ook economisch rendabel zijn door verbreding van de bedrijfsvoering. Agrarische ondernemers voor wie extensivering en/of verbreding geen haalbaar bedrijfsmodel is, zullen gedwongen zijn hun bedrijf te beëindigen. Er zullen in dit scenario minder precisieboeren zijn in vergelijking met andere scenario's.

De laatste optie van **true value bedrijfsmodellen** (Figuur 6.1, rechtsboven) verrekent de keten de kosten en baten van verduurzaming in de productprijzen (door slimme ketenconcepten) en betaalt de overheid aanvullend voor groenblauwe diensten. Ook in dit scenario is krimp te verwachten, maar doordat het verdienmodel voldoende blijft, is de krimp minder fors. Het biedt een hoopvoller toekomstbeeld waarin landbouwbedrijven beloond worden voor hun maatschappelijke meerwaarde. Denk aan het leveren van biodiversiteit, landschapsbeheer, koolstofvastlegging of het verkorten van voedselketens. In dit scenario wordt de landbouw niet primair gestuurd op volume, maar op kwaliteit en maatschappelijke relevantie. Voor melkveehouders in Zuid-Hollandse overgangsgebieden tussen stad en platteland, zoals in Midden-Delfland, biedt dit veelbelovende perspectieven. Hier kunnen brede boeren floreren door hun ligging dicht bij de

consument kunnen ze zich onderscheiden met streekproducten, boerderijverkoop of agri-toerisme. Ook in de akkerbouw liggen hier kansen, bijvoorbeeld voor de teelt van bijzondere, lokale gewassen of samenwerking met voedselcoöperaties. De krimp in aantal bedrijven is in dit scenario beperkt, en ondernemers die willen innoveren en zich verbinden met maatschappelijke opgaven kunnen hier hun plek behouden of zelfs versterken. Boeren zijn in staat om te investeren in omschakeling, extensivering, innovatie en/of verplaatsing en zitten daardoor zelf meer aan het stuur. Zowel brede boeren als precisieboeren kunnen zich in dit scenario ontwikkelen. De combinatie van een doelenbeleid en nieuwe verdienmodellen geeft een goede basis om de verduurzaming van de landbouw vorm te geven en de bijdrage aan de brede welvaart te vergroten.

Wanneer men deze scenario's afzet tegen de ruimtelijke diversiteit van Zuid-Holland, wordt duidelijk dat de toekomst van de landbouw niet uniform zal zijn. Naast ruimtelijke diversiteit is onduidelijk of, en zo ja wanneer, de samenleving kiest voor een herwaardering van voedselproductie binnen een natuurinclusief productiesysteem. Dit hangt samen met de hoge grondwaarde als ook de lage prijs voor voedsel. De melkveehouderij zal over het algemeen meer moeten veranderen, met name door milieu-regulering en ruimteclaims, terwijl de akkerbouw - afhankelijk van ligging en bedrijfsstrategie - flexibeler kan inspelen op veranderende omstandigheden. Een ruimtelijke zonering waarbij het type bedrijf aansluit bij de aanwezige opgaven kan hierbij een rol spelen. In landschappelijk waardevolle of ecologisch kwetsbare gebieden zijn er daardoor meer kansen voor extensivering of true-value modellen, terwijl in intensieve landbouwgebieden ruimte kan zijn voor schaalvergroting en optimalisatie. De toekomst van de landbouw zal dus afhangen van het samenspel tussen beleid, markt en maatschappelijke waardering. Elke keuze brengt winnaars en verliezers met zich mee, maar juist door ruimtelijke differentiatie, sectorale nuance en slimme (beleids) sturing kan een balans gevonden worden tussen economische vitaliteit en ecologische duurzaamheid.

Twee sturende principes

De Zuid-Hollandse landbouwsector moet verder verduurzamen om de diverse opgaven het hoofd te

bieden. Hoe bedrijven dit zullen doen en hoe de sector zich verder zal ontwikkelen, kan voorgesteld worden aan de hand van twee aspecten. Ten eerste, de mate waarmee maatregelen worden opgelegd dan wel gestimuleerd via bedrijf of gebied specifieke doelstellingen. Ten tweede, de mate en manier waarop landbouwbedrijven worden gecompenseerd voor getroffen maatregelen.

Het opleggen van aanvullende maatregelen is een uitbreiding van de huidige praktijk waarbij vanuit wetgeving vrij generieke maatregelen worden afgedwongen zoals het verplicht inzaaien van groenbemesters (kalenderlandbouw), bufferstroken en gebruiksnormen. Dit heeft in het verleden gewerkt en de milieubelasting van de landbouw verlaagd. Deze manier van maatregelen opleggen leidt echter tot steeds meer weerstand onder boeren en blijkt weinig effectief te zijn door de grote variatie tussen bedrijven. Generieke maatregelen zijn namelijk minder geschikt voor gebieds-specifieke problemen. Tegenover aanvullende maatregelen opleggen, staat het stimuleren van maatregelen door (lokaal) doelen te formuleren en bedrijven verantwoordelijk te maken voor het behalen van deze doelen. Deze aanpak wordt aangeduid als doelsturing. De gedachte is hierbij dat ondernemende boeren op deze manier beter in staat zijn om effectieve maatregelen te treffen voor hun plaatselijke context. Hiervoor is het echter wel nodig dat boeren beschikken over voldoende middelen (kennis, financiering, ruimte en tijd) om maatregelen te implementeren en voldoende stimulans om mee te werken (wat gebeurt er als doelen wel of niet worden gehaald).

Ongeacht of nieuwe maatregelen worden opgelegd of worden gestimuleerd met doelsturing, het implementeren van nieuwe maatregelen brengt kosten met zich mee voor de boer die maatregelen treft. Hoe, en in welke mate deze kosten worden gecompenseerd zal bepalend zijn voor de mogelijkheid en bereidheid van boeren om maatregelen uit te voeren. Kosten zouden doorberekend kunnen worden in de kostprijs van het product en uiteindelijk grotendeels bij de consument komen te liggen⁷. Een alternatief is dat de belastingbetaler de compensatie betaalt en dat deze via subsidies of betalingen bij boeren terecht komen. Op dit moment komen

⁷ Kosten doorbereken aan de consument zal waarschijnlijk negatieve gevolgen hebben voor de exportpositie van Nederlandse landbouwproducten als de kostprijs van landbouwproducten in omliggende landen niet ook stijgt.

beide vormen van compensatie voor: voor diverse maatregelen kunnen boeren subsidies krijgen, bijvoorbeeld via beheerpakketten en er is een scala aan vrijwillige keurmerken waar een boer meer geld kan krijgen door aan specifieke voorwaarden te voldoen. Als boerenbedrijven niet voldoende gecompenseerd worden voor aanvullende maatregelen, valt te verwachten dat bedrijven moeten stoppen.

6.5 Implicaties

Implicaties voor landbouwpraktijk

De schets van toekomstige landbouwbedrijven en de toekomstbeelden laten zien dat er niet één ontwikkelpad bestaat. Afhankelijk van de locatie, de huidige bedrijfsstructuur, persoonlijke drijfveren en beleidskeuzes zullen bedrijven zich op verschillende manieren ontwikkelen, aansluitend op de lokale situatie qua opgave (zie sectie 4) en het aanwezige handelingsperspectief (zie sectie 5).

Voor de veehouderij, heeft de provincie gekozen voor een ammoniakproductieplafond. Dit schept een extra grens waarbinnen bedrijven moeten opereren. Bedrijven die al relatief weinig ammoniak uitstoten hoeven daardoor niet veel te veranderen. Andere bedrijven zullen moeten extensiveren of innoveren. Voor bedrijven in het veenweidegebied zal het vaak meer voor de hand liggen om te extensiveren omdat dit beter samengaat met de andere uitdagingen in deze gebieden (waterkwaliteit, broeikasgasuitstoot, biodiversiteit). Voor melkveebedrijven op klei en zavel zijn er meer mogelijkheden om met technologische oplossingen binnen de milieukundige kaders te blijven. De vaststelling van landelijke of provinciale emissieplafonds als ook het strategisch opkoopbeleid van de provincie, waarbij grond van natuurlijke stoppers wordt gekocht, zal bepalend zijn voor waar en in welke mate bedrijven in staat zijn hun schaalgrootte uit te breiden.

Voor akkerbouw- en groenteteelt is de ammoniakopgave minder groot. Toch zullen ook deze bedrijven zich moeten aanpassen, met name omwille van de waterkwaliteit, maar ook vanwege de opgaven voor klimaat, waterbeschikbaarheid en biodiversiteit. Deze aanpassingen kunnen zowel technologisch als extensiverend van aard zijn. Dit zal in grote mate afhangen van de bedrijfsstructuur en voorkeuren van individuele boeren maar wordt ook

beïnvloed door de mate van stimulering van bepaalde praktijken en technologieën door subsidies, samenwerkingsverbanden en kennisdisseminatie. Elke transitie van landbouwbedrijven vraagt uiteindelijk ook om een verandering in inkomstenbronnen. Een deel van de bedrijven zal diversifiëren en het inkomen uit landbouwkundige productie aanvullen met nevenactiviteiten. Bedrijven die extensiveren zullen ook andere manieren moeten vinden om hun verdienvermogen te vergroten, en dit krijgt vorm in samenspraak met overheid en markt. Bijvoorbeeld door een hogere prijs te krijgen voor de producten door deze af te zetten als streekproducten, waardeverhogende certificeringen zoals biologisch of on the way to planet proof, of betalingen krijgen van overheden voor geleverde ecologische diensten. De hier beschreven bedrijfstypen en verdienmodellen zijn niet geheel nieuw. Er bestaan al vooruitlopende bedrijven die natuurbeheer, nevenactiviteiten en andere verdienmodellen hebben opgenomen in hun bedrijfsvoering⁸. Of en in welke mate dit opschaalbaar is naar de hele provincie, blijft onderwerp van discussie. De recente studie van Jongeneel et al (2024) concludeert dat de benodigde maatregelen om emissies van stikstof te reduceren leiden tot (zeer) negatieve gevolgen voor het financiële inkomen van agrarische ondernemers. Zo variëren de verwachte inkomensverliezen in de melkveehouderij van 28% tot 201% vergeleken met het huidige inkomen. In de akkerbouw gaat het om een daling tussen de 10% en 63%. De cijfers laten zien dat de continuïteit van een flink aantal bedrijven ernstig wordt bedreigd als de doorgerekende maatregelen zonder hulp van de markt of overheid worden ingevoerd.

Implicaties voor beleid

Wegens de verscheidenheid aan gebieden, opgave en de diversiteit in bedrijven en ontwikkelrichtingen, is er niet één set maatregelen of beleidsinstrumenten om de transitie volledig in goede banen te leiden. De huidige beschikbare lijsten aan maatregelen en vastgestelde doelen voor een ammoniak emissieplafond en de implementatie van KRW en de KDW, vormen de kaders waarbinnen het nieuwe systeem zich moet vormen. Deze landelijke kaders vergen echter wel een lokale invulling, waarbij deze invulling bij voorkeur moet aansluiten bij de kenmerken van het gebied. Deze vertaalslag kan vorm krijgen via al bestaande gebiedsprocessen maar vereist wel coördinatie om integraliteit en

8 Zie bij voorbeeld: https://www.natuurlijkboeren.nl/onze_boeren

kosteneffectiviteit te waarborgen. Daarnaast zullen boerenbedrijven ook individueel aan de slag moeten om stikstofemissies naar lucht en water terug te dringen. Er zijn verschillende instrumenten inzetbaar om hiervoor de eerste stappen te zetten, maar verdere koppeling van bedrijfsresultaten met gebiedsspecifieke monitoring en borging van doelbereik is gewenst.

De provincie wil strategisch grondbeleid voeren om hiermee bedrijven te verplaatsen en/of extensiveren. Het opkopen van grond en stikstofrechten van natuurlijke stoppers bemoeilijkt schaalvergroting voor andere bedrijven doordat grond en stikstofrechten schaarser en of duurder worden. Dit vereist een integrale afweging in relatie tot ingezette middelen en doelbereik. Ook vereist het afstemming met landelijke beleidsontwikkelingen rondom doelsturing en mestbeleid. De Zuid-Hollandse landbouw draagt overigens beperkt bij aan de depositie in de eigen regio; het merendeel van de depositie heeft een andere oorsprong. Naast een gebiedsgericht beleid voor ammoniak start de

provincie met een extra maatregelspoor om de uitstoot van stikstofoxiden te verlagen.

Het is zinvol om boeren en gebiedspartijen bij de besluitvorming te betrekken om draagvlak te behouden en gebiedsspecifieke ontwikkeling mogelijk te maken. De provincie heeft geëxperimenteerd met digitale participatie met de [Polis pilot](#) welke wordt doorgezet via [praatmeemeteoverheid.nl](#). Dit is een kans om op een laagdrempelige manier, niet polariserende gesprekken te hebben met en tussen burgers, boeren en andere belanghebbende, over lokale uitdagingen en oplossingen.

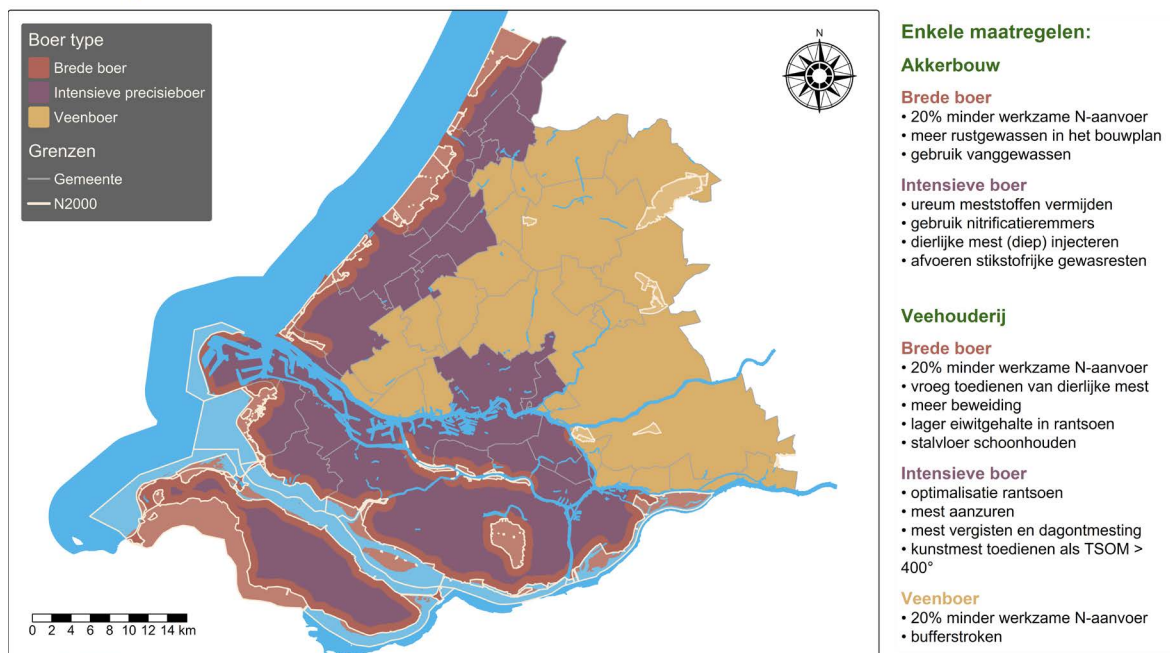
7. Vooruitblik

Het landelijk gebied staat voor grote en complexe opgaven die samenhangen met de kwaliteit van bodem, water en atmosfeer. De complexiteit ervan is uitdagend en vraagt vanwege de maatschappelijke urgentie om concrete oplossingen waarbij maatwerk gecombineerd moet worden met een geborgde verlaging van de impact van landbouw op het milieu. Binnen deze context zoekt provincie Zuid-Holland naar inzichten om gebiedsgericht en integraal te sturen op stikstof, en daarmee de cascade van effecten op de terrestrische en aquatische natuur te beperken. De hoofdvraag van deze studie is gericht op de inhoudelijke relatie tussen natuur, stikstofbelasting en waterkwaliteit (chemisch en ecologisch). Stikstof is essentieel voor plantengroei. Op dit moment komt er echter te veel stikstof in de lucht als ammoniak en stikstofoxiden, en spoelt er teveel stikstof uit de bodem naar het oppervlaktewater en het grondwater. Een teveel aan stikstof heeft negatieve gevolgen voor terrestrische en aquatische biodiversiteit. Om emissies naar zowel lucht als oppervlakte- en grondwater te verminderen, zijn maatregelen nodig. In deze studie wordt een inhoudelijke beschrijving gegeven van de onderliggende processen die het gedrag van stikstof sturen, als ook van de uitdagingen rondom stikstof voor zowel water als natuur, en het handelingsperspectief. Op basis hiervan zijn diverse toekomstige beelden geschetst van de landbouw binnen de provincie,

met bijbehorende concrete maatregelpakketten waarmee de verschillende opgaven kunnen worden gerealiseerd.

In deze studie laten we zien dat de benodigde inzet van maatregelen sterk kan variëren binnen de provincie in relatie tot landgebruik, grondsoort, grondwatertrap en nabijheid tot natuur. In de toekomst is het gewenst om de landbouwpraktijk als ook het ondersteunend beleidsinstrumentarium hierop aan te laten sluiten. Dit betekent concreet een uitwerking van een zoneringsaanpak met doelsturing per bedrijf. In deze studie onderscheiden we hierbij “de veenboer”, “de brede boer” en “de intensieve boer” als archetype bedrijfssystemen waarbij het vakmanschap van de boer wordt ingezet om concrete doelen voor het stikstof-bodemoverschot en ammoniakemissies te realiseren, en daarnaast een positieve bijdrage te leveren aan de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater als ook de kwaliteit van N2000-gebieden binnen de provincie (Figuur 7.1). Een gezamenlijke inzet van de landbouw met andere gebiedspartijen (industrie, rwzi's, verkeer, glastuinbouw, waterschap) blijft nodig om de nadelige effecten van stikstof op natuur te beperken dan wel te voorkomen.

Landbouwsystemen van de toekomst



Figuur 7.1. Indicatieve kaart van waar welk boer-type voor kan komen en enkele maatregelen die akkerbouwers en melkveehouders kunnen implementeren per boer-type. Er zijn geen akkerbouw-veenboeren omdat akkerbouw op veen landbouwkundig en milieukundig niet gewenst is. Het gebied voor brede boeren is aangewezen als een buffer rondom N2000-gebieden, het gebied voor veenboeren komt overeen met de gemeenten in het ZH-PLG gebied veenweiden (Provincie Zuid-Holland, 2023).

Vanuit wetenschappelijk oogpunt concluderen we:

- Dat er altijd stikstofverliezen optreden vanuit industrie, verkeer en landbouw. De emissies voor stikstofoxiden laten daarbij een consistente dalende trend zien. De emissies voor ammoniak zijn sinds de jaren negentig sterk gedaald, maar zijn vervolgens gestabiliseerd in de laatste tien jaar. Om de doelen voor terrestrische en aquatische natuur te realiseren, moet de uitstoot nog verder omlaag. Er is brede consensus dat de uitstoot verder omlaag moet.
- Dat er binnen provincie Zuid-Holland nog veel perspectief ligt om de uitstoot van ammoniak uit de landbouw te verlagen als ook de uit- en afspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater. Dit blijkt uit de grote variatie in uitstoot tussen landbouwbedrijven, als ook uit modelberekeningen, recente literatuur en inventarisaties. Met bestaande maatregelen en innovaties is het mogelijk om de uitstoot van ammoniak te halveren en blijft de nitraatconcentratie in het grondwater onder de nitraatnorm. Ook de restopgave voor stikstof voor het oppervlaktewater ligt binnen handbereik.
- Dat een coherente aanpak gewenst is om te zorgen voor synergie in beleidsopgaven voor landbouw (nitraat), natuur (ammoniak),

waterkwaliteit (stikstof), en klimaat (lachgas). Effecten van stikstof zijn divers en zichtbaar op verschillende schaalniveaus. Reducerende maatregelen voor ammoniak hebben daarbij lokaal en regionaal een groter effect dan reducerende maatregelen voor stikstofoxiden.

- Dat voor natuurherstel meer nodig is dan verlaging van de uitstoot van stikstof dan wel het verminderen van uit- en afspoeling.

Er zijn nog open kennisvragen rond:

- De daadwerkelijke effectiviteit van maatregelen als ook combinaties van maatregelen om stikstofverliezen te beperken;
- De samenhang van stikstof met andere ecologische sleutelfactoren die nodig zijn om de aquatische ecologie in de KRW-waterlichamen in Zuid-Holland te versterken;
- De rol van oevererosie, baggervorming en stikstofretentie in watersystemen;

Wat betekenen deze wetenschappelijke inzichten voor het provinciale beleid? De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- Gezien de vele mogelijkheden om emissies te verminderen is het belangrijk om te zorgen voor de toepassing ervan in de praktijk. Anno 2025

zijn er weinig tot geen incentives om ook daadwerkelijk de uitstoot van ammoniak te verlagen. De emissies van stikstofoxiden daalt jaarlijks vanwege innovaties in industrie en verkeer.

- Gezien de grote variatie tussen sectoren en gebieden is een ruimtelijke aanpak zinvol om zo effectief de emissie te reduceren als ook de impact van stikstofverliezen op het milieu te verkleinen. Een maatwerkaanpak met heldere en concrete doelen per gebied, sector of bedrijf is hiervoor gewenst. Hierin spelen ook de verschillen tussen landbouwsectoren een rol, waarbij via gerichte samenwerking de verschillende opgaven voor stikstof kunnen worden opgelost.
- Er is noodzaak tot het monitoren van daadwerkelijke (berekende) uitstoot als ook de kwantificering van effecten van maatregelen. Anno 2025 wordt de impact van veel maatregelen (nog) onvoldoende meegenomen in landelijke rapportages.
- De provinciale stikstofaanpak kan extra impact krijgen als deze wordt ondersteund met landelijk beleid waarin duidelijk wordt gestuurd op concrete stikstofopgaven voor stikstofoxiden en ammoniak, en waarbij de huidige

vergunningsproblematiek niet meer belemmerend is voor het nemen van maatregelen. Het is belangrijk om de mogelijkheid tot externe saldering te herstellen. Een generaal pardon voor PAS-melders is gewenst; de emissies van deze bedrijven zijn beperkt en klein in verhouding tot de benodigde emissiereductie. Als laatste is het belangrijk dat het beleid rondom ammoniak goed wordt afgestemd met andere beleidsopgaven waarvoor stikstof relevant is: biodiversiteit, water, bodem en klimaat.

- Er zijn separaat maatregelen nodig in natuurgebieden om de kwaliteit ervan te verbeteren. Omdat een verlaging van stikstofdepositie op korte termijn (5-10 jaar) de kwaliteit van natuur niet gaat herstellen, zijn gerichte, ecologische herstelmaatregelen nodig, onafhankelijk van toekomstige emissiereducties. Wel profiteert alle natuur van een verlaging van de 'stikstofdeken' door een generieke verlaging van emissies. Daarom is een generieke aanpak gericht op minder uitstoot, in plaats van het sturen op minder depositie per natuurgebied, ook ecologisch goed te verantwoorden.

Literatuur

Agrimatie (2024). *Stikstofbodemoverschot Daalt*. September 23, 2024. Beschikbaar via [deze link](#).

Bobbink R (2021). *Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse*. Onderzoekscentrum B-WARE, Nijmegen. Rapport RP-20.135.21.35, 81 pp.

Bussink DW, Sanders JPM & J Boode (2025). *Praktijkproef Biologisch Aanzuren Mest in Een Rundveestal*. Nutriënten Management Instituut BV, Rapport 2035a.N.24. Wageningen.

CBS (2025). *Stikstofemissies naar lucht*. Beschikbaar via [deze link](#).

CLO (2024). *Kaart met overschrijding van KDW voor stikstof depositie*. Beschikbaar via [deze link](#).

de Boer IJM, de Olde EM, Zanders R, Ten Have-Mellema A, Candel JJL, Griffioen B, Gosselink KA, Harbering A & K Klingen (2020). *Re-Rooting the Dutch Food System: From More to Better*. Wageningen University & Research.

De Vries W, Posch M, Simpson D, de Leeuw FAAM, van Grinsven HJM, Schulte-Uebbing LF, Sutton MA & GH Ros (2024). *Trends and geographic variation in adverse impacts of nitrogen use in Europe on human health, climate, and ecosystems: A review*. *Earth-Science Reviews* 52, 104789.

De Vries W, Kros J, Voogd JC & GH Ros (2023). *Integrated assessment of agricultural practices on the loss of ammonia, greenhouse gases, nutrients and heavy metals to air and water*. *Science of the total Environment* 857, 159220.

De Vries W & JW Erisman (2021). *Stevige reductie stikstofemissie noodzakelijk*. In J.W Erisman, W de Vries e.a. (editors). *Stikstof. De sluipende effecten op natuur en gezondheid*, 95-99. Uitgeverij LIAS, ISBN 9789088031144, 160 pp.

Erisman JW, Domburg P, De Haan BJ, de Vries W, Kros J & K Sanders (2005) *The Dutch nitrogen cascade in the European perspective*. ECN-report ECN-C—05-007, 109 pp.

Erisman JW & B Strootman (2021). *Naar Een Ontspannen Nederland*.

Erisman JW, de Vries W, van Donk E, Reumer J & J van den Broek (2021). *Stikstof. De sluipende effecten op natuur en gezondheid*. Stichting Biowetenschappen en Maatschappij, ISBN 9789088031144, 128 pp.

Gonzalez-Martinez AR, Jongeneel R, Kros H, Lesschen JP, de Vries M, Reijs J & Verhoog D (2021). *Aligning Agricultural Production and Environmental Regulation: An Integrated Assessment of the Netherlands*. *Land Use Policy* 105, 105388.

Gies E, Cals T, Kros H, Kuindersma W & JC Voogd (2023a). *Aanvullende Generieke Stikstof-En Klimaatbeleidsmaatregelen: Een Verkenning Naar Optionele Generieke Maatregelen Om Stikstof-En Broeikasgasemissies Te Reduceren, Aanvullend Op de Huidige En Voorgenomen Beleidsmaatregelen Op Rijksniveau*. WEnR-rapport 3240.

Gies E, Cals T, Groenendijk P, Kros H, Hermans T, Lesschen JP, Renaud L, Velthof G & JC Voogd (2023b). *Scenariostudie Naar Doelen En Doelrealisatie in Het Kader van Het Nationaal Programma Landelijk Gebied: Een Integratie Verkenning van Regionale Water-, Klimaat-En Stikstofdoelen En Maatregelen in de Landbouw*. WEnR-rapport.

Groenendijk P, Boekel EV, Renaud L, Greijdanus A, Michels R & TD Koeijer (2016). *Landbouw En de KRW-Opgave Voor Nutriënten in Regionale Wateren; Het Aandeel van Landbouw in de KRW- Opgave, de Kosten van Enkele Maatregelen En de Effecten Ervan Op de Uit- En Afspoeling Uit Landbouwgronden*. WEnR-rapport 2749, 150 pp.

Groothuijse F & M van Rijswijk (2023). *Scherper aan de wind: Koersen op KRW-doelbereik in 2027! Omgaan met risico's en dilemma's bij de Brabantse waterschappen om tijdig te voldoen aan de Kaderrichtlijn water*.

- Jongeneel R, Van Asseldonk M, Daatselaar C, Greijdanus A, Helming J & L Vissers (2024).** *Uitwerking Bedrijfstypen Voor Duurzame Landbouw: Melkveehouderij En Akkerbouw*. WEcR-rapport 2024-001.
- Kros J., Voogd JCH, Van Os J, & LJJ Jeurissen (2021).** *INITIATOR Versie 5-Status A Beschrijving van de kwaliteitseisen ter verkrijging van het kwaliteitsniveau Status A*, WOt-Technical Report 205.
- Lesschen JP, Reijs J, Vellinga T, Verhagen J, Kros H, de Vries M, Jongeneel R, Slier T & A Gonzalez Martinez (2020).** *Scenariostudie Perspectief Voor Ontwikkelrichtingen Nederlandse Landbouw in 2050*. Rapport 2984. Wageningen.
- Lesschen JP, Hendriks C, Slier T, Porre R, Velthof G & R Rietra (2021).** *De Potentie Voor Koolstofvastlegging in de Nederlandse Landbouw*.
- Lukacs S, Rozemeijer J, Schipper P, van Loon A & P Groenendijk (2022).** *Handreiking gebiedsgerichte monitoring nutriëntenverliezen vanuit de landbouw*. Deltafact Kennisimpuls Waterkwaliteit, 23 pp.
- Marra WA, Hazelhorst SB, de Jongh LA, Wichink Kruit RJ, Schram JM & KMF Brandt (2024).** *Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2024*. RIVM rapport 2024-0076.
- Provincie Zuid-Holland (2024).** *Evaluatie projecten "Landbouw en Water"*. Werkdocument geschreven door Sophie en Frouke voor team landbouw. Versie 15-11-2004, 42 pp.
- Provincie Zuid-Holland (2023a).** *Toetsbaar voorontwerp Zuid-Hollands programma landelijk gebied*, 112 pp.
- Provincie Zuid-Holland (2023b).** *Strategie Vitale Veenweiden Zuid-Holland*, 30 pp.
- Provincie Zuid-Holland (2025).** *Samenhangende Aanpak Natuurherstel en Economie (SANE)*.
- Rabobank (2023).** *Agrofoodvisie 2040. Ruimte Voor Boer En Natuur*. Beschikbaar via [deze link](#).
- Ros GH & N van Eekeren (2016).** *Evaluatie NLV-concept op grasland Is een update nodig?* CBGV-rapport.
- Ros GH & W de Vries (2020).** *Duurzaam sluiten van kringlopen? Ook kringlooplandbouw kan niet zonder minerale meststoffen*. BODEM 4, 3 pp.
- Ros G & S Verweij (2025).** *BBWPC: Calculator for BedrijfsBodemWaterPlan (BBWP)*. R package versie 3.1.0. <https://github.com/AgroCares/BedrijfsBodemWaterPlanCalculator>
- Ros GH, Kager H, Boom G & W de Vries (2025a).** *Verkenning effecten landbouw innovaties. Potentieel van landbouwinnovaties om emissies van ammoniak en broeikasgassen naar de lucht en verliezen van nutriënten naar het water te verlagen*. Wageningen, Wageningen Universiteit, Rapport 2024.159; 71 pp.
- Ros GH, de Vries W, Jongeneel R & M van Ittersum (2025b).** *Bedrijfsspecifieke doelsturing op verliezen van stikstof en broeikasgassen: doelen, middelen en borging*. WUR-rapport, 39 pp.
- Ros GH & W de Vries (2025c).** *Overzicht en prioritering van landbouwmaatregelen voor lucht-, water- en bodemkwaliteit en agrobiodiversiteit*. Wageningen, Wageningen Universiteit, Rapport 2025.159; 69 blz.; 3 tab.; 51 ref.
- Ros GH & L Moria (2024)** *Analyse N- en P-concentraties in uitspoelend water uit landbouwbodems, een testcase voor laagveengebieden in Laag-Holland*. Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 2025.N.24, 38 pp.
- Ros GH, Haan JJ de, Fuchs LM & L Molendijk (2023a).** *Bodembedoelstelling van landbouwgronden voor diverse ecosysteemdiensten: ontwikkeling van de BLN, versie 2.0*. WPR-OT 1030.
- Ros GH, de Vries W, Jongeneel R & M van Ittersum (2023b).** *Gebieds- en bedrijfsgerichte handelingsperspectieven voor een duurzame landbouw in Nederland*. Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/630025>
- Ros GH, Verweij SE, Janssen SJC, De Haan J & Y Fujita (2022).** *An Open Soil Health Assessment Framework Facilitating Sustainable Soil Management*. Environmental Science & Technology 56 (23): 17375-84.
- Rost J, Evers N & W Twisk (2020).** *Is Het Tijd Voor Een Waterlichaamspecifieke Ammoniumnorm? H₂O*.
- Rozemeijer JC, Van der Grift B & J De Nies (2018).** *Monitoring voor een gebiedsgerichte aanpak van nutriënten*. Water Matters Juni 2018.

RVO (2025) Tabel 2 Stikstof landbouwgrond. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-12/Tabel-2-Stikstof-landbouwgrond-2025_o.pdf

Posthuma I, de Zwart D, Osté L & J Postma (2016). *Ecologische Sleutelfactor Toxiciteit, Deel 3. Technische Handleiding En Tips ESF-Toxiciteit, Chemie Tool*. Amersfoort.

Schipper P, Hehenkamp M, Mi-Gegotek Y, Groenendijk P, Renaud L, Boekel E & W Savonije (2025). *Landelijke bronnenanalyse nutriënten regionale oppervlaktewaterlichamen Kaderrichtlijn Water*. WENR-rapport 3442.

Schipper S, Hehenkamp M, Mi-Gegotek Y, Groenendijk P, Renaud L, Buiert A & M Nijboer (2025). *KRW-restopgave nutriënten in Zuid-Holland*, Wageningen, Wageningen Environmental Research, WENR rapport, in prep.

Selin Norén I, Vervuurt W, Bakker N, Koopmans C, Verstand D & de Haan J (2022). *Analyse van bodemmaatregelen: effecten op bodemfuncties en toepasbaarheid: Integrale analyse van de resultaten uit de PPS Beter Bodembeheer*. WPR-OT 898.

Slier T & J van der Kolk (2023). *Het Klimaatdoel Voor Minerale Landbouwbodems in Nederland Is Haalbaar Samenvatting van Vijf Jaar Onderzoek in Slim Landgebruik*. BO-43.10-003-012.

Stokkermans L, Römkens PFAM, Mi-Gegotek Y, Ros GH, Groenendijk P, Renaud L & OF Schoumans (2025). *Modelling Indicators of P availability; Assessment of current models to predict the P status in Dutch arable and grassland soils* Wageningen, WENR-report. In press.

Sutton MA, Oenema O, Erisman JW, Leip A, Van Grinsven H & W Winiwarter (2011). *Too Much of a Good Thing*. Nature 472 (7342): 159–61.

Sutton MA, Bleeker A, Howard CM, Bekunda M, Grizzetti B, de Vries W, van Grinsven HJM, Abrol YP & TK Adhya TK (2013). *Our Nutrient World The Challenge to Produce More Food and Energy with Less Pollution*. Edinburgh: Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology.

TNO (2024) *Het gedrag van stikstofverbindingen in de atmosfeer. Emissie, verspreiding, chemische omzetting en depositie*. TNO-rapport R10757, 57 pp.

van Bruggen C, Bannink A, Bleeker A, Bussink DW, Dooren HJC, Groenestein CM, Huijsmans JFM, Kros J, Oltmer K, Ros MBH, van Schijndel MW, Schulte-Uebbing L, Velthof GL & TC van der Zee (2024). *Emissies naar lucht uit de landbouwberekening met NEMA voor 1990-2022*, WOT-rapport 264, 251 pp.

van den Burg AB, Berendse F, van Dobben HF, Kros J, Bobbink R, Roelofs JGM, Odé B, van Swaay C, Siebel H, Sierdsema H & W de Vries (2021). *Stikstof en natuurherstel. Onderzoek naar een ecologisch noodzakelijke reductiedoelstelling van stikstof*. Uitgave Wereldnatuurfonds, 48 pp.

van der Bolt FJE, van Boekel EMPM, Kuindersma W., Renaud LV, Groenendijk P, Kros J, van den Roovaart J, Marsman A, & W Altena (2022). *Het landelijk Waterkwaliteitsmodel: Versie LWKM1.2*. Wageningen. Rapport 3148. Wageningen Environmental Research

van den Dool KCH, Ros GH & SE Verweij (2023). *Endpoints Voor Het BodemKwaliteitsPlan*. NMI-rapport 1819.N.23.C. Wageningen.

van Geest G, Smolders F & J Roelofs (2024). *Waterplanten En Waterkwaliteit*. Uitgeverij Noordboek.

van Geest GJ, Verdonschot PFM, Schipper PNM, Veraard AJ, Roelofs JGM & HBM Tomassen (2021). *Factsheet: ecologische effecten van stikstof op Nederlandse oppervlaktewateren*. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit, 32 pp.

van Gerven LPA, Jansen S, & P Groenendijk (2019). *Maatregel Op de Kaart (Fase 1): Identificeren van Kansrijke Landbouwmataregelen per Perceel Voor Schoner Grond- En Oppervlaktewater*. Wageningen Environmental Research.

van Rotterdam D, van Doorn M, Terlouw R, de Jong B, Kastelein L & M Rooker (2023). *GLB Pilot Krimpenerwaard – Effect van Vernatten Op Grondwaterstand, Agrarische Gebruikswaarde, Biodiversiteit En Oeverstabiliteit*. NMI-rapport 1861.N.22. Wageningen.

van Os, J. & J. Kros, 2022. *Geografische Informatie Agrarische Bedrijven 2019: documentatie van het GIAB 2019 bestand*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-technical Report 223

Verloop K, van Agtmaal M, Busink W, van Eekeren N, Groenendijk P, Jansen S, Noij G-J & M Zanen
(2018). *Achtergronden Bij Informatie in de BOOT-Lijst Factsheets*.

Zuid-Hollands Programma Landelijk Gebied (2022)
Stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden in Zuid-Holland.

Afbeelding voorblad: **Riechelman WH** (2024)
Bevroren uiterwaarden bij de lage oorsprong

Bijlage I. Maatregelen

Tabel II.1. Maatregelen om het N-bodemoverschot te verlagen. Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Nr	Maatregel	Toepasbaarheid	Type	Effect klasse	Daling NO ₃ (in mg / L)		Bron
					range	mediaan	
1	Verminder de aanvoer van N-kunstmest met 10% onder de gebruiksnorm voor percelen met een NLV groter dan 50 kg N / ha. Met andere woorden: stem de bemesting af op de hoeveelheid N-mineralisatie.	Alle teelten	Input	+ / ++			2, 5
2	Verminder de totale werkzame N-aanvoer met 5% voor uitspoelingsgevoelige* akker- en tuinbouwgewassen	Akker- en tuinbouw	Input	+	2-5		3, 6
3	Verminder de totale werkzame N-aanvoer met 10% voor uitspoelingsgevoelige* akker- en tuinbouwgewassen	Akker- en tuinbouw	Input	+ / ++	5-9		3, 6
4	Verminder de totale werkzame N-aanvoer met 15% voor uitspoelingsgevoelige* akker- en tuinbouwgewassen	Akker- en tuinbouw	input	++	7-14		3, 6
5	Verminder de totale werkzame N-aanvoer met 10%	Alle teelten	Input	++	7-82	0-8	2,3, 5
6	Verminder de totale werkzame N-aanvoer met 20%	Alle teelten	Input	++(+)	10-85	17-30	1,3
7	Neem een N-mineraal monster van de bouwvoor voor uw eerste bemesting, bereken de extra hoeveelheid beschikbare stikstof als Nmin – 15 (voor een meting 0-30 cm) of Nmin – 20 (voor een meting 0-60 cm), en verlaag de kunstmestgift.	Alle teelten exclusief gras	Input	+			4
8	Met rijenbemesting kan de N-gift met 20% worden verlaagd t.o.v. de adviesgift (voor mais); met 15% voor suikerbieten.	Mais en suikerbieten	Input	+	2-10	1-2	1
9	Vermijdt het gebruik van ureum als stikstofkunstmest, en pas de N-aanvoer aan	Alle teelten	Input	0/+			2
10	Zorg voor een perceelsgerichte bemesting. Door op percelen met een sterkere stikstoflevering te besparen op de stikstofgift, houdt men meer stikstof over om de schralere percelen wat extra te geven.	Alle teelten	Input	0/+			2, 5
11	Houdt bij de berekening van de N-behoefte rekening met N-nalevering van de voorvrucht of ingewerkte groenbemesters. Zie het Handboek Bodem en Bemesting voor de korting o.b.v. oogstresten of groenbemesters.	Alle teelten exclusief gras	Input	++			4
12	Wanneer jaarlijks dierlijke mest wordt toegepast, kan rekening worden gehouden met een hogere werking van de dierlijke mest. Verhoog daarom de wettelijke werkingscoëfficiënt met 35% voor de N-org fractie van rundmest, en met 20% voor varkens en kippenmest. Reken deze korting door op de gewenste aanvoer via N-kunstmest.	Alle teelten	Input	++			4
13	Pas bij percelen met een verwachte hoge mineralisatie (NLV > 80 kg N / ha) een stikstofbijmeststelsel toe	Alle teelten excl. gras	Input	+			4

Nr	Maatregel	Toepasbaarheid	Type	Effect klasse	Daling NO ₃ (in mg / L)		Bron
					range	mediaan	
14	Dien dierlijke mest bij voorkeur zo vroeg mogelijk toe (grasland) in het voorjaar kort voor aanvang van de teelt (akkerbouw- en groenteteelt). Bereken de stikstofwerking in het voorjaar, afhankelijk van mestsoort en toedieningsapparatuur en toedieningstijdstip conform de adviezen uit het Handboek.	Alle teelten	Input	+			4
15	Dien dierlijke mest emissiearm toe, werk netjes bij gebruik zodebemester, en werk de mest zonodig binnen een halve dag onder. De stikstof die niet als ammoniak vervluchtigt komt daarmee beschikbaar voor het gewas. Pas de N-kunstmestgift aan op basis van de hogere werking.	Alle teelten	Input	+			4
16	Breng meststoffen waarvan de stikstof geheel of voor het merendeel uit ureum en/of ammonium bestaat, in de grond door ze direct na toediening in te werken of ze te injecteren (bij vloeibare meststoffen). Bij oppervlakkige toediening kan ammoniakvervluchtiging optreden, waardoor de stikstofwerking lager is dan van KAS.	Alle teelten	Input	+			4
17	Wanneer mest uit oogpunt van structuurbederf in de nazomer wordt toegediend in plaats van in het voorjaar, combineer de mestgift dan met een groenbemester. Beperk de mestgift tot maximaal 80 kg werkzame N per hectare.	Alle teelten	Input	0/+			4
18	Ga na of er in het bouwplan ruimte is of kan worden gecreëerd voor tijdig gezaaide groenbemesters en of dit past in verband met de aaltjessituatie in de bodem.	Alle teelten excl. gras	Afvoer	++	4-16		3
19	Zorg voor een goede vochtvoorziening van het gewas; beregen op tijd. De vochtvoorziening heeft directe invloed op de productie, maar beïnvloedt ook de nutriëntenbenutting.	Alle teelten	Afvoer	+			4
20	Zorg naast een goede bodemvruchtbaarheid voor een goede bodemstructuur en een lage druk van bodemziekten en –plagen. Dit bevordert de beworteling van het gewas. Check uw bodemanalyse of er knelpunten zijn en los deze op.	Alle teelten	Afvoer	+			2
21	Zorg voor een slimme gewasopvolging waarbij ondiep en diepwortelende gewassen elkaar afwisselen.	Alle teelten excl. gras	Afvoer	+	0-15		3
22	Wanneer er organische reststromen als berm- en slootmaaisel wordt gebruikt, corrigeer dan de N-bemesting in het opvolgend gewas voor de toegediende werkzame stikstof	Alle teelten	Input	+			2
23	Afvoeren en verwerken van stikstofrijke gewasresten (zoals bietenblad), composteer deze op uw bedrijf, en benut deze stikstof in het bemestingsplan	Suikerbieten	Input	+ / ++	0 – 10	2	2
24	Verlaag “de risicopremie” op de N-gift in het voorjaar bij uitspoelingsgevoelige gewassen	Uitspoelingsgevoelige gewassen	Input	+			
24	Maximaliseer de inzet van vanggewassen na alle akker- en tuibouwteelten, met uitzondering na suikerbiet, zetmeelaardappel, lelie en voorafgaand aan wintergraan, en corrigeer de N-gift van het volggewas.	Akkerbouw, groente, en mais	Afvoer / input	++	1 - 24	9	1
25	Maximaliseer de inzet van vanggewassen na alle akker- en tuibouwteelten, met uitzondering na suikerbiet, zetmeelaardappel, lelie en voorafgaand aan wintergraan, en zonder correctie gebruiksnorm volggewas	Akkerbouw, groente, en mais	Afvoer	+	0 - 16	3	1

Nr	Maatregel	Toepasbaarheid	Type	Effect klasse	Daling NO ₃ (in mg / L)		Bron
					range	mediaan	
26	Teel minder stikstofbehoefte aardappellassen. Hiermee kan de N-gift worden verlaagd van 180-190 tot 150 kg N/ha in het zuidelijk zandgebied en van 230-2035 tot 190 in het noordelijk zandgebied.	Aardappel bouwplan	Intensiteit	+	0 - 8	3	1
27	Uitbreiding van de vruchtwisseling met een vezelgewas (hennep, met mestgift 90 kg N/ha)	Akkerbouw	Intensiteit	+	0 – 14	3-5	1
28	Geen kunstmest geven op grasland voordat de Tsom 350 of 400 graden is	melkveehouderij	Input	+			2
29	Geef geen stikstofbemesting in het jaar na scheuren van meerjarig grasland	melkveehouderij	Input	++			2
30	Geef mais niet meer werkzame stikstof dan 140 kg N per hectare voor alle grondsoorten	melkveehouderij	Input	++			4, 5
31	Beperk beweiding laat in het najaar als de percelen nat zijn	melkveehouderij	Intensiteit	+	1 - 4	2	1
32	Gebruik nitrificatieremmers of langzaam werkende meststoffen in het voorjaar	melkveehouderij	Input	+/++			2, 5
33	Schrap de N-kunstmestgift van de laatste snede op percelen met een hoge NLV	melkveehouderij	Input	+			4
34	Dierlijke mest bij toepassen van sleepvoeten verdunnen met water	melkveehouderij	Input	0/+			2, 5
35	Verleng de leeftijd van grasland	melkveehouderij	Intensiteit	+			2, 5
36	Volledig maaien van grasland, geen beweiding	melkveehouderij	Intensiteit	+	1 - 7	3	1
37	Verwijdering van nitraat uit drainagewater	Bollen	End-of-pipe	0/++			2, 5
38	Verdiep de beworteling van grasland	melkveehouderij	Afvoer	+			2, 5
39	Geen uitspoelingsgevoelige gewassen op uitspoelingsgevoelige gronden	Alle teelten, excl. gras	intensiteit	++			2, 5
40	Bevorderen van denitrificatie door peilverhoging	Akker- en tuinbouw	End-of-pipe	+			7, 8
41	Bevorderen van denitrificatie door tijdelijke inundatie	Akker- en tuinbouw	End-of-pipe	+			7, 8
42	Bevorderen denitrificatie door buiten het groeiseizoen makkelijk afbreekbare koolstofrijke substraten onder te werken	Akker- en tuinbouw	End-of-pipe	+			7, 8

* uitspoelingsgevoelige gewassen waarbij de nitraatuitspoeling bij toepassing van gangbare landbouwkundige bemestingsadviezen leidt tot overschrijding van de grenswaarde van 50 mg nitraat per liter in het uitspoelende water. Dit zijn vooral aardappelen, veel groentegewassen en mais (snij- en korrelmais).

\$ referenties: 1) Groenendijk et al. (2024), 2) Verloop et al. (2018), 3) Van Boekel et al. (2021), 4) CBGV (2024), 5) Schipper et al. (2001), 6) Van Dijk (2021), 7) Schroder (2017), 8) Schoumans et al. (2012). Voor referenties, zie de literatuurlijst van Ros & de Vries (2025c).

Tabel I.1.2 Maatregelen / innovaties die inzetbaar zijn op korte termijn (1-5 jaar) op bedrijfsniveau in de melkveehouderij. Details in Ros et al. (2025b). Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Nr	Maatregel	Categorie	TRL	Emissiebron	Emissiereductie (%) t.o.v. de huidige situatie voor de gegeven emissiebron (NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O) en na bemesting (water)					Kosten		Betrouwbaarheid
					NH ₃	CH ₄	N ₂ O	N-water	P-water	Categorie*	Referentie	Expertschatting ⁵
1	Optimalisatie van dierrantsoenen (eiwit, verteerbaarheid)	(Dier)voeding	8-9	dierexcretie	10-20	5-15	0-10	5-10	0-10	5	1, 3, 13, 14, 19	hoog
2	Optimalisatie beweiding	(Dier)voeding	8-9	dierexcretie	4-50	0-10	0-20			5	3, 5, 6, 12, 13, 18, 19, 33	hoog
3	Voeradditieven	(Dier)voeding	2-3/8-9	dierexcretie	5-30/90	20-25				4	6, 8, 14	hoog
4	Verhoog leeftijd dieren	Dier(voeding)	9	dierexcretie	0-5	0-5		0-10	0-10	4, 5	6, 13	hoog
5	Gras raffinage (en vlinderbloemigen, minder import)	Dier(voeding)	7-9	stal, mestopslag, toediening	5-30					4, 5	28,29	hoog
6	Aanzuren van mest in stal / opslag	Stal en mestopslag	8-9	stal en mestopslag	40-70	50-90				3	3, 6,23,24,25	matig tot hoog
7	Biologisch aanzuren in combinatie met vergisting	Stal, mestopslag en toediening	3	stal, mestopslag, en toediening	40-70	50-90				4-5	3, 6, 23, 24	hoog
8	Stalvloeraanpassingen (nieuwe mestschuiven, rubberen toplaag, extra robot, Koetoilet, VrijLevenStal)	Stal en mestopslag	8-9	stal en mestopslag	0-50					1-2	1, 3, 6, 16, 17, 19, 21	variabel
9	Methaanoxidatie (affakkelen of biofilter)	Stal en mestopslag	4-6	stal en mestopslag		50-90				3-4	7, 14	hoog
10	Vergisten van mest i.c.m. mestbewerking	Stal en mestopslag	9	stal, mestopslag en toediening	40-50	60-80				1, 5	6, 7, 12, 17, 26	hoog
11	Water sproeien op stalvloeren en spoelen van roosters	Stal en mestopslag	8-9	stal en mestopslag	13-40					2	3, 6, 10, 19	hoog
12	Plaatsing windsingels en herinrichting erf	Stal en mestopslag	2-3	stal en mestopslag	0-20			5-10	0-1	4	1, 4, 8	matig

Emissiereductie (%) t.o.v. de huidige situatie voor de gegeven emissiebron (NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O) en na bemesting (water)												
										Kosten	Betrouwbaarheid	
Nr	Maatregel	Categorie	TRL	Emissiebron	NH ₃	CH ₄	N ₂ O	N-water	P-water	Categorie*	Referentie	Expertschatting ⁵
13	Luchtwassers	Stal en mestopslag	8-9	stal en mestopslag	70-90					4	16	hoog
14	Dagontmesting plus bewerking	Stal en mestopslag	7-8	stal en mestopslag	30-85	60-80				1	17	hoog
15	Koelen van mest	Stal en mestopslag	2-3	mestopslag	-	40-80				1-2	6	matig
16	Mixen / beluchten van mest	Stal en mestopslag	2-3	mestopslag	0-70	50-60	?			1	3, 7, 8	matig
17	Beperken ventilatiedebiet	Stal en mestopslag	3	stal	0-15					4	32	hoog
18	Netjes werken bij mesttoediening	Mesttoediening	9	toediening	8-25		0-5	0		5	1,2,3,19	hoog
19	Mestinjectie op bouwland	Mesttoediening	9	toediening	95		0-5	0	0	4, 5	3, 5	hoog
20	Aanzuren van mest bij toediening	Mesttoediening	9 / 2-3	toediening	25-40	50-90				3	5, 6	matig tot hoog
21	Toevoegmiddelen aan mest	Mesttoediening	2-9	toediening	15-25	65-85	0-10	5-40		3-4	7, 12, 14, 15	hoog
22	Gebruik van DMPP stikstof stabilisator	Mesttoediening	9	toediening			42-55	10-40		4	15, 22	hoog
23	Verdunnen van mest bij mestopslag en bij aanwending via sleepvoeten op klei en veen	Mestopslag en Mesttoediening	8-9	toediening	5-36					3	3, 9, 11	hoog
24	Mest besproeien met suspensies	Mesttoediening	2-3	toediening	20-30					4	3, 5	matig
25	Precisiebemesting kunstmest	Mesttoediening	9	toediening	10-35		10-50	0-5	0-10	4, 5	3, 8, 12, 13	hoog
26	Kunstmest vervanging door biobased fertilizers plus injectie ervan	Mesttoediening	9	toediening	95		0-5			4	1,2,3,19	hoog
27	Omzetten drijfmest in NEO-meststof (N2 Applied)	Mestopslag en mesttoediening	8-9	stal en toediening	95	99				1	20, 27	hoog
28	Graslandbeheer (klaver, scheuren) plus bemesting	Bodem	9	toediening	0-20		50-100	0-45	Risico op < 0	5	12, 13	matig
29	Bufferstroken	Bodem	9	toediening	0-5		0-5	5-60	5-30	2	4, 15, 13	matig

Nr	Maatregel	Categorie	TRL	Emissiebron	Emissiereductie (%) t.o.v. de huidige situatie voor de gegeven emissiebron (NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O) en na bemesting (water)					Kosten		Betrouwbaarheid
					NH ₃	CH ₄	N ₂ O	N-water	P-water	Categorie*	Referentie	Expertschatting ⁵
30	Bodembeheer (ploegen, vanggewassen, uitmijnen)	Bodem	9	toediening			0-40/0-5	15-20/0-5	5-50/0-5	5, 1	4, 12, 13, 15	variabel
31	Omschakeling naar biologisch	Landbouw-systeem	9	bedrijf	40-50	15-35	50-100	0-10		4, 5	33	hoog

1) Bussink et al. (2021), 2) Kager et al. (2023), 3) Landbouwcollectief (2019), 4) Velthof et al. (2018), 5) Bussink et al. (2019), 6) Kager et al., 2021, 7) Rodriguez et al. (2023), 8) Brusselman et al. (2016), 9) Oltmer et al. (2023), 10) Verloop et al. (2022), 11) Rougoor et al. (2022), 12) Kuikman et al (2004), 13) Oenema et al. (2018), 14) Rougoor et al. (2022), 15) Velthof et al (2020), 16) Zessen (2022), 17) Oltmer et al. (2023), 18) Verloop et al. (2022), 19) netwerk praktijkbedrijven, 20) website N2 Applied en aangeleverde documentatie, 21) Hanskamp (2024), 22) Akiyama et al. (2010), 23) Overmeyer et al (2023), 24) Habtewold et al. (2018), 25) Puente-Rodriguez et al. (2022), 26) Gollenbeek et al. (2022), 27) Nyvold M & P Dörsch (2024), 28) Serra et al., (2023), 29) Damborg et al. (2019), 30) Weimer et al., 2010, 31) Tapio et al. (2017), 32) Schep et al (2024), 33) Migchels et al. (2024). * maatregelen zijn gecategoriseerd in relatie tot de kosten: (4) 0-5, (3) 5-10, (2) 10-20 en (1) >20 euro per kg emissiereductie voor NH₃. Indicatie van kosten zijn afgeleid van Oltmer et al. (2023), Landbouwcollectief (2019) en ABN-AMRO (2023). Noot dat de gebruikte methodiek van deze studies niet gelijk is. De categorieën zijn daarom indicatief. Maatregelen die potentieel voor netto opbrengsten kunnen zorgen vallen in categorie 5. \$de betrouwbaarheid van de impactinschattingen is door de auteurs van dit rapport kwalitatief beoordeeld op basis van het aantal studies en de mate van onderbouwing van deze cijfers, de gepresenteerde bandbreedte in effecten, de toepasbaarheid onder verschillende omstandigheden, en de onderliggende procesmechanismen. Literatuur referenties zijn beschikbaar in Ros et al. (2025b).

Tabel I.1.3 Maatregelen / innovaties die inzetbaar zijn op middellange termijn (5-10 jaar) op bedrijfsniveau in de melkveehouderij. Details in Ros et al. (2025b). Gemiddelde bijdrage is beoordeeld als negatief (-), neutraal (0), positief (+) tot zeer positief (+++).

Nr	Maatregel	Categorie	TRL	Emissiebron	Emissiereductie (%) t.o.v. de huidige situatie voor de gegeven emissiebron (NH ₃ , CH ₄ en N ₂ O) en na bemesting (water)					Kosten*	Referentie *	Betrouwbaarheid *
					NH ₃	CH ₄	N ₂ O	N-water	P-water			
1	Beïnvloeden microbiom rundvee	Dier(voeding)	1-3	stal en mestopslag	?	?	?			-	2, 30, 31	onbekend
2	Nieuwe stalsystemen	Stal en mestopslag	7-8	stal en mestopslag	8-50					1	2	onbekend
3	Fokken dieren met minder emissies	Stal en mestopslag	1-3	stal en mestopslag	0-10	1-15 per jaar				4	6, 7, 12	onbekend
4	Maximaliseren aantal GVE	Stal, mestopslag en toediening	9	stal, mestopslag en toediening	?	?	?			1, 4	13, 14	hoog
5	Alternatief landgebruik	Stal, mestopslag en toediening	1-3	stal, mestopslag en toediening	?	?	?			-		hoog
6	Wijziging landbouwsysteem	Stal, mestopslag en toediening	1-3	stal, mestopslag en toediening	-	-	-			-		hoog
7	Diepe mestinjectie	Bemesting	4-6	toediening	95		0-10			4	1,2,3,5	Hoog

* voor referenties en toelichting op categorieën, zie voetnoten bij tabel I.1.2.



Colofon

Dit is een uitgave van de provincie zuid-holland in opdracht van Kennis Zuid-Holland. Meer weten over het kennisprogramma, ga naar <https://kennis.zuid-holland.nl/>

29 januari 2026

Provincie Zuid-Holland
Postbus 90602
2509 LP Den Haag

www.zuid-holland.nl

Vormgeving en productie
Vakteam Grafimedia, provincie Zuid-Holland/Delta3

