



Protocol bepaling mineraal stikstofresidu

Sander Gerritsen, Wim van Dijk en Koos Verloop

Protocol bepaling mineraal stikstofresidu

Sander Gerritsen, Wim van Dijk en Koos Verloop

Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit WPR, Agrosysteemkunde in het kader van beleidsondersteunend onderzoeksthema land- en tuinbouw binnen de grenzen van de natuurlijke leefomgeving (projectnummer BO-43-206-01).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen

Wageningen, juli 2025

Rapport WPR-1477

Gerritsen, S.A., W. van Dijk, J. Verloop, 2025. Protocol bepaling mineraal stikstofresidu. Wageningen Research, Rapport WPR-1477. 50 blz.; 5 fig.; 1 bijlage; 4 tab.; 24 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/696171>

Trefwoorden: Doelsturing, grondwaterkwaliteit, management, landbouw, uniformering, bemonstering, perceel, akkerbouw, veehouderij, najaar, nitraatuitspoeling

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1477

Foto omslag: Arjan Mager

Inhoud

Woord vooraf	8
Samenvatting	10
1 Inleiding	12
1.1 Aanleiding	12
1.2 Doel en afbakening	13
1.3 Leeswijzer	13
1.4 Begrippenlijst	14
2 Vergelijking bestaande protocollen	15
2.1 Bestaande protocollen	15
2.2 Vergelijking protocollen	20
2.3 Samenvattend beeld	21
3 Het nieuwe protocol	23
3.1 Doel en reikwijdte	23
3.2 Benodigde materialen en apparatuur	23
3.3 Bemonsteringstijdstip	23
3.4 Monsternameprocedure	24
3.5 Transport, bewaring en mengen	26
3.6 Laboratoriumanalyse	26
4 Onderbouwing protocol	27
4.1 Vertrekpunten	27
4.2 Bemonstering	27
4.3 Transport, mengen en bewaren	34
4.4 Laboratoriumanalyse	35
4.5 Verwerking en beheer van gegevens	35
5 Aanbevelingen	37
Literatuur	40
Bijlage: Protocol bepaling mineraal stikstofresidu; toelichting context, functie en toepassing	42
1 Inleiding en leeswijzer	42
2 Beleidscontext	43
3 Het mineraal stikstofresidu en het stikstof bodemoverschot als indicatoren voor nitraatuitspoeling	43
4 Het protocol	45
5 Betekenis van meetuitslagen voor ondernemers	48
Literatuur	49

Woord vooraf

Bij het mestbeleid is er vanuit de landbouwsectoren en politiek een sterke wens om te komen tot doelsturing in plaats van sturen via van tevoren opgelegde maatregelen. Bij doelsturing zijn indicatoren nodig op basis waarvan kan worden gestuurd. Eén van de indicatoren is het minerale stikstofresidu dat in het najaar na de oogst van gewassen achterblijft in de bodem. Het minerale stikstofresidu is een relatief eenvoudige en goedkope indicator voor de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater. Sectorpartijen zoals BO-akkerbouw en ZuivelNL pleiten voor het gebruik van het minerale stikstofresidu om de waterkwaliteit te verbeteren en deze indicator mee te nemen als onderdeel van doelsturing. Vanuit het ministerie van LVVN is er een verzoek gekomen om hiervoor een meetprotocol op te stellen. In dit rapport wordt het protocol zelf en de achtergronden van de hierbij gemaakte keuzes beschreven.

De auteurs

Samenvatting

In het mestbeleid bestaat vanuit landbouwsectoren en de politiek de wens om te komen tot een systeem van doelsturing op waterkwaliteit. Het doel is om agrarisch ondernemers meer ruimte te geven om invulling te geven aan hun bijdrage aan een goede waterkwaliteit. Bij doelsturing zijn indicatoren nodig op basis waarvan kan worden gestuurd. Eén van de indicatoren is het minerale stikstofresidu (NR) dat in het najaar na de oogst van gewassen in de bodem achterblijft. Het NR is een relatief eenvoudige en goedkope indicator voor de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater. Sectorpartijen zoals BO-akkerbouw en ZuivelNL pleiten voor het gebruik van het NR als onderdeel van doelsturing. Op verzoek van het ministerie van LNV is een meetprotocol voor NR opgesteld. In dit rapport worden het protocol en de onderliggende keuzes beschreven.

Inventarisatie bestaande protocollen

Bij de ontwikkeling van het protocol is gekeken naar bestaande protocollen voor bepaling van NR uit Nederland, Vlaanderen en Duitsland, evenals het Nederlandse protocol voor fosfaatbemonstering. De meeste NR-protocollen gaan uit van bemonstering in drie dieptelagen: 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. De steekdichtheid varieert per protocol maar komt veelal uit op gemiddeld 7 à 8 steken per hectare. Sommige protocollen schrijven een maximale oppervlakte voor; percelen die groter zijn dan dit maximum worden opgedeeld in kleinere percelen. Wat betreft het bemonsteringspatroon houden bijna alle protocollen de W-methode ook wel het zigzagpatroon aan. In een enkel geval wordt het steekpatroon bepaald via een gestratificeerde aselechte steekproef (fosfaatprotocol). Bemonstering op NR vindt doorgaans plaats tussen 1 oktober en 1 december. Na het steken van monsters wordt de bewaring van monsters op verschillende manieren aangepakt. Er wordt soms uitgegaan van een snelle verwerking binnen drie dagen, maar soms wordt er ook gewerkt met een langere bewaarperiode, waarbij monsters worden ingevroren.

Nieuwe NR-protocol

De belangrijkste elementen van het NR-protocol worden hieronder weergegeven.

Bemonstering

- Een te bemonsteren perceel of perceelsdeel mag een maximale omvang van 5 hectare hebben. Bij grotere percelen wordt het perceel opgedeeld in subpercelen (van max 5 ha). Aan elkaar grenzende percelen mogen worden samengevoegd tot een totale omvang van maximaal vijf hectare, waarbij de omvang van individuele percelen niet groter is dan 2,5 hectare.
- Op het perceel of perceelsdeel worden 40 steken genomen. De positie van de steken wordt bij voorkeur bepaald via een gestratificeerde aselechte steekproef, waarbij het perceel in 40 strata van gelijke omvang wordt verdeeld, waarna per stratum aselechte de positie van het steekpunt wordt geloot. In het protocol is handmatige bepaling van de positie van de steekpunten met de W- methode vooralsnog ook toegestaan.
- De bemonsteringsdiepte bedraagt 0-90 cm min maaiveld, waarbij de lagen 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm apart worden bemonsterd. Op elk steekpunt wordt de laag 0-30 cm gestoken, bij één op de twee steekpunten de laag 30-60 cm en bij één op de 4 steekpunten de laag 60-90 cm.
- De monsters mogen zowel machinaal als handmatig worden genomen.
- De bemonstering vindt plaats tussen 15 oktober en 1 december.

Transport en bewaring

- Na het steken van de monsters wordt alle verzamelde grond per laag bij elkaar gedaan (mengmonster). De mengmonsters worden tijdens transport naar het laboratorium koel bewaard.
- Het monster dient binnen 24 uur na monsternamen naar het laboratorium te worden gebracht en in de koeling te worden bewaard, indien het laboratorium kan garanderen dat het monster binnen 3 dagen geanalyseerd kan worden. Indien deze garantie niet kan worden gegeven, dient het laboratorium op het moment van inname het monster onmiddellijk in te vriezen.

Analyse

- De bepaling van het gehalte aan $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ vindt plaats in (ontdooide) veldvochtige grond, waarbij 1 volumedeel grond wordt gemengd met 2 volumedelen extractiemiddel (0,01 M CaCl_2).
- Het $\text{NH}_4\text{-}$ en $\text{NO}_3\text{-}$ gehalte in het extract wordt spectrofotometrisch bepaald volgens de geldende NEN-ISO-voorschriften.

Overwegingen en aanbevelingen

De steekdichtheid per oppervlakte-eenheid is een compromis tussen de wens een representatief meetresultaat te verkrijgen en uitvoerbaarheid. Dit steekdichtheid bepaalt mede de benodigde arbeid voor de monsternamen en de kosten voor analyse. De in het protocol gehanteerde steekdichtheid is mede gebaseerd op het fosfaatprotocol en op Belgisch onderzoek dat in het kader van het Vlaamse NR-protocol is gedaan. Een verdere onderbouwing hiervan is nodig om na te gaan of verlaging van de steekdichtheid mogelijk is. Hiervoor is een geo-statistisch onderzoek nodig, waarbij op een aantal percelen met uiteenlopende situaties een intensieve bemonstering plaatsvindt en NR per steekpunt wordt bepaald. In dit onderzoek kan dan ook een vergelijking tussen een gestratificeerde aselechte steekproef en de W-methode worden meegenomen. De gestratificeerde aselechte steekproef heeft een aantal voordelen t.o.v. de W-methode: er zijn mogelijk minder steekpunten nodig en de steekpunten worden niet door de monsternemer bepaald. In de huidige versie van het protocol zijn mogen beide methoden nog worden gebruikt, maar voorgesteld wordt op termijn alleen de gestratificeerde methode toe te staan.

Bij de bemonstering kan ervoor worden gekozen om de laag 0-90 cm in één keer te bemonsteren of in meerdere lagen. Kijkend naar het doel, vaststelling van NR als indicator van het risico van uitspoeling in doelstuuringsbeleid, zou de laag 0-90 cm in één keer kunnen worden bemonsterd. Dit verlaagt het risico van mogelijke afwijkingen in steekdiepte bij de uitvoering van de bemonstering in meerdere lagen. In het protocol is echter voorlopig uitgegaan van bemonstering in drie lagen, namelijk 0-30, 30-60 en 60-90 vanwege de uitvoerbaarheid bij handmatige bemonstering.

Om dezelfde reden is er voor gekozen in de diepere lagen minder vaak te steken dan in de laag 0-30 cm. Omdat NR zich naar verwachting grotendeels in de bovenste laag zal bevinden en daar de variatie het hoogst zal zijn, is dit verdedigbaar. Op termijn heeft bemonstering in één laag de voorkeur, zodat op alle steekpunten bodemmateriaal wordt verzameld uit diepere en ondiepere bodemlagen.

Het tijdstip van meting kan van invloed zijn op de hoeveelheid aanwezige minerale stikstof in de bodem als gevolg van biologische processen in de bodem en uitspoeling naar lagen onder de bemonsterde laag. Er moet dus niet te vroeg worden gemeten om gemineraliseerde N uit organisch materiaal en N-opname door het (vang)gewas in de herfst te kunnen meenemen in de meting. De meting moet ook weer niet te laat plaatsvinden, omdat N dan al kan zijn uitgespoeld naar lagen onder de bemonsterde laag. Eerste berekeningen gebaseerd op gemiddelde neerslagoverschotten in de herfstperiode laten zien dat de meting niet na 1 december moet plaatsvinden om te voorkomen dat N zich al in lagen onder de bemonsterde laag terecht komt. Om het effect van biologische processen zo veel mogelijk mee te nemen zou een bemonstering in de tweede helft van november logisch zijn. Dat zou leiden tot een heel nauw tijdsvenster. Daarom is gekozen voor de periode 15 okt tot 1 dec. Vanwege logistieke redenen willen de laboratoria liever een langere periode. Om de consequenties van vroegere of latere metingen beter in kaart te brengen is een modelmatige verkenning zinvol naar de te verwachten verandering van minerale bodem-N in de herfst in relatie tot o.a. het geteelde gewas, nalevering van N uit gewasresten en de aanwezigheid van een vanggewas.

Het handmatig steken van NR-monsters, met name in diepere lagen, is fysiek zwaar werk. Gezien de verwachte opschaling van de bepaling van NR in Nederland wordt daarom aanbevolen het steken van monsters zo veel mogelijk te mechaniseren. Mechanisch bemonsteren betekent ook dat eenvoudig op alle steekpunten alle lagen kunnen worden bemonsterd, terwijl in het huidige protocol vanwege de mogelijkheid van handmatige bemonstering minder steken worden genomen in de diepere lagen. Omdat gemechaniseerd bemonsteren nog geen gemeengoed is, wordt in het huidige protocol ook handmatige bemonstering toegestaan.

Slotopmerking

Dit protocol is een eerste versie die dient te worden getoetst in de praktijk. Op een aantal onderdelen is nog ruimte voor verbeteringen of nadere onderbouwing.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Uitspoeling van stikstof (N) uit landbouwbodems naar grond- en oppervlaktewater is een probleem en vormt een bedreiging voor de waterkwaliteit. De belasting van watersystemen door N-uitspoeling hangt samen met bodem- en hydrologische omstandigheden en met de landbouwkundige managementpraktijk, gebaseerd op strategische en dagelijkse beslissingen over gewasteelt, bodembeheer en bemesting. Management is dus een factor van invloed en biedt sturingsmogelijkheden voor de ondernemer, in tegenstelling tot bijvoorbeeld weersomstandigheden. Het is van belang het management zo te ontwikkelen dat de N-uitspoeling zoveel mogelijk verlaagd wordt. Een probleem is dat ondernemers de negatieve gevolgen van N-uitspoeling niet direct ervaren. Ook is het voor ondernemers niet zonder meer duidelijk wat het verband is tussen enerzijds management en daarmee samenhangende N-overschotten in de bodem en anderzijds uitspoeling van N naar watersystemen. Deze 'onzichtbaarheid' van N-uitspoeling voor ondernemers vormt een belemmering voor hen om praktisch aan te sturen op verlaging van N-verliezen vanuit hun bedrijven en percelen. Hiervoor zijn indicatoren nodig die relatief eenvoudig zijn te bepalen en die een relatie hebben met de N-uitspoeling. Dergelijke indicatoren kunnen een onderdeel zijn van doelsturing: de bedrijfsgerichte aanpak waarbij agrariërs door zelfgekozen maatregelen sturen op de gewenste waterkwaliteit. Bij doelsturing kan het gaan om informeren, stimuleren en afrekenen. Bij informeren gaat het om het bewustzijn te vergroten van potentiële N-verliezen op het bedrijf en de mogelijkheden voor verbeteringen. Bij stimuleren gaat het daarnaast ook om het bevorderen van gewenste ontwikkeling in de bedrijfspraktijk bijvoorbeeld via belonen van goede prestaties. Bij afrekenen gaat het om een nog verdergaande vorm van regelgeving die aangrijpt op prestatiedoelen, door diverse middelen.

Indicatoren voor N-uitspoeling die op dit moment in beeld zijn, zijn het N-bodemoverschot en het minerale N-residu (NR). Het N-bodemoverschot wordt berekend op basis van o.a. de bemesting en de gewasopbrengsten. Bij NR betreft het een meting van de hoeveelheid aanwezige minerale N in de bodem na afloop van het groeiseizoen. Uit onderzoek van Noij en Ten Berge (2019) is gebleken dat NR de beste voorspellende waarde heeft voor nitraat in het bovenste grondwater van alle door hen onderzochte indicatoren en daarnaast is het een relatief eenvoudige en goedkope maatregel. Vanuit zowel LVVN als het landbouwbedrijfsleven is er een wens om de mogelijkheden van de NR-indicator nader te onderzoeken en na te gaan of en hoe deze gebruikt kan worden in regelgeving.

Probleem en behoefte

NR is en wordt veel onderzocht door verschillende organisaties. Maar de kennis is enigszins versnipperd. Er bestaan verschillende protocollen voor het meten van NR en er zijn verschillende benaderingen voor het wegen en beoordelen van resultaten. Voor brede toepassing is een goed doordachte uniforme aanpak wenselijk.

Het ministerie van LVVN acht het voor de beleidsontwikkeling gericht op verlagen van de N-uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater vanuit de landbouw, van belang dat er een meetprotocol wordt ontwikkeld. Dat protocol biedt de mogelijkheid om op grote schaal NR te meten, dat ondernemers een beeld kan bieden van hun bijdrage aan het nitraatgehalte in het bovenste grondwater onder hun percelen. Belangrijk is daarbij dat het protocol aansluit op het handelingsperspectief van de agrariërs, zodat het hem/haar in staat stelt zelf te sturen op verbetering van de waterkwaliteit. Het ministerie heeft de volgende randvoorwaarden voor het protocol aangegeven:

- Het protocol moet een representatief beeld geven van het NR op percelen.
- Het protocol wordt opgesteld voor metingen op perceelsniveau (dit stelt de ondernemer het beste in staat om de metingen te linken aan zijn/haar eigen perceelsmanagement).
- Het protocol moet breed inzetbaar zijn in verschillende agrarische sectoren (melkveehouderij, overige veehouderijbedrijven waar ook gewassen worden geteeld, akkerbouw, vollegrondstuinbouw) en op zoveel mogelijk verschillende bodemtypen.

-
- Het protocol moet borgbaar zijn, in de zin dat de methode zoveel mogelijk betrouwbare en reproduceerbare resultaten oplevert die niet gevoelig zijn voor manipulatie.
 - Het protocol moet borgen dat de metingen op een goede manier worden uitgevoerd, onafhankelijk van de uitvoerder van de meting. Dit omvat naast de bemonstering ook de monsterbehandeling en analyse in het laboratorium.

1.2 Doel en afbakening

Dit project heeft tot doel om:

- Kennis over NR en protocollen voor het meten van NR te inventariseren.
- Op basis van deze inventarisatie een protocol voor te stellen dat intersectoraal toegepast kan worden.
- Een breed draagvlak te creëren voor het te ontwikkelen protocol door afstemming met relevante stakeholders uit de verschillende landbouwsectoren en het onderzoek.

Afbakening

Het voorstel betreft enkel de meetmethodiek en gaat niet in op de (grondsoort of gewasafhankelijke) streefwaarden voor NR die zouden moeten gehanteerd om de nitraatuitspoeling tot onder het gewenste niveau te reduceren. Het voorstel gaat ook niet in op de manier waarop het protocol geïmplementeerd gaat worden. Het zal dus niet voorschrijven welke percelen bemonsterd moeten worden, voor welk doel de bemonstering uitgevoerd zal worden of hoe een kader voor waarderen van bedrijfsprestaties o.b.v. drempel en streefwaarden geïntroduceerd wordt.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden bestaande bemonsteringsprotocollen met elkaar vergeleken. Hierbij wordt breder gekeken dan alleen protocollen voor meting van NR. In hoofdstuk 3 wordt het nieuwe meetprotocol weergegeven. De onderbouwing van gemaakte keuzes worden beschreven in hoofdstuk 4. Het rapport wordt afgesloten met een aantal aanbevelingen (hoofdstuk 5).

In paragraaf 1.4 van dit hoofdstuk is een begrippenlijst opgenomen.

Bijlage I geeft een toelichting op de betekenis van metingen van NR en het stikstof bodemoverschot als indicatoren voor het uitspoelingsrisico van nitraat naar grondwater. De toelichting gaat bovendien in op de functie van het protocol. Deze toelichting is geschreven als een op zichzelf staande tekst en kan als kennisbron gebruikt worden voor praktijkgerichte communicatie.

1.4 Begrippenlijst

Begrip	Betekenis
Minerale stikstof	In bodem aanwezige anorganische stikstof in de vorm van nitraat en ammonium.
Nitraat	De stikstofverbinding met drie zuurstofatomen (NO_3); deze verbinding is negatief geladen en is goed oplosbaar in water.
Ammonium	De verbinding van stikstof met vier waterstofatomen (NH_4); deze verbinding is positief geladen en is goed oplosbaar in water.
Minerale stikstofresidu (NR)	De hoeveelheid minerale stikstof die zich in het najaar in de bodem bevindt in een afgebakende bodemlaag. In het kader van dit protocol betreft het de hoeveelheid minerale stikstof die zich in de bodemlaag 0-30, 30- 60, 60-90 cm onder maaiveld bevindt in de periode tussen 15 oktober en 1 december.
Steekpunt	De plek op een perceel waar een bodemonster wordt genomen.
Steek	Bodemonster verkregen door boren in de grond en het onttrekken van een deel van de bodem in de voorlans aan de bodem.
Mengmonster	Een bodemonster verkregen door verzamelen en homogeniseren van een aantal individuele steken
Perceel	Afgebakende ruimtelijke onderdelen van het totale oppervlak van een landbouwbedrijf, veelal zijn dit ook de ruimtelijke eenheden met min of meer gelijk management en landgebruik.
Rijenteelt	Teelt van gewassen, zoals aardappelen en mais in rijen
Bufferstrook	Een strook langs de rand van een perceel langs een waterloop, waarvoor bepaalde regels gelden met het oog op de waterkwaliteit; meestal gaat het om een lagere bemesting.
Spreiding	Het verschil tussen een (meet)waarde en de gemiddelde waarde.
Standaarddeviatie	Een maat voor de spreiding van (meet)waarden rond het gemiddelde.
Variogram	Een grafische weergave van de ruimtelijke afhankelijkheid van spreiding van verschillende factoren.
Stratificatie	Het opdelen van een perceel in blokken van gelijke omvang, waaraan op basis van loting steekpunten worden toegewezen.
W-methode	Een bemonsteringspatroon waarbij over een zigzag-patroon in de lengte richting van een perceel op vaste tussenafstanden een steekpunt wordt gekozen.
Stratum	Een individueel ruimtelijk onderdeel van een perceel
Accreditatie	Een verklaring dat geldt als kwaliteitsbewijs (bewijs van vertrouwen) voor het uitvoeren van bepaalde activiteiten zoals bemonstering van percelen en analyse van grondmonsters. De accreditatie wordt toegekend door specifiek daarvoor aangewezen organisaties zoals de Raad voor Accreditatie

2 Vergelijking bestaande protocollen

In dit hoofdstuk worden beschikbare protocollen voor bodembemonstering met elkaar vergeleken. Hierbij is primair gezocht naar protocollen met betrekking tot meting van nitraat of minerale N in landbouwgronden die ten dienste staan van beleidsmatige sturing of regelgeving of beslissingen van ondernemers. Naast protocollen voor meting van minerale N wordt ook het protocol voor bepaling van de fosfaattoestand van de bodem meegenomen, omdat deze ook wordt gebruikt in de mestwetgeving; te weten: ten behoeve van differentiatie van fosfaatgebruiksnormen. Daarnaast was dit protocol aanbevolen door uitvoerende organisaties omdat het veel praktische elementen bevat die ook van toepassing kunnen zijn op het nieuwe meetprotocol voor NR. Daarnaast is ook het meetprotocol voor bepaling van het nitraatgehalte in het grond/drain/slootwater meegenomen op de bedrijven in het Landelijk Meetnet Mestbeleid (LMM), hoewel dit niet gericht is op NR. Het gebruikte protocol in het LMM is relevant, omdat het LMM ten dienste staat van het evalueren van ontwikkelingen van landbouwpraktijk en waterkwaliteit op bedrijven als onderdeel van mestbeleid. Er zijn ook protocollen voor het bepalen van NR die meer toegesneden zijn op specifiek onderzoek. Daarbij is het doel en de opzet van het onderzoek sterk bepalend voor het meetprogramma. Dit is voor deze inventarisatie minder relevant en deze zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

Vanwege de beschikbare tijd en het doel van de inventarisatie, te weten: bruikbare onderdelen in beeld krijgen die gebruikt kunnen worden in een te ontwerpen breed gedragen protocol voor NR, is er niet gestreefd een uitputtend overzicht te creëren van de bestaande protocollen. In paragraaf 2.1 is het overzicht beschreven en samengevat in Tabel 1.

Bij de meeste protocollen voor grondbemonstering wordt het perceel op meerdere plekken bemonsterd, waarna een mengmonster wordt gemaakt van alle verzamelde grond. De afzonderlijke plekken van bemonstering worden hierna aangeduid als steekpunten.

2.1 Bestaande protocollen

Fosfaatdifferentiatie Nederland

In Nederland is de fosfaattoestand van een perceel bepalend voor de hoeveelheid fosfaat die mag worden toegediend; dit is geregeld in de meststoffenwet. Om de fosfaattoestand te bepalen worden er grondmonsters van percelen genomen; de bepaling dient uitgevoerd te worden vóór 15 mei en is maximaal vier jaar geldig. Er is een bemonsteringsprotocol beschikbaar vanuit Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO), waarin vastgelegd is hoe de grondmonsters genomen moeten worden. Daarbij zijn twee methodes beschikbaar: loting van steekpunten via een gestratificeerde aselechte steekproef en bepaling van de steekpunten door de monsternemer via een vast patroon (o.a. W-methode). De keuze voor de methode is vrijgelaten voor de monsternemer. Beide methodes schrijven voor hoeveel steekpunten nodig zijn op een bepaald oppervlak, hoe deze steekpunten moeten worden verdeeld over het totale oppervlak (W-methode vs. gestratificeerde aselechte steekproef), op welke diepte de monsters moeten worden genomen (10 of 25 cm), de manier waarop de grondmonsters bewaard moeten worden (gedroogd of gekoeld) en volgens welke methode ze moeten worden geanalyseerd. Voor beide methoden geldt dat de uitvoering (bemonstering & analyse) moet worden gedaan door een geaccrediteerde organisatie. Verder geldt dat als een perceel groter is dan de voorgeschreven maximale omvang voor de bemonstering (in dit geval 5 ha), het perceel moet worden opgedeeld in subpercelen die apart moeten worden bemonsterd. Dus stel dat het gaat om een perceel van 12 ha, dan worden 3 subpercelen gemaakt die apart worden bemonsterd. De omvang van de subpercelen (max 5 ha) is een keuze die in overleg met de agrariër wordt gemaakt. De uiteindelijke waarde voor het totale perceel wordt berekend door de agrariër. De agrariër krijgt per deelvlak een analyse en deze dient hij te gebruiken om een gewogen gemiddelde van het totale perceel te berekenen.

Bron: https://www.rvo.nl/sites/default/files/2025-01/20250114_Bemonsteringsprotocol_fosfaattoestand_bepalen.pdf

Nitraatresidu Vlaanderen

In Vlaanderen is er een protocol voor de bepaling van nitraat-N-residu als onderdeel van hun wettelijke mestactieprogramma's. Ammonium-N wordt niet meegenomen, omdat, zo geven de opstellers van het protocol aan, de meting van ammonium-N een hogere variabiliteit heeft dan nitraat, waardoor het moeilijker deze te gebruiken is om uitspoelingsrisico's te beoordelen. Bij toepassing van het protocol wordt er onderscheid gemaakt tussen bedrijven in focusgebieden en bedrijven in overige gebieden. Een focusgebied is een gebied waar het nitraatgehalte wordt overschreden of waar het nitraatgehalte onvoldoende afneemt. Op bedrijven in focusgebieden worden meerdere percelen bemonsterd, terwijl monsternamen op bedrijven in de overige gebieden beperkt is tot één perceel. Een bedrijf valt in een focusgebied wanneer >50% van het areaal binnen een focusgebied valt. Voor alle bedrijven geldt dat het nitraatresidu moet voldoen aan bepaalde drempelwaarden. Welke percelen bemonsterd worden, is aangeduid door de Mestbank (handhaving mestwetgeving) o.b.v. grondsoort, gewassen en regio.

In het protocol is opgenomen dat er minimaal 15 stekende per 2 hectare moeten worden genomen in de bodemlaag van 0-90 cm. Deze laag wordt gesplitst in 3 aparte lagen (0-30, 30-60 en 60-90). Per laag wordt de grond van alle stekende samengevoegd tot één mengmonster. Het bemonsteren verloopt middels de W-methode of de kruislingse methode en vindt plaats tussen 1 oktober en 15 november.

Bron: https://reflabos.vito.be/2010/BAM_deel1_01.pdf

Nitraatresidu Baden-Württemberg

In de Duitse deelstaat Baden-Württemberg is ook een protocol opgesteld voor de bepaling van nitraat-N-residu (ook hier wordt ammonium-N niet meegenomen). Het protocol is specifiek bedoeld voor waterbeschermingsgebieden. In deze gebieden worden na het groeiseizoen monsters genomen op een soortgelijke manier als in Vlaanderen. Het protocol heeft tot doel het overmatig gebruik van stikstofmeststoffen te verminderen. Het protocol schrijft voor dat er per 2 hectare op 15 punten stekende worden genomen middels de W-methode waarbij per steekpunt 5 deelstekende worden genomen in de laag 0-30, 3 deelstekende in de laag 30-60 en 1 deelsteek in de laag 60-90. De monsternamen vinden plaats tussen 15 oktober en 15 november.

Het protocol is een onderdeel van wetgeving die erop gericht is om grondwaterbeschermingsgebieden te beschermen tegen nitraatuitspoeling in de deelstaat Baden-Württemberg.

Bron: <https://www.methodenbuch.de/produkt/methodenbuch-band-i-boden/>

Minerale bodem-N Nordrhein-Westfalen

In de Duitse deelstaat Nordrhein-Westfalen is ook een protocol opgesteld voor de bepaling van minerale bodem-N. De focus voor dit protocol is gericht op zogenaamde rode gebieden, dat zijn gebieden waar de waterkwaliteit niet op orde is en het nitraatgehalte boven 50 mg/L ligt. Voor deze gebieden is bij de wet geregeld dat boeren in het voorjaar een monster voor minerale bodem-N moeten laten nemen om hun N-gebruiksruimte voor bemesting te bepalen. De gebruiksruimte wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheid minerale bodem-N (gemiddelde van 5 jaar) en de verwachte gewasopbrengst (gemiddelde van de afgelopen 5 jaar). Anders dan in voorgaande protocollen gaat het hier om een bepaling in het voorjaar t.b.v. de bepaling van de N-bemesting in het daaropvolgende groeiseizoen.

Het protocol schrijft voor dat er per 3 hectare 16 stekende moeten worden genomen middels de W-methode, waarbij de lagen 0-30, 30-60 en 60-90 apart worden bemonsterd. De monsters dienen gekoeld getransporteerd te worden en worden in het lab onder veldvochtige omstandigheden geanalyseerd.

Bron: <https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/probenahme/probenahme-nmin-smin.pdf>

Minerale bodem-N Cosun (Eurofins/Normec)

Vanwege de uitdaging die de Nederlandse akkerbouw heeft met betrekking tot de Nitraatrichtlijn en de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is Cosun (een agrarische coöperatie die suikerbieten, cichorei en consumptieaardappelen verwerkt) een vrijwillige meetcampagne gestart voor minerale N. In deze campagne kunnen telers die hun producten leveren aan Cosun hun percelen laten bemonsteren door Eurofins of Normec. De bepaling staat in het algemeen ten dienste van managementondersteuning van ondernemers. Het protocol dat wordt gebruikt is opgesteld door de WUR en is door Eurofins en Normec geïmplementeerd vanwege het belang van gestandaardiseerde en uniforme bepalingen.

In tegenstelling tot het protocol van Vlaanderen en die in Baden-Württemberg en Nordrhein-Westfalen Duitsland gaat het in dit protocol om de meting van totale minerale stikstof, dus nitraat- én ammonium-N. Het protocol van Cosun bevat een voorjaars- en een najaarsbemonstering; vooral de bemonstering in het najaar is relevant voor de waterkwaliteit. Het protocol beschrijft de hoeveelheid monsters per bodemlaag en het steekpuntpatroon dat gevolgd wordt (de W-methode). In het perceel wordt (onafhankelijk van de grootte) een representatief vlak van 2 ha geselecteerd en daar worden 40 steken genomen in de laag 0-30 cm, 20 steken in de laag 30-60 cm en 10 steken in de laag 60-90 cm (zie Figuur 1 voor verdeling van steken). Daarnaast is de manier waarop monsters vervoerd worden naar het lab vastgelegd. N-mineraal wordt bepaald in veldvochtige grond (1:2 V/V-extractie met behulp van 0,01 M CaCl₂). Het protocol is géén onderdeel van Nederlandse wetgeving.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
0-30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
30-60		x				x		x		x				x				x		x		x			x				x				x				x			x	
60-90			x					x					x				x				x				x				x					x				x			

Figuur 1. Schematische weergave van de verdeling van de steken over de bodemlagen in het protocol voor bemonstering op minerale bodem-N in het najaar (Bron: Interne communicatie Cosun/Eurofins/Normec).

Minerale bodem-N NMI

NMI heeft ook een protocol voor het nemen van N-mineraal monsters op praktijkpercelen. Het gaat hierbij om een meting van het totaal aan minerale stikstof, dus nitraat- én ammonium-N en het protocol wordt voornamelijk ingezet voor onderzoeksdoeleinden. Er worden 15 steken per perceel genomen met een maximale grootte van 5 hectare. Bij elke steek worden er 3 lagen bemonsterd: 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. De monsterpunten worden ingedeeld volgens de W-methode. Het NMI voert het nemen van monsters zelf uit, maar het analyseren van monsters wordt gedaan door geaccrediteerde organisaties als Eurofins of Normec. De analyse wordt gedaan in veldvochtige grond. Het protocol van NMI heeft géén wettelijke status.

Bron: Interne communicatie NMI

LMM

Het landelijk meetnet effecten mestbeleid (LMM) is een monitoringsprogramma in Nederland dat de effecten van het mestbeleid op de waterkwaliteit onderzoekt en is daarmee onderdeel van de onderbouwing van de Nederlandse regelgeving. Een onderdeel daarvan is een meting van het nitraatgehalte in grond- en oppervlaktewater. Dit metingen vinden plaats op 450 landbouwbedrijven die representatief zijn voor verschillende grondsoorten en sectoren (melkveehouderij en akkerbouw) in Nederland. Op zandgrond worden de metingen gedaan in het bovenste meter van het grondwater. Op kleigronden worden behalve in de bovenste meter van het grondwater ook metingen gedaan in het drainwater, op veengronden worden metingen gedaan in het slootwater (naast nitraat ook N-totaal) en op lössgronden in bodemvocht. Per bedrijf vinden de metingen plaats op 16 plaatsen. Resultaten worden niet voor afzonderlijke bedrijven geïnterpreteerd en weergegeven maar worden op regionale schaal in beeld gebracht.

Bron: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0107.pdf>

	Fosfaatdifferentiatie, Nederland	Nitraatresidu, Vlaanderen	Nitraatresidu, Baden-Württemberg	Nmin, Nordrhein-westfalen	Minerale N, Eurofins	Minerale N, Cosun, Normec	Nitraatgehalte, LMM	MineraleN / NMI
Steekdiepte	10 cm grasland 25 cm bouwland	0 – 90 cm	0 – 90 cm	0-90	0 – 90 cm	0 – 90 cm		0-90 cm
Meetdichtheid	40 per 5 ha ^{1*} of 25 (1-5 ha) ² 28/29 (5-10 ha) ² 33/32 (10-20 ha) ²	15 monsters per 2 ha**, 15 op 0-30 15 op 30-60 15 op 60-90	15 per 2 ha: 15 op 0-30 8 op 30-60 4 op 60-90	16 per 3 ha	Onafhankelijk van perceelgrootte wordt op een vlak van 2 ha: 40 op 0-30* 20 op 30-60 10 op 60-90	Onafhankelijk van perceelgrootte wordt op een vlak van 2 ha: 40 op 0-30* 20 op 30-60 10 op 60-90	16 meetpunten per bedrijf	Per 5 ha: 15 op 0-30 15 op 30-60 15 op 60-90
Tijdstip	Voor 15-05	Tussen 1 okt en 15 nov	Voorjaar & Tussen 15 okt en 15 nov	Voorjaar		Voorjaar & najaar	Voorjaar & najaar	
Patroon	W-methode, zigzag of kruislings of gestratificeerd	Kruislings of W-methode	Zigzag, s-vorm of kruislings	W-methode	W-methode	W-methode	n.v.t.	W-methode
Bewaring	Max 3 maand (gedroogd)	Invriezen géén eindtijd		Gekoeld bewaren	Gekoeld bewaren	Gekoeld bewaren	Gekoeld bewaren	Gekoeld bewaren
Analyse	In veldvochtige grond	Na ontdoeien in veldvochtige grond	?	In veldvochtige grond	In veldvochtige grond	In veldvochtige grond	n.v.t.	In veldvochtige grond
Extract	1:10 V 0,01 CaCl2 1:20 v NH4-lactaat + azijnzuur 1 uur schudden voor analyse	1 M KCl 1 uur schudden voor analyse	0,0125 M CaCl 0,5 tot 1 uur schudden voor analyse		1:2 V/V 0,01 M CaCl2 CaCl2 1 uur schudden	1:2 V/V 0,01 M CaCl2 1 uur schudden		1:2 V/V 0,01 M 1 uur schudden
Accreditatie	Monsternemer en analyse geaccrediteerd	Monsternemer en analyse geaccrediteerd	Analyse geaccrediteerd	Analyse geaccrediteerd	Monsternemer en analyse geaccrediteerd	Analyse geaccrediteerd	Monsternemer en analyse geaccrediteerd	Analyse geaccrediteerd
Gewasverschillen?	nee	Bij groentepercelen worden er deelmonsters gestoken per monsterpunt: 5 op 0-30 3 op 30-60 1 op 60-90	rijengewassen	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

	Fosfaatdifferentiatie, Nederland	Nitraatresidu, Vlaanderen	Nitraatresidu, Baden-Württemberg	Nmin, Nordrhein-westfalen	Minerale N, Eurofins	Minerale N, Cosun, Normec	Nitraatgehalte, LMM	MineraleN , NMI
Referenties: bemonstering , analyse, additionele parameters	https://www.rvo.nl/sites/default/files/2025-01/20250114_Bemonsteringsprotocol_fosfaattoestand_bepalen.pdf	https://reflabos.vito.be/2020/BAM-deel1-01.pdf https://reflabos.vito.be/2020/BAM-deel1-04.pdf https://reflabos.vito.be/2020/BAM-deel1-09.pdf	https://www.methodenbuch.de/produkt/methodenbuch-band-i-boden/ A1.2.2.Probenahme für die Nmin-Methode A 6.1.4.1 Bestimmung von mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in Bodenprofilen (Nmin-Labormethode	https://www.landwirtschaftskammer.de/lufa/probenahme/probenahme-nmin-smin.pdf Programme und Formulare zur Düngeverordnung 2020 - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen	Interne communicatie	Interne communicatie	https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0107.pdf	Interne communicatie

¹ eigen methode meestal zigzag methode
² gestratificeerde aselece steekproefmethode, bij percelen van 5-10 ha en 10-20 ha is de eerste waarde voor grasland en de tweede voor bouwland
 * 40 per 5 ha komt overeen met 8 per ha
 ** 15 per 2 ha komt overeen met 7,5 ≈ 8 per ha

2.2 Vergelijking protocollen

Steekdiepte

Bij de meeste protocollen wordt voor de bepaling van nitraat-N of totale minerale N in het najaar uitgegaan van de laag 0-90 cm. Vaak wordt er bemonsterd in 3 lagen: 0-30, 30-60 en 60-90 cm.

Steekdichtheid

Bij de protocollen van Cosun/Eurofins/Normec varieert de steekdichtheid per bodemlaag: per 2 ha worden 40 steken genomen in de laag 0-30 cm, 20 steken in de laag 30-60 cm en 10 steken in de laag 60-90 cm. In Baden-Württemberg wordt per 2 ha uitgegaan van 15 steken in de laag 0-30 cm worden, 8 in de laag 30-60 cm en 4 in de laag 60-90 cm. In Vlaanderen wordt er met 15 steekpunten per 2 hectare gewerkt en bij ieder steekpunt worden alle drie lagen bemonsterd. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat bij het Cosun-protocol een perceelsdeel van 2 ha wordt geselecteerd (ongeacht de grootte van het perceel) en dat bij de protocollen van Baden-Württemberg en Vlaanderen de steekdichtheid geldt voor een maximale perceelsomvang van 2 ha.

Doorgaans wordt er per bodemlaag, bijvoorbeeld 0-30 cm, één grondzak gebruikt. Dit is een bulkmonster. Op het laboratorium wordt dit bulkmonster gemengd en daaruit wordt een submonster genomen voor verdere analyse. De resterende grond wordt vaak bewaard indien een heranalyse noodzakelijk is.

Voor het Nederlandse fosfaatprotocol is de steekdichtheid afhankelijk van de gebruikte methode van bepaling van de steekpunten. Bij de aselechte gestratificeerde steekproef is deze lager dan bij de handmatige methode (o.a. W-methode). Verder geldt dat als een perceel groter is dan de voorgeschreven maximale omvang voor de bemonstering (in dit geval 5 ha), het perceel moet worden opgedeeld in subpercelen die apart moeten worden bemonsterd.

In alle protocollen wordt per bemonsterde laag slechts één mengmonster samengesteld. Er worden dus geen duplobepalingen gedaan van percelen.

Steekpatroon

Het steekpatroon betreft doorgaans patronen die gangbaar zijn bij bemonsteringen zoals, W- en zigzag-patroon of kruislings over het perceel gestoken. De monsternemer bepaalt de monsterplekken. Bij het fosfaatprotocol worden bij de gestratificeerde aselechte steekproef de steekpunten van tevoren aselekt bepaald via loting.

Tijdstip

Het tijdsvenster van de bemonstering van minerale N in het najaar loopt bij de verschillende protocollen tussen 1 oktober en 1 december. De startdatum varieert van 1-15 oktober en de einddatum varieert van 15 november tot 1 december.

Bewaring

Bij het protocol van Cosun worden de verzamelde monsters in veldvochtige toestand bewaard voor maximaal 72 uur in een gekoelde omgeving. In Vlaanderen worden monsters ingevroren, er is geen uiterste bewaartijd voorgeschreven. Bij het protocol van NMI worden de monsters gekoeld bewaard en zo snel mogelijk na het steken geanalyseerd.

Analysemethode

Bij de meeste protocollen voor bepaling minerale bodem-N wordt de analyse gedaan in veldvochtige grond. De extractie vindt plaats met CaCl_2 (meeste protocollen) of met KCL (protocol Vlaanderen). Bij het protocol van Cosun vindt de extractie plaats bij een bepaalde volume-verhouding grond en extractiemiddel (1:2). Als er gewerkt wordt met ingevroren monsters zoals in Vlaanderen, worden deze monsters eerst ontdooid in gekoelde omstandigheden of bij kamertemperatuur. Vervolgens worden de monsters gemengd en direct geanalyseerd.

Gewasverschillen

Bij de Nederlandse protocollen worden geen rekening gehouden met de gewassen die op het veld hebben gestaan of staan. In het protocol voor Vlaanderen en Baden-Württemberg is dat wel het geval, in deze protocollen wordt het steekpatroon aangepast aan het gewas. Door bijvoorbeeld de steken te verdelen over in de rij en tussen de rijen.

In Vlaanderen wordt op groentepercelen, waarop bij het gewas band- of rijenbemesting is toegepast, een ander steekpatroon aangehouden. In plaats van de standaard W-methode met 15 steken, wordt er dan gewerkt met een kruisverband met op elk van de 15 monsterplekken 5 deelsteken op 0-30, 3 deelsteken op 30-60 en 1 steek op 60-90 (zie Figuur 1). De deelsteken worden op verschillende afstanden van het monsternamepunt genomen:

- Bodemlaag 0-30 cm: 5 deelsteken per monsterpunt (deelsteken om de 20 cm)
- Bodemlaag 30-60 cm: 3 deelsteken per monsterpunt (deelsteken om de 40 cm)
- Bodemlaag 60-90 cm: 1 deelsteek per monsterpunt (midden op het monsterpunt)



Figuur 1. Bemonstering bij band- of rijbemeste groentepercelen (Bron: Bodem-bemonsteringsprotocol Vlaanderen 2010)

In Baden-Württemberg wordt afgeweken van de standaard meetmethode bij enkele gewassen, zoals mais waarbij een derde van de 15 steken in de rij moet worden genomen. Ook voor andere gewassen die een rijafstand hebben die groter is dan 75 cm wordt voorgeschreven hoeveel steken er binnen en buiten de rij moeten worden genomen. Voor wijngaarden geldt dat 75% van de steken tussen de rijen, en 25% van de steken in de rij moet worden genomen. Voor andere gewassen zoals hop, aardbeien en asperges geldt dat 50% van de steken tussen de rij moet worden genomen en 50% in de rij. Voor overige groentegewassen met een rijafstand groter dan 75 cm geldt ook dat 50% van de steken in de rij wordt gestoken en 50% tussen de rijen.

2.3 Samenvattend beeld

Uit de bestudeerde protocollen blijkt dat er enkele belangrijke overeenkomsten en verschillen bestaan in het doel en de methoden voor het bemonsteren van N-min in het najaar. Alle protocollen die bekeken zijn, zijn of waren in gebruik in de praktijk en bevatten relevante informatie die voor het nieuw op te stellen protocol relevant kan zijn. Daarom worden elementen van verschillende protocollen betrokken bij het ontwerp van het nieuw op te stellen protocol. Hierbij is er nadrukkelijk gekeken of het op dit moment in de praktijk werkbaar is en wordt toegepast en er géén nieuwe inzichten zijn die aangeven dat er veranderingen moeten worden aangebracht.

De bemonstering wordt doorgaans uitgevoerd in drie dieptelagen: 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm. De steekdichtheid varieert per protocol maar komt veelal uit op gemiddeld 7 à 8 steken per hectare. Sommige protocollen schrijven een maximale oppervlakte voor, als percelen niet aan deze voorwaarde voldoen dan wordt het perceel opgedeeld in kleinere percelen. Het voorgeschreven steekpatroon is in bijna alle gevallen dezelfde, namelijk de W-methode ook wel zigzagpatroon. In een enkel geval wordt het steekpatroon bepaald via een gestratificeerde aselecte steekproef (fosfaatprotocol). Bemonstering vindt doorgaans plaats tussen 1 oktober en 1 december. Na het steken van monsters wordt de bewaring van monsters op verschillende manieren aangepakt. Er wordt soms uitgegaan van een snelle verwerking binnen drie dagen, maar soms

wordt er ook gewerkt met een langere bewaarperiode, waarbij monsters worden ingevroren. Tenslotte wordt er in het buitenland rekening gehouden met het type gewas dat op het perceel heeft gestaan. Als dit rijengewassen zijn of wanneer bij rijengewassen rijenbemesting is toegepast, wordt er een andere steekmethode gehanteerd. Er wordt dan zowel in de rij als tussen rijen gestoken in plaats van de volveldsmethode. Er zijn geen protocollen waarin duplo bepalingen zijn voorgeschreven voor de bemonstering.

3 Het nieuwe protocol

3.1 Doel en reikwijdte

Doel van het protocol is om een basis te leggen voor een goede, dat wil zeggen, breed inzetbare en gestandaardiseerde bepaling van de hoeveelheid minerale bodem-N die in het najaar (start uitspoelingsseizoen) die een representatief en reproduceerbaar beeld geeft van de toestand op percelen van landbouwbedrijven. Deze meting staat ten dienste van waardering van het niveau van NR op landbouwbedrijven met betrekking tot het risico van N-verliezen naar het grondwater. Het protocol is niet primair gericht op het verzamelen van gegevens voor het verbeteren van management, hoewel de resultaten daarvoor uiteraard wel kunnen worden gebruikt.

Het protocol is bedoeld voor minerale gronden (zand, klei en löss) en geldt in principe voor alle (landbouw)gewassen. Voor fruit- en boomkwekerijgewassen moet nog wel nader worden gekeken of het ook daar goed toepasbaar is. Het protocol is uitsluitend gericht op monsternamen in het najaar en dient uitgevoerd te worden door een geaccrediteerde organisatie, welke hiervoor is geaccrediteerd door de Raad van Accreditatie.

3.2 Benodigde materialen en apparatuur

Het te gebruiken gereedschap moet geschikt zijn om bodembemonstering uit te voeren tot een diepte van 90 cm onder maaiveld. De bemonstering mag zowel machinaal als handmatig plaatsvinden, maar een machinale benadering heeft de voorkeur. Wanneer er handmatig wordt bemonsterd is een geschikte boor nodig, zoals een steekguts of een edelmanboor. Wanneer lagen apart na elkaar worden gestoken dient de gutsdiameter in een diepere laag steeds smaller te zijn dan in de laag erboven om te voorkomen dat grond uit verschillende lagen bij elkaar komt. Voor het bemonsteren van de laag 0-30 cm is het gebruik van een boor met een binnendiameter van minimaal 20 mm verplicht. Voor diepere lagen kan met een kleinere guts worden gewerkt bijvoorbeeld een binnendiameter van 13 mm. Indien er machinaal wordt gewerkt en alle lagen ineens worden gestoken, heeft de boor één vaste diameter voor alle lagen, zodat de volumes gelijk zijn.

In alle gevallen dient de boor (en mechanisatie) grondig gereinigd te worden alvorens deze gebruikt wordt voor de bemonstering van een perceel. Tijdens de bemonstering moet erop gelet worden dat er geen grondresten van een ander steekpunt in de boor aanwezig zijn.

Voor het vervoer van monsters dient vochtverlies tot het minimum beperkt te worden door een stevige plastic zak of papieren zak met polyethyleen bekleding te gebruiken.

Voorafgaand aan de bemonstering dient bij de betreffende agrariër te worden nagegaan of er drainage aanwezig is op het perceel, zodat er rekening mee kan worden gehouden en schade aan het drainagesysteem wordt voorkomen.

3.3 Bemonsteringstijdstip

De bemonstering vindt plaats tussen 15 oktober en 1 december bij voorkeur nadat het gewas is geoogst.

3.4 Monsternameprocedure

Perceelsomvang

Een te bemonsteren perceel of perceelsdeel mag een maximale omvang van 5 hectare hebben. Aan elkaar grenzende percelen mogen worden samengevoegd tot een totale omvang van maximaal vijf hectare, waarbij de omvang van individuele percelen niet groter is dan 2,5 hectare. Indien een perceel groter is dan 5 hectare dient deze opgedeeld te worden in subpercelen van maximaal 5 ha. De subpercelen worden vervolgens apart bemonsterd volgens onderstaande richtlijnen. Per subperceel wordt per bodemlaag een mengmonster gemaakt. Het resultaat voor het totale perceel wordt bepaald door een areaal gewogen gemiddelde te berekenen van de subpercelen, dit dient de teler zelf te doen. Het opdelen in subpercelen wordt gedaan door de monsternemer.

Indien het perceel (of een deel van een perceel) verdeeld is onder meerdere gebruikers, dan wordt alleen het deel van het perceel dat in gebruik is door de aanvrager geregistreerd en bemonsterd.

Bepaling steekpunten

Per perceel worden 40 steekpunten gekozen. Bij de bepaling van de steekpunten gaat de voorkeur uit naar de gestratificeerde aselechte steekproef, maar voorlopig is ook de handmatige eigen methode nog toegestaan.

Gestratificeerde aselechte steekproef

Voor de bepaling van de steekpunten worden met behulp van hiervoor ontwikkelde software de steekpunten aselekt over het perceel verdeeld. De gestratificeerde aselechte steekproefmethode behelst: het vaststellen van vorm en grootte van het perceel, het willekeurig onderverdelen van het perceel in strata (blokken van gelijke omvang) en het aselekt bepalen van het steekpunt per stratum door loting (per stratum één steekpunt):

1. *Vastleggen van het perceel*

Markeer de vormbepalende hoekpunten en leg met een Global Navigation Satellite System (GNSS) de omvang en vorm van het perceel vast. Controleer en verifieer de GNSS data met een kaart gebaseerd op TOP10NL van de Basisregistratie Topografie, of een zo recent mogelijke (uiterlijk 2 jaar oude) weergave van de RVO perceelsdata. De afwijking van het GNSS is niet meer dan 5 meter. Eventuele bufferstroken worden bij de bepaling ook meegenomen. Vervolgens wordt de omvang berekend.

2. *Onderverdelen in strata*

Het perceel wordt met behulp van de hiervoor beschikbare software willekeurig onderverdeeld in strata van gelijke grootte (stratificatie). De strata zijn zo compact mogelijk vormgegeven en zo goed mogelijk verdeeld over het perceel. Het aantal strata is gelijk aan het aantal steekpunten in dit geval 40.

3. *Bepalen van de positie van het steekpunt per stratum*

Binnen elk stratum wordt vervolgens via loting aselekt een steekpunt gekozen.

Eigen methode

Indien er bij de positionering van de steekpunten niet wordt gekozen voor de gestratificeerde aselechte steekproef, mag er gebruik worden gemaakt van een eigen, onder de accreditatie van het laboratorium vallende, methode. Deze methode kan gebaseerd zijn op de W-methode, de Z-methode (zigzag-methode) of kruislingse bemonstering.

Bij de gekozen methode dient ervoor gezorgd te worden dat de steekpunten zo gelijkmatig mogelijk worden bepaald, waarbij ook kopakkers, perceelsranden en bufferstroken worden meegenomen. Ter illustratie, indien bijvoorbeeld de W-methode wordt gebruikt en er wordt in vijf slagen bemonsterd (zie illustratie hieronder), dan bedraagt het aantal steekpunten acht per slag. De monsternemer kan dan met de GPS afstanden inschatten en per X meter een monster nemen.



Laagdiepte

De bemonsteringsdiepte bedraagt 0-90 cm, waarbij de lagen 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm apart worden bemonsterd. Op elk steekpunt wordt de laag 0-30 cm gestoken, bij één op de twee steekpunten de laag 30-60 cm en bij één op de 4 steekpunten de laag 60-90 cm (zie ter illustratie onderstaande figuur voor verdeling van steken). Dit betekent 40 steekpunten voor de laag 0-30 cm, 20 steekpunten voor de laag 30-60 cm en 10 steekpunten voor de laag 60-90 cm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	37	39	40
0-30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30-60		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
60-90				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x

De afzonderlijke lagen kunnen na elkaar worden gestoken, maar de laag 0-90 cm mag ook in één steek worden genomen, waarna de steek wordt opgedeeld in laagdieptes van 30 cm (0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm).

De hoeveelheid gestoken grond (volume) per bemonsteringslaag is gelijk voor alle steekpunten.

Bijzondere omstandigheden bij bemonstering

Indien een perceel voor meer dan 50% niet te bemonsteren is, bijvoorbeeld omdat een perceel deels onder water staat, hoeft de bemonstering niet te worden uitgevoerd. Dit moet aantoonbaar worden vastgelegd door de monsternemer, middels bijvoorbeeld een foto. Indien het perceel voor minder dan de helft onder water staat worden alleen de gelote punten bemonsterd op de droge delen. Aangegeven moet worden hoeveel punten zijn bemonsterd.

Indien het fysiek niet mogelijk is om op een steekpunt tot de gewenste diepte te bemonsteren, bijvoorbeeld omdat grondwater of stenen dit onmogelijk maken, is het toegestaan de bemonstering te beperken tot de diepte waarop bemonstering nog wel mogelijk is. In het verslag moet nauwkeurig worden aangegeven bij hoeveel steken niet tot 90 cm is gestoken en tot welke diepte dat wel is gelukt. Verder moet de reden waarom een bemonstering tot 90 cm niet mogelijk was worden vermeld (bijvoorbeeld aanwezigheid van grondwater of stenen).

In sommige gevallen kan het zijn dat een steekpunt zich op een positie bevindt waar het niet mogelijk is om de steek uit te voeren, bijvoorbeeld omdat het steekpunt zich boven een drain bevindt. In dat geval mag het steekpunt worden verplaatst, zodat er geen beschadiging van de drains plaatsvindt. Het nieuwe steekpunt moet wel zo dicht mogelijk bij het aanvankelijk geplande steekpunt liggen (max 1 m).

Indien het gewas niet vóór 1 december is geoogst, moet er in het gewas worden bemonsterd. In dat geval is alleen een handmatige methode mogelijk.

Gegevens monster

Om de monsters achteraf te kunnen identificeren draagt elk mengmonster de volgende informatie:

- Klantverwijzing zoals een nummer
- Naam en organisatie van monsternemer
- Plaats (perceelidentificatie) en datum van monstername
- Diepte bodemlaag
- Wijze van bepaling steekpunten: via gestratificeerde aselechte steekproef of handmatig (bv. W-methode)
- Mechanische of handmatige bemonstering
- Afwijkingen van bemonsteringsprotocol

3.5 Transport, bewaring en mengen

Na het steken van de monsters wordt alle verzamelde grond per laag bij elkaar gedaan in een monsterzak en naar het laboratorium getransporteerd. De zakken worden tijdens transport koel bewaard, zodat de temperatuur van het monster zo min mogelijk oploopt. Het monster dient binnen 24 uur na monstername naar het laboratorium te worden gebracht en in de koeling (maximaal 4 °C en minimaal -3°C) te worden bewaard, indien het laboratorium kan garanderen dat het monster binnen 3 dagen geanalyseerd kan worden. Indien deze garantie niet kan worden gegeven, dient het laboratorium op het moment van inname het monster onmiddellijk in te vriezen. De monsters dienen in dat geval binnen 3 maanden geanalyseerd te worden. Voor analyse worden monsters maximaal 24 uur van tevoren ontdooit in een koelkast of koelruimte bij een temperatuur van maximaal 4 °C en minimaal -3 °C.

Voorafgaand aan de analyse wordt het volledige veldvochtige of ontdooide monster gemengd (gehomogeniseerd) met de daarvoor op het laboratorium beschikbare apparatuur, waarna een submonster wordt genomen voor de bepaling van het nitraat- en ammonium-N-gehalte.

3.6 Laboratoriumanalyse

In de verse of ontdooide monsters wordt de hoeveelheid nitraat- en ammonium-N bepaald door een organisatie die is geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie.

De bepaling vindt plaats in (ontdooide) veldvochtige grond, waarbij 1 volumedeel grond wordt gemengd met 2 volumedelen extractiemiddel (0,01 M CaCl₂). Na 1 uur schudden wordt in het extract het NH₄-gehalte spectrofotometrisch bepaald bij 660 nm na omzetting tot een gekleurd indofenol-complex (NEN-ISO xxx) en het NO₃/NO₂-gehalte wordt spectrofotometrisch bepaald bij 530 nm na reductie van nitraat tot nitriet door hydraziniumsulfaat en omzetting tot een gekleurd diazo-complex (NEN-ISO-xxx).

(NEN-ISO, goede nummers nog toevoegen).

4 Onderbouwing protocol

4.1 Vertrekpunten

Bij het opstellen van het protocol is een aantal vertrekpunten gehanteerd die van belang zijn voor de uitwerking:

- Uitgangspunt is dat het protocol wordt gebruikt voor meting van de minerale bodem-N als indicator bij doelsturingsbeleid, waarbij de focus ligt op waarderen/afrekenen. Het gaat dus verder dan alleen informeren en stimuleren.
- Er is vanuit gegaan dat de metingen op grootschalig niveau gaan plaatsvinden in principe op nationale schaal. Dit betekent dat naast wetenschappelijke inzichten ook praktische aspecten als uitvoerbaarheid zijn meegewogen.
- Het protocol is zo opgesteld dat het in principe z.s.m. ingevoerd kan worden, dit betekent dat alle technieken en methodes die voorgesteld worden op dit moment beschikbaar zijn voor de praktijk. Innovaties die het protocol in de toekomst zouden kunnen verbeteren, maar nog niet beschikbaar zijn, worden daarom bij de aanbevelingen weergegeven (zie hoofdstuk 5).

Bij de onderbouwing van het protocol maken we onderscheid in een gewenste eindversie en een huidige versie die relatief snel kan worden geïmplementeerd (zie ook Tabel 2). Dit doen we, omdat er in de praktijk behoefte is aan een snelle implementatie en opschaling van de NR-bemonstering. Bij de huidige versie hebben pragmatische overwegingen met betrekking tot haalbaarheid en uitvoerbaarheid op de korte termijn, een rol gespeeld.

De keuzen worden in dit hoofdstuk verder toegelicht.

Tabel 2. Keuzes bij eindversie en huidige versie voor een aantal relevante onderdelen van het NR-protocol.

Onderdeel	Huidige versie	Eindversie
Steekdichtheid	40 steekpunten per perceel (max 5 ha)	Af te leiden op basis van geo-statistische analyse
Bepaling steekpunten	Gestratificeerde aselechte steekproef of W- methode	Gestratificeerde aselechte steekproef
Laagdiepte	3 lagen: 0-30, 30-60 en 60-90 cm 40/20/10 steken in 0-30/30-60/60-90	1 laag, 0-90 cm Alle lagen gelijk aantal steken
Machinaal/handmatig	Machinaal of handmatig	Machinaal
Bemonsteringsperiode	15 okt tot 1 dec	15 okt tot 1 dec

4.2 Bemonstering

4.2.1 Mechanisch of handmatig steken

De bemonstering kan handmatig of mechanisch plaatsvinden. Door de diepte van de bemonstering (0-90 cm) heeft mechanisch bemonsteren de voorkeur, met name wanneer op grote schaal een bemonstering op minerale bodem-N gaat plaatsvinden. Daarnaast zorgt het mechanisch steken van monsters ook voor een betrouwbaarder monster dat telkens tot de gewenste diepte wordt gestoken en netjes verdeeld wordt in de verschillende lagen (Hoving et al., 2005). Toch hebben we in het protocol de mogelijkheid opgenomen om handmatig te bemonsteren. De belangrijkste reden is dat de organisaties die de bemonstering uitvoeren aangeven dat het op korte termijn onmogelijk is om volledig over te gaan op machinaal bemonsteren. Dit

heeft ook gevolgen voor de steekdichtheid over verschillende lagen, omdat bij handmatig bemonsteren niet verwacht kan worden dat alle steken tot 90 cm min maaiveld worden genomen (zie paragraaf 4.2.3). In specifieke gevallen, zoals in staande gewassen, is mechanische bemonstering niet mogelijk vanwege de risico's van gewasschade door de bemonsteringsapparatuur. In dat geval moet er worden teruggevallen op handmatige bemonstering.

4.2.2 Bemonsteringsperiode

Het tijdstip van bemonstering heeft invloed op de hoeveelheid minerale N in de bodem. Gedurende het najaar vindt mineralisatie plaats uit de organische stof in de bodem, vanuit achtergebleven gewasresten en vanuit toegediende organische mest. Dit leidt tot een toename van de minerale N. Ook depositie leidt tot een toename van minerale N. Anderzijds kan de minerale N ook afnemen door opname door een vanggewas of hoofdgewas, door immobilisatie (bijvoorbeeld via ingewerkt stro) en door verliezen via uitspoeling en denitrificatie. Veel van de genoemde processen zijn temperatuurafhankelijk, waardoor een latere bemonstering waarschijnlijk de belasting van het grondwater met stikstof het beste indiceert. Dit betekent dat bemonstering niet te vroeg na oogst van het hoofdgewas moet plaatsvinden, omdat dan de hoeveel N die beschikbaar is voor uitspoeling wordt onderschat; er kan immers nog minerale N gevormd worden die niet meer wordt opgenomen door gewassen. De bemonstering moet ook niet te laat plaatsvinden, omdat er dan al verliezen door uitspoeling naar lagen dieper dan de te bemonsteren laag hebben kunnen plaatsvinden.

Verandering van NR door biologische processen

Van Enckevort et al. (2002) onderzochten via een modelmatige N-balansberekening de veranderingen die plaatsvinden in minerale bodem-N tussen het moment van oogsten en 1 december. In de balansberekening werd rekening gehouden met mineralisatie van organische stof in de bodem, uit organische N in dierlijke mest en uit gewasresten, immobilisatie via stro, opname door groenbemesters/vanggewassen en depositie. De datum van 1 december was gekozen, omdat gemiddeld genomen daarna het mineralisatieniveau relatief laag is en het risico dat N al is uitgespoeld naar lagen onder 90 cm nog gemiddeld genomen nog relatief gering is. De toename varieerde tussen 0 en 75 kg N per ha en was sterk afhankelijk van het oogsttijdstip van het gewas, de hoeveelheid N in gewasresten en de organische bemesting. Bij relatief laat geoogste gewassen (consumptieaardappelen en suikerbieten) was de toename geringer, tussen 0 en 20 kg N per ha. In de genoemde studie is ervan uitgegaan dat groenbemesters en vanggewassen na 1 oktober geen N meer opnemen. In werkelijkheid zal er nog wel sprake zijn van enige opname. Recent onderzoek liet zien dat laat gezaaide vanggewassen na aardappelen (rond 20 oktober) nog 20-35 kg N per ha opnamen (Van Geel et al., 2023), maar dit betrof wel de N-opname gemeten in het voorjaar en niet die tot begin december. Voor de bepaling van het NR monsternmoment speelt met name de opname tot begin december.

N-uitspoeling in de herfst

In het LMM wordt uitspoeling van nitraat gemeten door de bovenste meter van het grondwater te bemonsteren. Hierbij is uitgegaan van een neerslagoverschot van 300 mm en een waterge vulde porositeit van 0,33 (volledig verzadigd). De uiteindelijke uitspoeling wordt berekend door de gemeten waarde te corrigeren voor het Gt (grondwater) specifiek meerjarig gemiddeld neerslagoverschot per grondsoort en gewasgroep. Dit neerslagoverschot varieert sterk per grondsoort en gewasgroep (Fraters et al., 2007). Als gevolg van deze variatie zal ook de snelheid van verplaatsing van water en opgeloste stoffen in de bodemkolom van landbouwgronden sterk verschillen. Het is dus van groot belang om hier rekening mee te houden bij de NR meting. Hieronder wordt een voorbeeldberekening uitgevoerd, met behulp van een inschatting van het neerslagoverschot en de waterge vulde porositeit.

Het gemiddeld neerslagoverschot is in heel Nederland negatief van april t/m juli. De poriewaterstroom is dan opwaarts gericht (bij geen berekening). In de periode van de NR meting is de poriewaterstroom juist naar beneden gericht.

De bodem zal vanaf oktober relatief vochtig zijn. Het vochtgehalte zal naar verwachting over het hele profiel variëren tussen het zogenaamde aan vulpunt (waar gewassen meer vocht zouden kunnen gebruiken) en veldcapaciteit (tussen pF 2 en 2,7). De gemiddelde waterge vulde porositeit die hierbij hoort varieert sterk per grondsoort. Voor veen en klei is dit respectievelijk rond 0,57 en 0,5, voor löss rond de 0,4 en voor lemig zand/zandige leem rond 0,23 (Koorevaar et al., 1983).

Voor de maanden okt t/m dec bedroeg het gemiddeld neerslagoverschot in De Bilt 210 mm (o.b.v. maandelijkse getallen, klimaatviewer 2081-2010-), op jaarbasis is het neerslagoverschot in de Bilt ca 300.

Wanneer we dit neerslagoverschot delen door (mobiele) watergevulde porositeit kan de verplaatsing in de bodemkolom berekend worden. De watergevulde porositeit varieert sterk per grondsoort. Wanneer we uitgaan van een universeel protocol moet de meetperiode voor alle gronden geschikt zijn. Om deze reden wordt een conservatieve schatting van de mobiele watergevulde porositeit gedaan van 0,2. Gemiddeld kan het vocht dat zich begin oktober van 0 – 90 cm in de bodemkolom bevindt dan verplaatst zijn naar 1,05 meter en dieper. Dit zal dan dus volledig gemist worden in de laag 0-90 cm. In een universeel protocol is het om deze reden niet verstandig om december in de meetperiode mee te nemen.

Op deze manier kan worden berekend dat t/m nov het water circa 0,75 m zijn gedaald, waardoor de N die zich begin okt in de bouwvoor bevindt, nog grotendeels kan worden teruggevonden in de laag 0-90 cm. Eventueel kan overwogen worden gronden met een hogere waterporositeit later te bemonsteren.

Keuze in protocol

In het protocol is gekozen voor een periode van 15 oktober tot 1 december. Deze periode is gekozen om de volgende redenen. Ten eerste zal na 15 oktober al een groot deel van de akkerbouwgewassen zijn geoogst en kan de bemonstering zoveel mogelijk plaatsvinden na de oogst van het gewas zonder gewasschade te veroorzaken. Het beperken van gewasschade vraagt vooral aandacht als er mechanisch wordt bemonsterd. Ten tweede wordt dan nog zo lang mogelijk veranderingen in minerale bodem-N door biologische processen (mineralisatie, gewasopname) meegenomen. Ten derde is deze ruimere periode opgesteld om flexibiliteit in te bouwen zodat op termijn zoveel mogelijk percelen in Nederland bemonsterd kunnen worden, wellicht in de toekomst zelfs wel alle landbouwpercelen. Het is dan praktisch onmogelijk om dit in één maand of korter uit te voeren.

Een ruimere periode dan 1,5 maand is niet wenselijk omdat de half oktober aanwezige minerale stikstof anders gedeeltelijk de laagdiepte van 0-90 cm zal hebben verlaten.

4.2.3 Laagdiepte

Er wordt uitgegaan van een bemonstering tot 90 cm zoals nu ook vaak wordt gedaan in bestaande protocollen. Waarop deze laagdiepte is gebaseerd is niet helemaal duidelijk. In het rapport van de Commissie Stikstof werd ook wel de bovenste meter (0-100 cm) aangegeven (Meeuwissen & Goossensen, 1991). Onze verwachting is dat in het najaar de meeste N zich in de bovenste bodemlagen zal bevinden en dat het verschil tussen 0-90 en 0-100 cm relatief gering zal zijn.

Bij de bemonstering kan ervoor worden gekozen om de laag 0-90 cm in één keer te bemonsteren of in meerdere lagen. In het laatste geval kan dat door drie lagen te bemonsteren, bijvoorbeeld 0-30, 30-60 en 60-90 cm, maar ook bemonstering in twee lagen is een optie, bijvoorbeeld 0-30 cm en 30-90 cm. Kijkend naar het doel, vaststelling van de N-min als risico van uitspoeling in doelsturingsbeleid, zou de laag 0-90 cm in één keer kunnen worden bemonsterd en het bespaart enige kosten voor analyse, echter, de kosten voor monsternamen zijn bepalend voor de uiteindelijke totale kosten. Verder verlaagt het in één keer bemonsteren variatie vanwege mogelijke afwijkingen in steekdiepte bij de uitvoering van de bemonstering in meerdere lagen (Hofman, 2023). Bijvoorbeeld dat in een mengmonster voor de laag 0-30 cm ongewild ook steken voorkomen met een geringere of grotere diepte en eventuele besmetting van de onderste lagen met grond uit de bovenste laag. Het laatste speelt enkel bij handmatige bemonstering.

Een bemonstering in meerdere lagen biedt mogelijk wel het voordeel dat een betere relatie kan worden gelegd met het management in het voorafgaande groeiseizoen, hoewel uit pilots waarin deze relatie wordt onderzocht en besproken met agrarisch ondernemers het beeld voortkomt dat het onderscheid naar lagen tot nog toe weinig extra praktische informatie oplevert. Anderzijds zal de meeste minerale N zich doorgaans in de bovenste laag bevinden en zal de hoeveelheid minerale N in de totale bodemlaag vooral daardoor bepaald worden.

In het protocol is voorlopig uitgegaan van bemonstering in drie lagen, namelijk 0-30, 30-60 en 60-90. Dit mede ook, omdat in de huidige versie handmatige bemonstering wordt toegestaan (zie paragraaf 4.2.1) en het lastig is om handmatig de laag 0-90 cm in één keer te steken.

Echter voor de toekomst is te overwegen om de bemonstering uit te voeren in één laag, namelijk 0-90 cm, omdat dit uitstekend aansluit bij het doel van het protocol, nl. het vaststellen van NR als risico voor N-uitspoeling. Aparte lagen bemonsteren leidt tot meer kosten en het verhoogt de onzekerheid van de meting, terwijl het geen meerwaarde biedt voor de doelstelling. Daarnaast wordt er in dit protocol niet direct

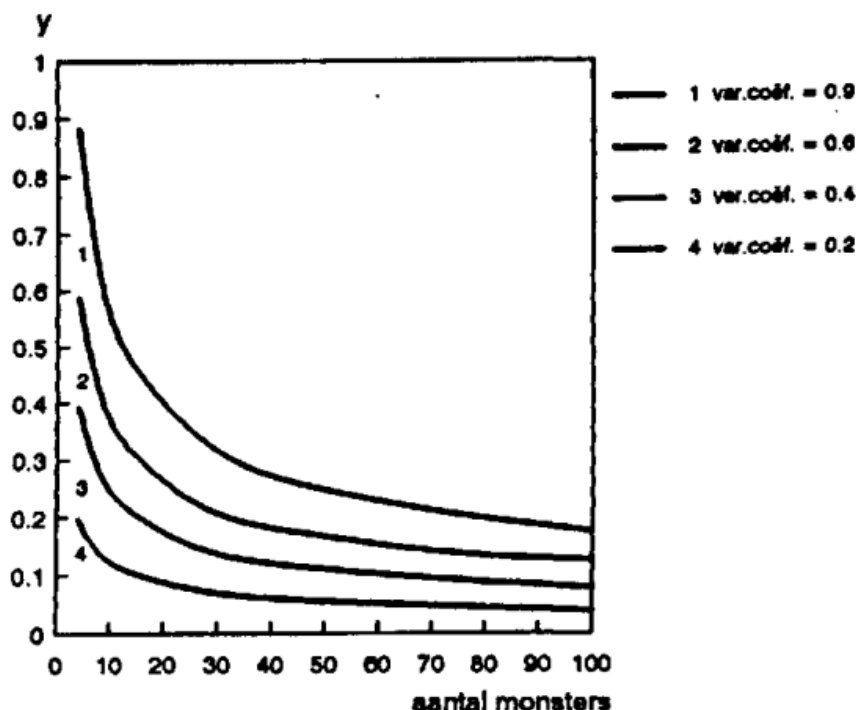
rekening gehouden met managementeenheden zoals gewassen en percelen. Waardoor de koppeling aan management indirect is.

Vanwege de mogelijkheid van handmatige bemonstering is er ook voor gekozen in de diepere lagen minder vaak te steken dan in de laag 0-30 cm. Omdat naar verwachting de meeste N zich in de bovenste laag zal bevinden en daar de variatie het hoogst zal zijn is dit verdedigbaar. Hierbij wordt aangesloten bij het protocol dat nu door Cosun wordt gebruikt dat is gebaseerd op het bemonsteringsvoorschrift voor grondmonsters zoals vermeld in het Handboek Bodem en Bemesting (www.handboekbodemenbemesting.nl).

4.2.4 Steekdichtheid

De vereiste steekdichtheid hangt af van verschillende factoren. In de eerste plaats speelt de ruimtelijke spreiding in de bodem een rol. Op percelen met veel ruimtelijke variatie in NR zijn meer steken nodig om een betrouwbaar gemiddelde vast te stellen dan in een bodem met weinig ruimtelijke variatie in NR. Vervolgens is het van belang welk verschil in NR men minimaal wil kunnen onderscheiden van een bepaalde drempelwaarde. Gaat het bijvoorbeeld om een verschil in NR van 10 kg N per ha of volstaat het om een verschil van 50 kg N per ha vast te stellen? Bij eenzelfde ruimtelijke spreiding van NR is voor de eerste eis een hogere steekdichtheid nodig dan voor de tweede eis. Ook speelt de gewenste betrouwbaarheid een rol. Is vereist dat de kans op onterecht vaststellen van een overschrijding van een bepaalde grenswaarde van NR kleiner is dan 20% of moet die kans zelfs kleiner zijn dan 10% of 5%? Deze drie elementen: de gewenste precisie, de gewenste betrouwbaarheid van de uitspraak en de variatie in het veld corresponderen met een bepaalde vereiste steekdichtheid.

Corré et al. (1994) lieten zien hoe het 95%-betrouwbaarheidsinterval afhing van de steekdichtheid en de variatiecoëfficiënt uitgaande van een normale verdeling (Figuur 2). De auteurs geven aan dat bij bepaling van de minerale bodem-N in het voorjaar rekening moet worden gehouden met een variatiecoëfficiënt van 40%, maar dat in 10-20% van de studies variatiecoëfficiënten van 80-90% werden gevonden. De figuur laat zien dat de afname van het 95%-betrouwbaarheidsinterval vooral plaatsvindt in het traject van lage steekdichtheden. De daling van het betrouwbaarheidsinterval bij stijging van de steekdichtheid is in het traject van lage steekdichtheden sterker dan in het traject van hogere steekdichtheden.

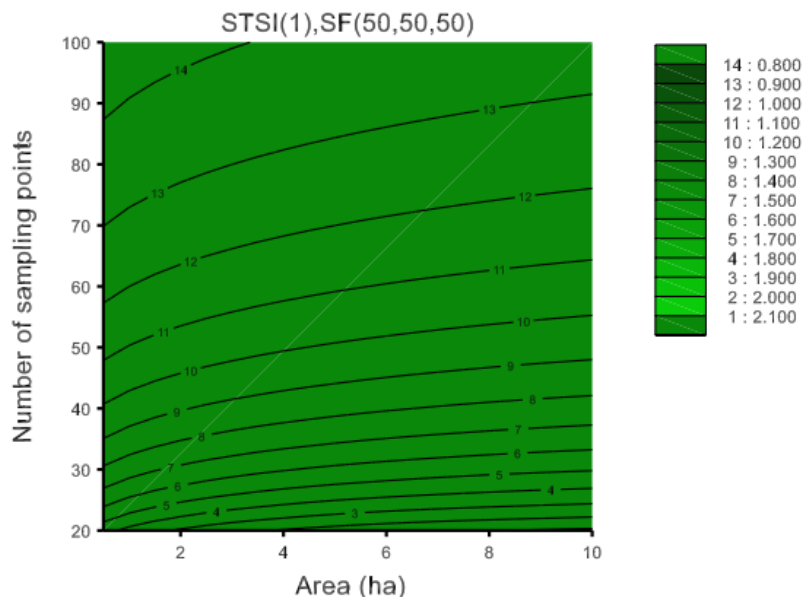


Figuur 2. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval (= $\text{gem} - y^* \text{gem}$ tot $\text{gem} + y^* \text{gem}$) voor het gemiddelde van een normale verdeling als functie van het aantal steken in een mengmonster en de variatiecoëfficiënt (Bron: Corré et al., 1994).

Van percelen is echter doorgaans niet bekend hoe de variatie is binnen het perceel. In dat geval zou deze eerst bepaald moeten worden door een groot aantal boorsteken te nemen, maar dat is op grote schaal praktisch niet uitvoerbaar. Een alternatieve methode is een modelmatige aanpak, waarbij de variatie wordt gemodelleerd met behulp van bemonstering van een (beperkt) aantal percelen op de betreffende bodemparameter, waarbij binnen een perceel de steekpunten apart worden geanalyseerd. Op basis van de metingen worden een aantal spreidingsvarianten gesimuleerd (variogrammen) die worden gebruikt in de verdere analyse. Deze methode is ook toegepast door Brus & Spätjens (1997) bij fosfaatbemonsteringen en door Hofman & Brus (2021) bij de bemonstering op minerale N in de herfst. Bij laatstgenoemd onderzoek werd gevonden dat bij een relatieve standaarddeviatie van circa 20% de vereiste steekdichtheid varieerde tussen minder dan 5 steken tot meer dan 50 steken. Op basis van dit onderzoek werd besloten om verder te gaan met 40 steken i.p.v. de aanvankelijk voorgestelde 15 steken (Hofman, 2023). Dit was voldoende om op 9 van de 16 bij het onderzoek betrokken percelen een aanvaardbare meetonzekerheid te bereiken. Aangegeven werd dat een verdere verhoging van het aantal steken weinig toegevoegde waarde had m.b.t. het verhogen van de betrouwbaarheid. Voor de laatste 10 procent van de percelen zou een zeer hoge steekdichtheid nodig zijn (>50). Dit werd echter als onwenselijk gezien, vanwege de praktische uitvoerbaarheid.

In een onderzoek van Köhler (2006) bij meting van minerale bodem-N na de oogst werd afgeleid dat bij een maximale afwijking van 10% 60-200 steken nodig waren. Wel bleek dat de winst in betrouwbaarheid relatief gering is bij verhoging van de steekdichtheid vanaf waarden van circa 50.

In het onderzoek van Hofman & Brus (2021) wordt niet specifiek ingegaan op de steekdichtheid in relatie tot de perceelsgrootte. Uit Ehlert et al. (2005) blijkt dat de vereiste steekdichtheid afhangt van de omvang van het perceel (zie ter illustratie Figuur 3). Dit soort analyses heeft ten grondslag gelegen aan de differentiatie van de steekdichtheid naar perceelsareaal in het fosfaatprotocol.



Figuur 3. Voorspelde standaardafwijking van de steekproeffout (14 contourlijnen bij verschillende waardes; zie rechtsboven) bij een gestratificeerde steekproef met 1 punt (steek) per stratum bij bemonstering voor de fosfaattoestand van de bodem. Steekproeffout is voorspeld met sferisch variogram met nugget = 50, sill = 100 en range is 50 m (Bron: Ehlert et al., 2005).

Voorgesteld wordt om voorlopig een steekdichtheid te hanteren van 40 steken per 5 ha, zoals wordt gehanteerd in het fosfaatprotocol en ook door Hofman (2023) wordt voorgesteld voor NR-bemonstering in Vlaanderen. Het aantal van 40 steken wordt ook genoemd in een adviesrapport rond bodembemonstering

van de TCB (Technische Commissie Bodembescherming) (TCB, 1990). Hier wordt echter uitgegaan van 40 steken per 1 ha. In dit rapport wordt niet aangegeven waarop de keuze van 40 steekpunten is gebaseerd. In het Cosun-protocol wordt uitgegaan van een steekdichtheid van 40 steken per 2 ha, maar de systematiek is hier anders, omdat er binnen een perceel (ongeacht de omvang) een representatief deel van 2 ha wordt geselecteerd waarop de bemonstering plaatsvindt.

Aanbevolen wordt via een geostatistische analyse nader te onderzoeken hoe voor NR de benodigde steekdichtheid afhangt van de omvang van het perceel mede in relatie tot de keuze voor de methode voor het bepalen van het steekpatroon (zie ook hieronder).

Steekpatroon

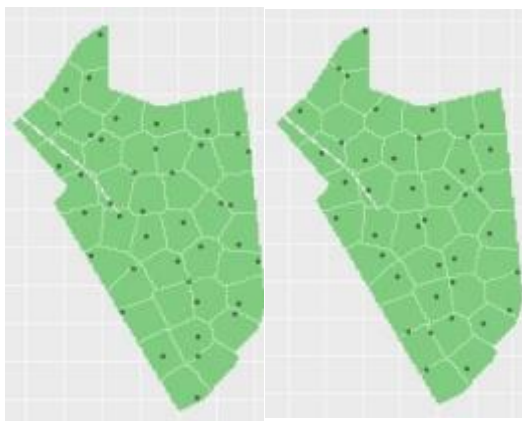
Er worden verschillende methoden gebruikt om het aantal steekpunten te verdelen over een perceel(deel). Dit kan handmatig worden gedaan, waarbij de steekpunten door de monsternemer zelf worden bepaald volgens een bepaald patroon (W/M/zigzag/kruislings) of via een gestratificeerde aselechte steekproef. Beide worden hieronder kort toegelicht.

W / M/ zigzagmethode

Een gangbare methode om steekpunten over een perceel te verdelen is de zigzagmethode, ook wel W of M-methode genoemd. Deze relatief eenvoudige methode zorgt ervoor dat het monster een redelijke afspiegeling is van het hele perceel. De monsternemer loopt in een W-vorm over het perceel, waarbij er een minimaal aantal slagen is vereist (vaak is dat 5 slagen). Als het aantal slagen is bepaald wordt het aantal te nemen monster gelijkmatig verdeeld over het aantal slagen. Bij bijvoorbeeld 40 steken betekent dat 8 steken per slag. De monsternemer kan dan op zicht of met de GPS afstanden inschatten en per X meter een monster nemen.

Gestratificeerde aselechte steekproef

Een andere methode om de steekpunten te verdelen over een perceel is middels een gestratificeerde aselechte steekproef. Bij deze methode wordt een perceel in een X aantal strata verdeeld die elk een gelijke grootte hebben en die zo compact mogelijk van omvang zijn (cirkel/vierkant-vorm). De oppervlakte van het hele perceel komt dus overeen met de optelsom van het oppervlak van alle individuele strata. In elk stratum wordt vervolgens via loting willekeurig één meetpunt bepaald. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 4.



Figuur 4 Voorbeeld van stratificatie, waarbij een perceel in 40 strata is verdeeld en binnen elk stratum via loting een steekpunt is bepaald (Bron: Hofman, 2023).

Deze methode wordt ook al toegepast bij het protocol voor het bemonsteren van percelen t.b.v. vaststelling van de fosfaattoestand. Hierbij kan een monsternemer het perceel invoeren zoals het in RVO geregistreerd staat, waarna hiervoor ontwikkelde software (Walvoort et al., 2010) het perceel automatisch in strata van gelijke omvang indeelt. Anders dan bij de W-methode heeft de monsternemer bij deze methode geen invloed op de plaatsbepaling van de steekpunten en heeft elke plek op het perceel evenveel kans te worden bemonsterd.

Een mogelijkheid zou kunnen zijn om de stratificatie slimmer te maken door bij de verdeling van de strata bijvoorbeeld rekening te houden bodemtypes, gewastypes, aanwezigheid van vanggewassen of hoogtekaarten. Hoewel dit in principe mogelijk zou zijn is dit soort data niet altijd openbaar of tijdig beschikbaar.

Bij bemonstering op de fosfaattoestand is uit eerdere studies gebleken dat met de gestratificeerde aselechte steekproef een kleinere steekproefvariantie wordt verkregen dan bij de handmatige methode (zoals de W-methode), omdat bij de laatstgenoemde methode de kans dat op een punt een steek wordt genomen niet voor alle punten gelijk is (Brus & Späthjens, 1997; Brus et al., 1998/1999). Hierdoor zijn in het huidige protocol bij een gestratificeerde aselechte steekproef minder steekpunten vereist dan bij de handmatige methode: 25-32 steekpunten (afhankelijk van perceelsomvang) vs. 40 steekpunten per 5 ha. Hofman & Brus (2021) vonden bij bemonstering op hoeveelheid nitraat-N in de bodem in de herfst ook dat bepaling van de steekpunten via een gestratificeerde aselechte steekproef in het algemeen leidde tot een kleinere fout dan bij een handmatige bepaling via de W-methode, hoewel dit niet op alle testpercelen leidde tot een duidelijke verbetering. Aangegeven werd dat het aantal steekpunten met circa 10% kon worden verminderd in geval van stratificatie t.o.v. de handmatige methode.

In Ehlert et al. (2023) zijn de W-methode en de gestratificeerde aselechte steekproef methode bij van de bemonstering t.b.v. bepaling van de fosfaattoestand van de bodem met elkaar vergeleken. Hier was de conclusie dat de beide methoden een vergelijkbaar resultaat gaven wat betreft herhaalbaarheid en representativiteit. Wel bleek dat voor de het P-AL-getal de nauwkeurigheid bij de W-methode lager was dan bij de gestratificeerde aselechte steekproef. Voor de P-CaCl₂ kon dit niet worden aangetoond.

Bovenstaande laat zien dat de gestratificeerde aselechte steekproef een aantal voordelen biedt t.o.v. de handmatige methode, bijvoorbeeld dat mogelijk met minder steken per oppervlakte-eenheid kan worden volstaan en dat de keuzen van de steekpunten objectiever is. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de verschillen tussen de gestratificeerde aselechte steekproef t.o.v. de W-methode (uit Ehlert et al., 2021). Het nadeel is wel dat stratificeren wat meer tijd kost voor de monsternemer in vergelijking met de handmatige methode (W/Z/zigzag) (CDM, 2007). Dit extra tijdsbeslag vloeit voort uit de extra handelingen vooraf (bepalen van de perceelomvang en het verdelen in strata) en bij het aflopen van de steekpunten (punten liggen niet op één lijn, maar zijn meer verdeeld over het perceel). Echter, bij de ontwikkelde software voor het uitvoeren van de stratificatie wordt ook het optimale looppatroon berekend, zodat de loopafstand zo klein mogelijk is.

Voorgesteld wordt daarom om in het NR-protocol in de toekomst enkel de gestratificeerde aselechte steekproef voor te schrijven, waarbij in het uiterste geval beargumenteerd (bijvoorbeeld niet functioneren benodigde software) mag worden teruggevallen op de handmatige methode.

Tabel 3. Verschillen tussen de gestratificeerde aselechte steekproef en de W-methode (uit Ehlert et al. (2021)).

Gestratificeerde aselechte steekproef	W-methode
Elke locatie binnen een perceel heeft een even grote kans om te worden bemonsterd.	De kans op bemonstering hangt af van de monsternemer en de vorm van het perceel en is niet bekend. Uit de praktijkvoorbeelden (Figuur 14) is gebleken dat delen van het perceel onbewust worden uitgesloten van bemonstering.
Statistische eigenschappen van de bemonstering zijn bekend (systematische fout (=0) en willekeurige fout is afhankelijk van de variatie in het perceel). Deze eigenschappen kunnen bovendien worden gekwantificeerd.	Statistische eigenschappen zijn onbekend. Onbekende systematische fout.
Bemonstering is objectief (De locaties van de steken worden bepaald door wetenschappelijke software).	Bemonstering is deels subjectief (de monsternemer bepaalt de locaties van de steken).
Wetenschappelijke basis	Praktijkervaring, expert judgement
Minimaal benodigde aantal steken voor een mengmonster kan worden bepaald o.b.v. een geostatistische analyse.	Minimaal benodigde aantal steken is lastig te bepalen. Daar zijn aannames voor nodig.
Mengmonster heeft betrekking op het hele perceel.	Mengmonster heeft betrekking op de selecteerde punten.
Een computer bepaalt de locatie van de steken.	Een monsternemer bepaalt de locatie van de steken.
Voor het nemen van steken is gps nodig.	Voor het nemen van steken is geen gps nodig.
Toepasbaar op percelen met uiteenlopende vormen.	Lastig uit te voeren bij percelen met een complexe vorm (zie Figuur 14).

Rijenteelten/beweiding

Bij gewassen op grotere rijenafstanden kan ook de steekpositie tussen de rijen nog van invloed zijn. Voorlopig stellen we voor hiermee geen rekening te houden. Aanbevolen wordt nader te onderzoeken in welke mate een verdere aanpassing van de bemonstering zinvol en nodig is. Hierbij moet ook het aspect van rijenbemesting worden meegenomen.

Bovengenoemd geldt ook situaties met beweide grasland, waar door aanwezigheid van urine- en mestflatten grotere ruimtelijke variatie in minerale bodem-N kan ontstaan.

Meenemen bufferstroken

In het protocol is de keuze gemaakt om géén onderscheid te maken tussen bufferstroken en het bemeste deel van het areaal. Het bufferstrookareaal wordt dus ook meegenomen. Bufferstroken zijn verplichtte maatregelen die als doel hebben de N-uitspoeling te verminderen, net zoals andere maatregelen, zoals het telen van vanggewassen en rustgewassen of verlaging van de N-bemesting. Dit pleit voor het meenemen van het "bufferstrook-areaal" bij de bepaling van het NR. Mogelijk hebben bufferstroken een verlagend effect op de minerale bodem-N, doordat ze niet zijn bemest en er vaak ook nog een gewas opstaat dat N opneemt. Anderzijds wordt de gegroeide biomassa en de hierin opgenomen N niet afgevoerd, waardoor de opgenomen N weer kan vrijkomen. Het effect in de NR-meting zal waarschijnlijk beperkt zijn, omdat er maar een gering aantal steekpunten in een bufferstrook zullen liggen.

4.3 Transport, mengen en bewaren

Transport

In Corre et al. (1994) wordt onderzoek aangehaald waarin is gekeken naar het koelen van monsters tijdens transport. Het onderzoek is uitgevoerd in het voorjaar (20 april tot 9 juni), waarbij één deel van de monsters gekoeld (5-6 graden) is vervoerd en het andere niet gekoeld in de bagageruimte van de auto. Beide monsters zijn 24 tot 30 uur na het steken afgeleverd aan het laboratorium. Het resultaat gaf aan dat bij niet gekoelde monsters het gehalte aan mineraal stikstof hoger was. Er was sprake van een significante relatie tussen de N_{min} in gekoelde en de N_{min} in ongekoelede monsters. Bij N_{min}-waardes van 50, 100 en 150 kg N per ha in gekoelde monsters was de N_{min}-waarde in ongekoelede monsters 2, 4 en 5 kg N per ha hoger. Het verschil is dus relatief klein en is waarschijnlijk toe te schrijven aan het mineralisatieproces. Omdat er ook in de herfst nog wel sprake kan zijn van relatief hoge temperaturen is van belang dat monsters zo koel mogelijk worden getransporteerd naar het laboratorium.

Mengen

Om fouten te voorkomen en het mengproces zo goed en uniform mogelijk te laten verlopen wordt voorgesteld om het mengen van monsters op het laboratorium uit te voeren. Dit heeft tevens als voordeel dat de monsternemer minder stappen hoeft uit te voeren in het veld en daarmee sneller kan opereren. Tenslotte is uit praktische ervaring gebleken dat het mengen van met name vochtige kleigrond in het veld slechte resultaten geeft. Het mengen op het laboratorium met mechanische apparatuur kan hierbij een uitkomst bieden.

Bewaring

Uit onderzoek van Lepelaar (1975) bleek dat er veranderingen in het N-min gehalte van monsters optraden wanneer monsters voor langere tijd worden opgeslagen zonder 'extra' maatregelen te treffen. Monsters die werden bewaard bij een temperatuur van 5 °C gaven de eerste drie dagen geen verandering in minerale N te zien, daarna steeg het minerale N-gehalte met 0,2% per dag. Monsters die bewaard werden bij een temperatuur van 15 °C of hoger vertoonden door mineralisatie een aanmerkelijke stijging van het N-min gehalte gedurende de eerste week. Bij langdurige bewaring moet er dus iets worden gedaan om dergelijke veranderingen te voorkomen. Dit kan door de monsters in te vriezen of door ze te drogen.

In Corré et al. (1994) wordt een niet gepubliceerd onderzoek aangehaald waaruit bleek dat het $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte tijdens het invriezen voor langere tijd (één maand) niet veranderde. In dezelfde publicatie wordt ook een niet gepubliceerd onderzoek vermeld waaruit bleek dat drogen een duidelijke verlaging van de hoeveelheid N_{min} te zien gaf (daling van 13%). Er werd alleen informatie gegeven over verschillen in totale N_{min} en niet over veranderingen in ammonium en nitraat. Allende-Montalban et al. (2024) vergeleken directe analyse van minerale N (nitraat en ammonium) in verse grondmonsters met analyse in bewaarde monsters die of waren ingevroren of waren gedroogd. Hieruit bleek dat het totale N_{min}-gehalte niet duidelijk werd beïnvloed door het bewaren, wel was na invriezen de $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ -verhouding duidelijk hoger en na drogen duidelijk lager. Het nitraatgehalte in ingevroren monsters was vergelijkbaar met die in vers geanalyseerde monsters, terwijl het nitraatgehalte in gedroogde monsters lager was. Het ammoniumgehalte was hoger bij de gedroogde monsters. Het bleek dat het verschil tussen verse en gedroogde monsters bij zowel nitraat als ammonium vooral aanwezig was bij hoge N-gehalten (bij nitraat > 100 kg N per ha en bij ammonium > 10 kg N per ha). Van Erp et al. (2001) vonden bij drogen van monsters bij 20-40°C dat het NH_4 -gehalte toenam. Het nitraatgehalte veranderde ook bij een deel van de monsters, maar de richting waarin verschilde.

Bovenstaande laat zien dat de wijze van bewaring van invloed kan zijn op de meetwaarde en dat er bij invriezen mogelijk minder veranderingen lijken plaats te vinden dan bij drogen, hoewel de afwijkingen zich vooral bij hoge NR-waarden blijken voor te doen. Op basis van de gevonden literatuur adviseren we om de monsters in te vriezen indien deze niet binnen 72 uur kunnen worden geanalyseerd.

4.4 Laboratoriumanalyse

Als monsters worden ingevroren kan na invriezen de het N_{min}-gehalte in veldvochtige grond worden bepaald. Deze analyse kan plaatsvinden op gewichtsbasis of op volumebasis. Het voordeel van de analyse op volumebasis is dat er geen volumegewicht van de grond nodig is om het gehalte om te rekenen naar hoeveelheid per ha. Op zand- en kleigronden was er een goede relatie tussen de N_{min} bepaald in, maar op dalgrond werden relatief grote verschillen gevonden die samenhangen met het schatten van het volumegewicht (Wijnen, 1986). Voorgesteld wordt om uit te gaan van analyse op volumebasis.

Voor de analyses wordt verwezen naar de standaard-voorschriften voor de analyse op nitraat en ammonium in veldvochtige grond conform de NEN-ISO-voorschriften.

Uit de statistische analyse met betrekking tot fosfaatbemonstering blijkt dat het aantal steekpunten kan worden gehalveerd door de analyse in duplo uit te voeren Ehlert et al. (2005). Dit is ook opgenomen in het protocol voor de bodembemonstering voor de fosfaattoestand. Het effect van een duplo-meting zal afhangen van de grootte van de meetfout bij een bepaalde bodemparameter. Het zou goed zijn na te gaan wat de meerwaarde is van een duplo-analyse bij de analyse van de minerale bodem-N.

De kwaliteit van de analyses wordt geborgd via standaard RING-onderzoeken waaraan geaccrediteerde labs deelnemen. Dit hebben we niet apart opgenomen in het protocol, omdat dit standaard plaatsvindt bij voor dit onderzoek geaccrediteerde labs.

4.5 Verwerking en beheer van gegevens

Een randvoorwaarde bij het protocol is dat het borgt dat op uniforme wijze een representatief beeld wordt verkregen van het NR op een perceel. Als de resultaten worden gebruikt voor doelsturing waarbij bij lage waarden sprake kan zijn van waarden door beloning zoals toeslagen of flexibiliteit in regelgeving of bij hoge waarden juist extra beperkingen kunnen worden opgelegd, hebben ondernemers een belang bij een bepaalde uitkomst. Daarom is het onlogisch om ondernemers bij het beheer of verwerken van gegevens een rol te laten spelen. We hebben vastgesteld dat ondernemers bij het protocol voor vaststelling van de fosfaattoestand bij opdeling van grote percelen in subpercelen zelf achteraf een gewogen gemiddelde moeten uitrekenen van het hele perceel. Dit lijkt ons een onwenselijke situatie en aanbevolen wordt dat gegevensverwerking en -beheer buiten de invloedssfeer van ondernemers georganiseerd wordt.

5 Aanbevelingen

Het protocol zoals dat nu is opgesteld is een eerste versie die waarschijnlijk op een aantal onderdelen kan worden verbeterd (zie ook hoofdstuk 4). Om keuzes die ten grondslag liggen aan dit protocol beter te onderbouwen en een aantal onzekerheden op te lossen zal het protocol getoetst moeten worden aan informatie die ontstaat bij implementatie van het huidige protocol en aan specifiek op te zetten onderzoek. De belangrijkste aanbevelingen voor toetsing en onderzoek zijn samengevat in Tabel 4 en worden hieronder toegelicht.

Algemeen

- Het protocol zoals dat nu is opgesteld dient te worden getoetst. Voorgesteld wordt om een jaar, nadat dit protocol in gebruik is genomen, het protocol te evalueren. Hierin wordt beoordeeld of het protocol voldoet op basis van praktische ervaringen en eventuele knelpunten kunnen dan worden opgelost. Bij de toetsing zou gebruik gemaakt kunnen worden van projecten waarin NR wordt bepaald zoals de Cosun-monitoring en metingen die plaatsvinden binnen de pilot rond de maatwerkaanpak van het mestbeleid. Belangrijke aandachtspunten zijn o.a. de uitvoering van de bemonstering in het veld.

Verbetering protocol-onderdelen

Naast een praktische evaluatie is het ook aan te bevelen om onderzoek te doen naar specifieke onderdelen van dit protocol:

- Een bepaalde, minimale steekdichtheid bij de bemonstering is nodig om een reproduceerbaar en representatief meetresultaat te verkrijgen, rekening houdend met de ruimtelijke variatie van NR in percelen. Maar daarnaast bepaalt de steekdichtheid per oppervlakte-eenheid mede de benodigde arbeid voor de monsternamen en de kosten voor analyse. De voorgestelde steekdichtheid is dus telkens een compromis van betrouwbaarheid van het resultaat en uitvoerbaarheid van de bemonstering. De samenhang tussen steekdichtheid, het bemonsteringspatroon en de betrouwbaarheid van het meetresultaat is nog onvoldoende duidelijk. Een verdere onderbouwing van de steekdichtheid in relatie tot de wijze van bepalen van de steekpunten (via een gestratificeerde aselecte steekproef of handmatig) is daarom zinvol. Hierbij is een geo-statistische analyse nodig, zoals die ook voor het fosfaatprotocol is uitgevoerd (Ehlert et al., 2021). Hierbij kan dan ook een vergelijking tussen een gestratificeerde aselecte steekproef en de W-methode worden meegenomen. Bij stratificatie is er ook de vraag of hierbij nog beter rekening kan worden gehouden met verschillen binnen een perceel zoals o.a. gewas, grondsoort wel/geen aanwezigheid van een vanggewas. Op basis van de resultaten kan het protocol worden aangepast naar een onderbouwd minimum aantal steken, eventueel gespecificeerd voor verschillende situaties, denk aan perceelgrootte, bodemtype of gewas.
- Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 kan het tijdstip van meting van invloed zijn op de hoeveelheid aanwezige minerale bodem-N als gevolg van biologische processen in de bodem en uitspoeling naar lagen onder de bemonsterde laag. Een modelmatige verkenning naar te verwachten verandering van minerale bodem-N in de herfst in relatie tot o.a. gewas, hoeveelheid N in gewasresten en de aanwezigheid van een vanggewas kan helpen hier meer zicht op te krijgen. Dit in combinatie met een veldtoetsing voor een aantal situaties. Dit onderzoek is mede van belang om na te gaan wat de consequenties zijn van een vroegere of latere metingen dan de huidige periode (15 okt tot 1 dec). Eventueel zou nagegaan kunnen worden of bij vroegere of latere metingen een correctie kan worden gecorrigeerd, maar dergelijke correcties zijn met veel onzekerheid omgeven en daarom wordt aanbevolen dit niet uit te voeren.
- Het vaststellen van variatie in minerale bodem-N voor situaties, waarbij grotere variatie mag worden verwacht, zoals na rijenteelten (met name in combinatie met N-rijenbemesting) of bij beweiding (urine- en mestflatplekken). Hierbij kan ook worden gekeken naar de mogelijkheden het protocol te gebruiken voor fruitteeltgewassen en boomkwekerijgewassen.
- De meerwaarde van een duplo-analyse in het laboratorium van het aangeleverde mengmonster.

Overige aspecten

- De hoeveelheid minerale bodem-N kan/wordt op verschillende momenten in het jaar gemeten, zoals voor, tijdens of na (dit protocol) het groeiseizoen. Het is aan te bevelen om uit te zoeken of er relaties bestaan tussen de resultaten van metingen voor of tijdens het groeiseizoen en metingen erna. Het lijkt aannemelijk dat te hoge waarden tijdens het groeiseizoen leiden tot hoge hoeveelheden in het najaar. Het meten tijdens het groeiseizoen kan ook gebruikt worden om de bemesting aan te passen een te hoge N-bemesting te voorkomen en de minerale bodem-N in de herfst te verlagen.
- Het handmatig steken van N-min monsters is fysiek zwaar werk. Gezien de mogelijke opschaling van de NR bemonstering in Nederland is het aan te raden om het steken van monsters zo veel mogelijk te mechaniseren. Door sommige instanties die grond bemonsteren wordt dit al gedaan, echter dit is nog geen gemeengoed. Daarnaast is het mechanisch steken van monsters in sommige gevallen zoals bij staande gewassen nog niet mogelijk vanwege gewasschade. Op termijn zal ook voor dit soort omstandigheden een mechanische oplossing moeten worden gevonden, vanwege de grote hoeveelheid monsters die in een korte periode moeten worden gestoken.
- De bemonstering vindt plaats op percelen. Door alle percelen op een bedrijf te bemonsteren ontstaat een representatief beeld van de bedrijfssituatie. Er kunnen namelijk grote verschillen optreden tussen percelen met vrijwel identieke bodemkenmerken, bemesting en gewas. Door het bemonsteren van zoveel mogelijk percelen op het bedrijf komt de uitslag van verschillende percelen op een evenwichtige manier samen in het bedrijfsresultaat. Dit is ook aangeraden in Vlaanderen (Hofman, 2023). Daarnaast biedt een brede bemonstering extra informatie aan de agrariër waarmee er een directe koppeling ontstaat tussen zijn handelingen en de resultaten.

Tabel 4. *Verbetermogelijkheden van het NR protocol en het hiervoor benodigde onderzoek.*

Onderdeel	Verbetering	Benodigd onderzoek
Prioritair		
Algemeen	Identificeren omissies en knelpunten huidig protocol	Ervaringen met het gebruik van het protocol inventariseren in trajecten/projecten waarin NR wordt gemeten (o.a. meetprogramma Cosun, pilot Maatwerkaanpak).
Steekdichtheid	Betere onderbouwing steekdichtheid mede i.r.t. methode bepalen positie steekpunten (stratificatie vs. handmatig)	Geo-statistisch onderzoek naar spreiding NR en hieruit af te leiden steekdichtheid (analoog zoals gedaan bij ontwikkeling protocol voor fosfaatbemonstering). Hierbij ook vergelijking methode bepaling positie steekpunten meenemen (gestratificeerde aselechte steekproef vs. handmatig).
Meetperiode	Effect verlenging meetperiode	Modelmatige verkenning naar het effect van de duur van de meetperiode op de risico's van uitspoelingsverliezen. Hierbij verschillende herfstsituaties meenemen zoals weinig en veel minerale bodem-N na de oogst, veel of weinig N in gewasresten en wel en geen aanwezigheid van een vanggewas. Eventueel aangevuld met een veldtoetsing.
Minder prioritair		
Toepassingsbereik	Gebruik protocol in fruitteelt en boomkwekerij	Testen protocol in fruitteelt- en boomkwekerijgewassen, waarbij met name ook wordt gekeken naar ruimtelijke verdeling van NR
Ruimtelijke variatie voor specifieke situaties	Variatie in NR als gevolg van rijen (bouwland) en urineplekken en mestflatten (grasland)	Nagaan in welke mate is van een ruimtelijk gradiënten bij rijenteelten op bouwland en bij beweide grasland en of hiermee rekening moet worden gehouden in het protocol.
Laboratorium analyse	Waarde van een duplo-bepaling	Onderzoek waarbij een NR-bepaling in enkelvoud wordt vergeleken met de duplo-bepaling.

Literatuur

Allende-Montalban, Raul, Raúl San-Juan-Heras, Diana Martín-Lammerding, María del Mar Delgado, María del Mar Albarran, Jose L. Gabriel, 2024. The soil sample conservation method and its potential impact on ammonium, nitrate and total mineral nitrogen measurements. *Geoderma* 448, 116963;

Brus, D.J. & L.E.E.M. Spätjens (1997). Een nieuwe steekproefstrategie voor de inventarisatie van de fosfaattoestand van percelen. Voorspelling van nauwkeurigheid en kosten.

Brus, D.J., Spätjens, L.E. & J.J. de Gruijter (1999). A sampling scheme for estimating the extractable phosphorus concentrations of fields for environmental regulation. *Geoderma* 89, 129-148.

Brus, D.J., W.J.M. te Riele & J.J. de Gruijter (1999). Een nieuwe steekproefstrategie voor de inventarisatie van de fosfaattoestand van percelen. Validatie van het nauwkeurighedsmodel. Staring Centrum, rapport nr. 516.2.

Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2007). Actualisering methodiek en protocol om de fosfaattoestand van de bodem vast te stellen. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen. WOt-technical report 39. 68 pp.

Corre, W., Lepelaar, A., Loman, H., & Niers, H. (1994). Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid : akkerbouwgewassen en vollegroondsgroenten. <http://edepot.wur.nl/333257>

Ehlert, P.A.I., O.F. Schoumans, D.J. Brus, W.J.M. de Groot, R. Visschers & M. Pleijter (2005). Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm. Technische uitwerking. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1201. 126 pp.

Ehlert, P.A.I., D.J.J. Walvoort, P.C.J. van Vliet & O. Oenema (2021). Vergelijking van twee bemonsteringsstrategieën bij toepassing van de gecombineerde indicator voor de fosfaattoestand van de bodem. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3080, 70 pp.

Fraters, B., Boumans, L., Van Leeuwen, T., & Reijs, J. (2007). De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. In *RIVM*. RIVM. <https://edepot.wur.nl/19104>

Hofman, S. & Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek. (2023). *Monsternamen van bodem op landbouwpercelen* (By Vlaamse Landmaatschappij). https://reflabos.vito.be/onderzoeksrapporten/2023-01-05_eindrapport_bodemmonsternamen_def.pdf

Hofman, S.C.K. & D.J. Brus (2021). How many sampling points are needed to estimate the mean nitrate-N content of agricultural fields? A geostatistical simulation with uncertain variograms.

Hoving, I., Everts, H., & Chardon, W. (2005). Monsternamen en analyse van N-mineraal in de bodem en nitraat in het grondwater. <http://edepot.wur.nl/40334>

Koorevaar, P. G. Menelik & C. Dirksen (1983). *Elements of Soil Physics*, pp 82, ISBN 0-444-42242-0.

Lepelaar, A. (1975). Beproeving van de houdbaarheid van verse grondmonsters. IB-nota nr. 14, IB, Haren, 10 pp.

Kohler, K. (2006). Unsicherheit der Nmin-Daten für die Düngereinsatzplanung und den Grundwasserschutz. *WasserWirtschaft* 1-2/2006.

Meeuwissen, P.C. & F.R. Goossensen, 1991. Beperking van het stikstofoverschot in de Nederlandse Landbouw; een scenariostudie. IKC-MKT, Ede, 43 pp.

Noij, I.G.A.M. & H.F.M. ten Berge (2019). Rapportage Project Nitraatwijzer Fase I. Wageningen Research, Rapport WPR-917, 137 pp.

TCB, (1990). Advies protocol bodembemonstering overige organische meststoffen. Technische Commissie Bodembescherming.

Van Enckevort, P.L.A., J.R. van der Schoot & W. van den Berg (2002). Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling op gewasniveau voor de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapport 1125234.

Van Erp, P.J., V.J.G. Houba & M.L. van Beusichem (2001). Effect of drying temperature on amount of nutrient elements extracted with 0.01 M CaCl₂ soil extraction procedure. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32 (1%2), 33-48.

Van Geel, W.C.A., R.P.J.J. Rietra, H.A.G. Verstegen, K. Duan, P. Groenendijk & J.T.W. Verhoeven (2023). Stikstofvanggewassen na consumptieaardappel op zandgrond. Verslag van driejarig veldonderzoek op zuidelijk zandgrond te Vredepeel. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1018.

Walvoort, D. J. J., Brus, D. J., & de Gruijter, J. J. (2010). An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means. Computers and Geosciences, 36(10), 1261-1267. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.04.005>.

Wijnen, G. (1986). Een nieuwe werkwijze bij het N-mineraal onderzoek; bepaling per volumedeel grond in plaats van bepaling op gewichtsbasis.

Websites

www.handboekbodemenbemesting.nl; geraadpleegd in mei 2025

Bijlage: Protocol bepaling mineraal stikstofresidu; toelichting context, functie en toepassing

*Pim Post, Koos Verloop, Sander Gerritsen, Wim van Dijk
Juni 2025, Wageningen*

1 Inleiding en leeswijzer

Door sectorpartijen en de Tweede Kamer is de wens geuit om te komen tot een systeem van bedrijfsgerichte doelsturing om agrariërs op hun bedrijf meer vrijheid te geven om maatregelen te nemen ten bate van de grondwaterkwaliteit. Ter voorbereiding van het 8e actieprogramma Nitraatrichtlijn werkt het Ministerie van LNVN samen met sectorpartijen aan een systeem voor doelsturing voor nitraat in het bovenste grondwater. Dit zogenoemde ingroeipad voor doelsturing op grondwaterkwaliteit zal naast generieke maatregelen in het mestbeleid staan.

Een onderdeel van dit systeem van doelsturing is het introduceren van indicatoren die de agrariër informeren over de mate waarin op het bedrijfsareaal risico's optreden voor nitraatuitspoeling. Het mineraal stikstofresidu (NR) en het overschot van stikstof op de bodembalans (N-bodemoverschot) worden beschouwd als geschikte indicatoren. Onder het mineraal stikstofresidu wordt verstaan de hoeveelheid minerale stikstof die zich in het najaar in de bodem bevindt. Het stikstof bodemoverschot is het verschil op jaarbasis tussen de aanvoer van stikstof naar de bodem en de afvoer met de oogst van gewassen. Dit verschil tussen aan- en afvoer blijft jaarlijks achter in de bodem en draagt bij aan de bodemvoorraad of gaat verloren naar het milieu. Deze indicatoren worden beschouwd als kansrijk, enerzijds omdat ze een aanwijzing kunnen geven van het risico op nitraatuitspoeling en anderzijds omdat ze aansluiten op het handelen van de ondernemer, met name op het teeltplan, bodembewerking en bemesting. NR is naar voren gekomen als aanvulling op en vervanging van het stikstof bodemoverschot, omdat NR mogelijk een directer en meer gedetailleerd beeld kan geven van de uitspoelingsrisico's op percelen op de korte termijn, terwijl het stikstof bodemoverschot de risico's op bedrijfsniveau voor de iets langere termijn reflecteert.

Om te borgen dat de bepaling van het NR op een uniforme manier gebeurt die aansluit op het beleidskader is het 'Protocol bepaling mineraal stikstofresidu' (NR-protocol) ontwikkeld (Gerritsen et al., 2025).

Deze toelichting op het NR-protocol schetst beknopt de beleidscontext en gaat vervolgens in op hoe NR en stikstof bodemoverschot samenhangen met het bedrijfsmanagement en het risico op nitraatuitspoeling. Daarna wordt beschreven hoe en in welke mate het protocol bijdraagt aan de gewenste kwaliteit (betrouwbaarheid en representativiteit) van metingen van het mineraal stikstofresidu. Tenslotte gaat deze toelichting in op de bruikbaarheid voor agrarische ondernemers van informatie over NR en het stikstof bodemoverschot.

2 Beleidscontext

Uitspoeling van nitraat naar grondwater uit landbouwgrond vormt in Nederland een hardnekkig probleem (Claessens et al., 2024). Door beleid, praktijk en onderzoek wordt al gedurende lange tijd gezocht naar effectieve oplossingen (CDM, 2024). Om watersystemen te beschermen voor overmatige belasting met stikstof en fosfaat zijn gebruiksnormen geïmplementeerd die grenzen stellen aan het gebruik van stikstof en fosfaat in dierlijke mest en kunstmest. Met het 6^e en 7^e actieprogramma Nitraatrichtlijn zijn aanvullende inspanningsverplichtingen van kracht geworden, zoals het toepassen van een onbemeste bufferstrook op percelen die grenzen aan sloten (Staatscourant 2023, 6071), de teelt van vanggewassen en rustgewassen op bedrijven op zand- en lössgrond. Deze verplichtingen werden ingevoerd als onderdeel van de derogatiebeschikking omdat gebleken was dat de waterkwaliteit in Nederland nog niet op orde was (EU 2022/2069).

Om invulling te geven aan de wens vanuit de sectoren om agrariërs meer vrijheid te geven in de keuze van maatregelen gericht op realisatie van waterkwaliteitsdoelen voor nutriënten afkomstig uit de landbouw, werkt het Ministerie in afstemming met de sectorpartijen aan een systeem voor doelsturing voor nitraat in het bovenste grondwater (TK 33037, nr. 545). De overheid zet erop in om dit veranderproces bij agrarische ondernemers te bereiken door informeren, stimuleren en afrekenen. Bij informeren gaat het erom ondernemers meer bewust te maken van potentiële N-verliezen op het bedrijf, in welke mate ze deze door hun landbouwkundig handelen beïnvloeden en welke verbeteringen hierin mogelijk zijn. Bij stimuleren gaat het daarnaast ook om het bevorderen van de gewenste ontwikkeling in de bedrijfspraktijk bijvoorbeeld via belonen van goede prestaties. Bij afrekenen gaat het om een verdergaande vorm van regelgeving die aangrijpt op prestatiedoelen, door diverse middelen.

Voor sturen op minder N uitspoeling met het oog op de grondwaterkwaliteit gaat de aandacht uit naar de indicatoren stikstof bodemoverschot en het NR omdat ze de verbinding kunnen vormen tussen enerzijds N-uitspoeling en daarmee grondwaterkwaliteit en anderzijds landbouwkundig handelen en daarmee maatregelen in het management.

Hoe deze twee indicatoren in de verschillende sectoren kunnen gaan sturen, is nog niet volledig uitgekristalliseerd. Hierbij speelt een rol dat de zuivelsector al jaren ervaring heeft met het stikstof bodemoverschot als indicator die door de KringloopWijzer wordt weergegeven in bedrijfsrapportages (van Dijk et al., 2024; Verloop et al., 2025) en dat het NR in de zuivelsector minder algemeen wordt gebruikt, terwijl dat in de akkerbouw precies andersom is. In de akkerbouw is het veel minder gebruikelijk om af te gaan op het stikstof bodemoverschot en wordt NR als een meer voor de hand liggende indicator beschouwd. De uiteindelijke toepassing van de indicatoren in het ingroeipad voor doelsturing op grondwater is nog onderwerp van onderzoek en overleg tussen het ministerie van LVVN met sectorpartijen.

Wat betreft NR is het voornemen om de metingen al in het najaar van 2025 breed op te starten, waarbij een overweging is dat de gegevens gebruikt kunnen worden als basis voor het verlenen van uitzonderingen uit het 8e actieprogramma Nitraatrichtlijn. Hiervoor zullen resultaten nodig zijn voor een aantal (meet) jaren. Ondernemers kunnen aanspraak maken op het verkrijgen van deze resultaten door deel te nemen aan het ingroeipad dat wordt opgezet om de doelsturing te implementeren.

3 Het mineraal stikstofresidu en het stikstof bodemoverschot als indicatoren voor nitraatuitspoeling

Dit onderdeel is bedoeld om agrariërs en monsternemers die in de praktijk met indicatoren gaan werken, inzicht te geven in de betekenis van de indicator mineraal stikstofresidu, de indicator stikstof bodemoverschot en nitraatuitspoeling. We gaan tevens in op de relatie van deze indicatoren met nitraatuitspoeling.

Het stikstof bodemoverschot

Het stikstof bodemoverschot is het verschil tussen de totale aanvoer van stikstof naar de bodem (na aftrek van NH₃-N-verliezen) en de hoeveelheid stikstof die met geoogste landbouwproducten van het

land wordt afgevoerd (van Dijk et al., 2024). Het stikstof bodemoverschot blijft achter in de bodem en wordt zo toegevoegd aan de totale voorraad van stikstof in de bodem, gaat verloren naar het milieu door vervluchtiging als gasvormige stikstofverbinding of spoelt uit naar grondwater (Brussée et al., 2024; Oenema et al., 2024).

Niet alle stikstof die als bodemoverschot bij de bodemvoorraad komt, is even gevoelig voor uitspoeling naar grondwater. Stikstof die gebonden is aan organische stof is niet mobiel en gaat niet direct verloren naar grondwater. Stikstof die aangevoerd is in minerale vorm (ammonium of nitraat) en in deze vorm in de bodem aanwezig is, is wel mobiel en draagt bij aan het risico op verlies naar grondwater. Omdat het stikstof bodemoverschot deze mobiele en minder mobiele vormen niet onderscheidt, wordt het stikstof bodemoverschot beschouwd als een indicator die het uitspoelingsrisico voor de wat langere termijn indiceert. Het organisch gebonden deel van het stikstof overschot mineraliseert uiteindelijk en kan op termijn dan ook een risico geven op uitspoeling (Wosten et al., 2019). Dit bleek ook uit een praktijkexperiment met verschillende compostdoseringen op droge zandgrond in Markelo (Dekker & Verloop, 2023).

In welke mate het stikstof bodemoverschot tot uitspoeling leidt, hangt naast de vorm en het moment waarin de stikstof is aangevoerd, ook af van factoren, zoals de gewasbedekking in de winter, de diepte van worteling, het bodemtype, de hoogte van de grondwaterstand en weersomstandigheden.

Het mineraal stikstofresidu

Het mineraal stikstofresidu is de hoeveelheid mineraal stikstof (nitraat en ammonium) die zich in het najaar in de bodem bevindt in een afgebakende bodemlaag. In het kader van het protocol bepaling mineraal stikstofresidu betreft het de hoeveelheid minerale stikstof die in de bodemlaag 0-90 onder maaiveld wordt gemeten tussen. Dit betreft een eenmalige meting die plaatsvindt in de periode 15 oktober en 1 december. Om het verlies naar grondwater te beperken, is het streven om het mineraal stikstofresidu zo laag mogelijk te houden. Daarbij zullen telers het niveau van minerale stikstof tijdens het groeiseizoen wel zo hoog willen hebben als landbouwkundig wenselijk. Het ideaal is dus om de bemestingskundige behoefte te combineren met een laag stikstofresidu na het groeiseizoen (van Enckevort et al., 2002).

Belangrijke verschillen met het stikstof bodemoverschot zijn: i) dat het mineraal stikstofresidu een momentopname is in het najaar, terwijl het stikstof bodemoverschot een jaarbalans is en ii) dat het mineraal stikstofresidu, zoals de naam al aangeeft, betrekking heeft op de minerale verschijningsvormen van stikstof, terwijl het stikstof bodemoverschot zowel minerale als organisch gebonden stikstof omvat. Een praktisch verschil is dat het stikstof bodemoverschot normaliter wordt bepaald op bedrijfsniveau en niet op perceelniveau. Het mineraal stikstofresidu wordt in eerste instantie juist op perceelniveau bepaald en kan vervolgens in combinatie met gegevens van andere percelen vertaald worden in een bedrijfsgemiddelde. Het mineraal stikstofresidu is daarom te beschouwen als een meer directe indicator van het uitspoelingsrisico (Noij & Ten Berge, 2019).

Nitraatuitspoeling

Nitraatuitspoeling is het proces waarbij nitraat, één van de twee minerale vormen waarin stikstof voorkomt, met het neerslagoverschot zich vanuit de bodem verplaatst naar het grondwater. Het uitgespoelde nitraat komt op diep gedraineerde droge zandgrond voornamelijk terecht in het grondwater. Nitraatuitspoeling kan, afhankelijk van de hydrologische omstandigheden ook via drains en ondiepe uitspoeling, tot belasting van oppervlaktewater leiden. Ook ammonium, de andere minerale stikstofverbinding kan verloren gaan naar watersystemen. De relatieve bijdrage van nitraat en ammonium aan de totale belasting van het watersysteem is afhankelijk van recent en historisch landgebruik, bodemtype en hydrologie. In zandgronden wordt de belasting van het watersysteem vooral bepaald door nitraatuitspoeling.

In het kader van doelsturing op grondwaterkwaliteit worden het stikstof bodemoverschot en het mineraal stikstofresidu benaderd als oorzaak en nitraatuitspoeling als gevolg.

Monitoring van nitraatuitspoeling vindt onder andere plaats in het kader van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. In de zandregio wordt de bovenste meter van het grondwater op bedrijven in de zomer bemonsterd mits de grondwaterstand niet dieper is dan 5 meter onder het maaiveld. In de kleiregio wordt de bovenste meter van het grondwater in de winter bemonsterd of wordt drainwater in vier rondes bemonsterd als percelen gedraineerd zijn. In de Lössregio wordt het bodemvocht tussen 1,5 en 3 meter onder maaiveld bemonsterd in het najaar.

De relaties tussen enerzijds NR en N bodemoverschot en anderzijds nitraatuitspoeling

De hiervoor beschreven mechanismen verklaren deels dat de relatie tussen stikstof bodemoverschot en nitraatuitspoeling in de praktijk veelal niet duidelijk naar voren komt (Oenema et al., 2024; van Geel et al., 2023; Verloop et al., 2025). Op regionale schaal worden dergelijke relaties echter wel gevonden (Brussée et al., 2024; Claessens et al., 2024; Fraters et al., 2020).

Ook de relatie tussen het mineraal stikstofresidu en nitraatuitspoeling komt in onderzoek niet altijd duidelijk naar voren. In sommige studies wordt wel een duidelijk verband gevonden maar vaak voor relatief hoge stikstofresidu en nitraatconcentraties (Corré et al., 1994; Noij & ten Berge, 2019).

Dat deze relatie niet altijd duidelijk naar voren komt, kan deels verklaard worden doordat metingen van nitraatuitspoeling in grondwater veelal niet opgezet zijn om de voorspelkracht van de genoemde indicatoren te toetsen. Daardoor is de meetdichtheid van nitraatuitspoeling vaak niet goed afgestemd op een dergelijke toetsing.

Invloeden van weer en omgevingsomstandigheden

Zowel het stikstof bodemoverschot als het mineraal stikstofresidu kunnen behalve door management ook worden beïnvloed door omgevingsomstandigheden en het weer. Daardoor kan het voorkomen dat een managementaanpassing die gericht is op een lager stikstof bodemoverschot of mineraal stikstofresidu zich niet direct vertaalt in verlaging van deze indicatoren. Het is belangrijk dat hiermee rekening wordt gehouden bij communicatie met ondernemers en bij beoordelen van de indicatoren.

4 Het protocol

Het Protocol bepaling mineraal stikstofresidu is bedoeld om ervoor te zorgen dat metingen van het mineraal stikstofresidu op grote schaal (kunnen) worden uitgevoerd als onderdeel van doelsturing op nitraat in grondwater. Deze doelsturing richt zich op informeren, stimuleren en afrekenen. De meetresultaten van het mineraal stikstofresidu moeten ondernemers informeren over het niveau van het mineraal stikstofresidu op hun percelen, en indirect over de risico's voor nitraatuitspoeling onder hun percelen. Dit moet hen in staat stellen om zelf te sturen op betere waterkwaliteit. Daartoe moeten de meetresultaten op uniforme wijze verkregen zijn en representatief zijn voor het hele bedrijfsareaal. Bovendien moeten ze objectief zijn, verkregen kunnen worden in alle teelten, op het juiste schaalniveau aansluiten, betrouwbaar zijn en met een passende nauwkeurigheid worden weergegeven. Hieronder wordt beschreven in hoeverre het protocol daarin voorziet:

1) Representativiteit

Representativiteit betekent hier dat a.) de bemonsteringspunten binnen een perceel een goede afspiegeling zijn van dat perceel; en b.) de bemonsterde percelen een goede afspiegeling zijn van het bedrijf. De representativiteit op een perceel wordt geborgd door in het protocol een bemonsteringspatroon (zie ook hieronder) voor te schrijven inclusief bufferstroken en zonder onderscheid naar rijen en/of plekken die beweid worden. Bovendien wordt aanbevolen om alle percelen behorend tot een landbouwareaal te bemonsteren. Hierdoor wordt het hele bedrijfsareaal met de meting van het mineraal stikstofresidu gerepresenteerd, afgezien van overmacht situaties. Bij overmacht kan een bepaling uitgesteld worden, met vermelding van reden. In principe kunnen veldcontroles worden uitgevoerd naar plekken waarvan met reden is aangegeven dat er niet bemonsterd is. Deze inspectie zal dan de melding moeten bevestigen.

2) Objectieve bepaling

Het protocol schrijft voor wanneer (tussen 15 oktober en 1 december) en waar gemeten wordt. Dit laatste gebeurt door twee methoden voor te schrijven om het bemonsteringspatroon te bepalen, zodat de stekken waaruit een mengmonster wordt samengesteld niet 'gestuurd' worden door de ondernemer of anderen. De monsterneming zal gedaan worden door een geaccrediteerde organisatie. Het protocol omvat naast de bemonstering ook de monsterbehandeling en analyse in het laboratorium. Met deze opzet legt het protocol een basis voor objectieve bepaling van het mineraal stikstofresidu. De verwerking en het beheer van gegevens ligt buiten het bereik van het protocol. Als hier geen voorziening voor is getroffen, zal dit veelal in handen zijn van de ondernemer. Een punt van aandacht is dat ook deze stap door een onafhankelijke partij wordt gedaan; dit geldt met name bij stimuleren en afrekenen omdat er dan belangen verbonden zijn aan de bepaalde waarden van het mineraal stikstofresidu.

3) Brede inzetbaarheid

Het protocol is bedoeld voor minerale gronden (zand, klei en löss) en geldt in principe voor alle

(landbouw)gewassen. Voor fruit- en boomkwekerijgewassen moet nog wel worden nagegaan of het ook daar goed toepasbaar is. Op percelen waar na 1 oktober nog gewassen op het land staan, is mechanische bemonstering mogelijk slecht uitvoerbaar zonder gewasschade te veroorzaken. Dat kan in voorkomende gevallen opgelost worden door handmatige bemonstering.

4) Resultaat op perceelschaal

Het protocol schrijft metingen voor op perceelschaal waarbij percelen een maximale oppervlakte van 5 ha mogen hebben. Zijn percelen groter dan worden ze opgedeeld in deelpercelen. Dit stelt de ondernemer in staat om de metingen te relateren aan het gebruik en beheer van percelen. Aan elkaar grenzende percelen die niet groter zijn dan 2,5 ha mogen worden samengevoegd tot een samengesteld perceel van maximaal 5 ha. Dit is ook toegestaan als op de percelen verschillende gewassen geteeld worden. Het risico van deze samenvoeging is echter dat hiermee perceel-specifieke en gewas-specifieke verschillen buiten beeld blijven. Het is daarom raadzaam om percelen alleen samen te voegen als de gewasteelt en -historie op de percelen hetzelfde is en de grondslag vergelijkbaar.

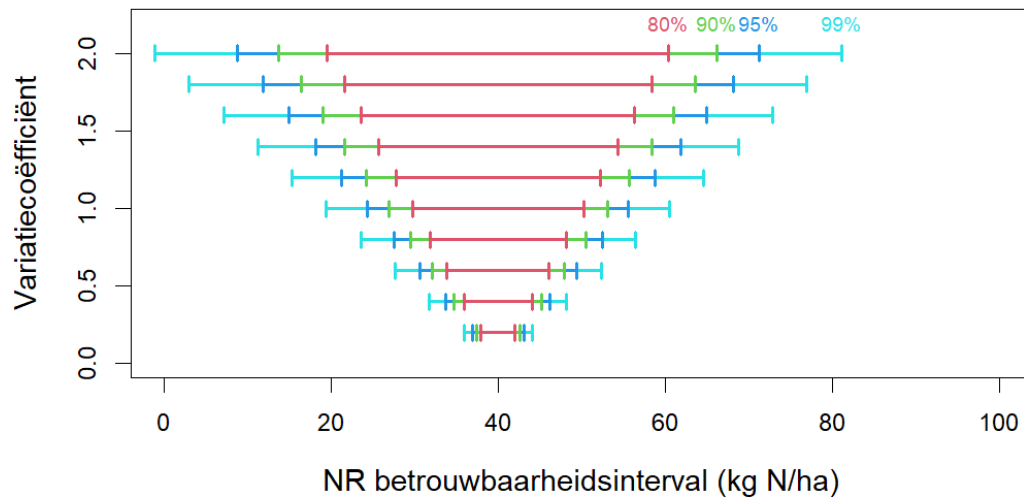
5) Betrouwbaarheid van meetwaarden

Het protocol is bedoeld om ervoor te zorgen dat de gemeten waarden van het mineraal stikstofresidu zo betrouwbaar mogelijk zijn. Per perceel of deelperceel wordt één waarde voor het mineraal stikstofresidu bepaald; dit geeft niet de variatie weer die binnen het perceel te verwachten is. Wel is het zo dat deze waarde gebaseerd is op een representatieve set van 40 meetpunten, waaruit, afhankelijk van de variatie binnen percelen met een zekere betrouwbaarheid voldoende nauwkeurige waarden volgen.

Een betrouwbare waarde interpreteren we hier als een voldoende grote kans dat de gemeten waarde van het mineraal stikstofresidu in een bepaald interval ligt, zoals weergegeven in figuur 2. Hierin is te zien dat de betrouwbaarheid van een meting zal afhangen van de hoeveelheid variatie op een perceel, beschreven door de variatiecoëfficiënt¹. Hoe groot deze variatiecoëfficiënt voor het mineraal stikstofresidu is en in hoeverre deze verschilt tussen percelen en bedrijven, is in beperkte mate bekend. Recente studies in Vlaanderen op verschillende akkerbouw en graspercelen op zand en leemgronden laten variatiecoëfficiënten zien die variëren van 0.26-2.56 (Hofman, 2023; Hofman & Brus, 2021) met een gemiddelde van boven de 0.6. Bovendien is de variatie vaak niet-normaal verdeeld. Specifieke studies laten soms lagere waarden zien (Inagro & PCA, 2024) maar eerder is beschreven dat de variatie aanzienlijk kan zijn (Corré et al., 1994). Een variatiecoëfficiënt van 0.6 betekent dat bij een volgens het protocol gemeten mineraal stikstofresidu van 40 kg N/ha, de gemiddelde NR op een perceel met 95% zekerheid tussen de 31 en 49 ligt (Figuur 1).

Door de beperkte beschikbaarheid van gegevens over variatie van het mineraal stikstofresidu binnen percelen is het onzeker of en hoe deze variatie verschilt tussen teelten, zoals (beweid) gras, akkerbouwgewassen en tuinbouwgewassen. Te verwachten is dat de variatie hoog is op beweidde percelen, waar mesttoediening niet gestuurd wordt. Daarnaast zullen factoren als drainage en heterogeniteit van gewasgroei en bemesting een rol spelen. Een ander aandachtspunt is rijenteelt, waarbij te verwachten is dat NR in en tussen de rijen verschilt (Vanhoof et al., 2013). Het protocol schrijft momenteel niet voor hoe met dergelijke gevallen om te gaan. Dit is niet bezwaarlijk zolang de grond in rijen en de grond tussen rijen evenwichtig, gewogen naar hun respectievelijke oppervlaktes, in de 40 stekken vertegenwoordigd zijn, zoals het protocol voorschrijft. Voor de verdere aanbevolen verbetering van protocol-onderdelen is ook een van de aandachtspunten de onzekerheid in variatie binnen percelen tussen teelten. Bijvoorbeeld door meer kennis over variatie binnen percelen in verschillende teelten te verzamelen en daarmee te bepalen of het protocol meer toegespitst moet worden op verschillende teelten of gewassen.

¹ De variatiecoëfficiënt is een gestandaardiseerde maat voor spreiding, berekend als de standaarddeviatie gedeeld door het gemiddelde



Figuur 1. Weergave van verschillende betrouwbaarheidsintervallen bij verschillende variatiecoëfficiënten voor een meetwaarde van het mineraal stikstofresidu van 40 kg N/ha; gebaseerd op 40 steken voor 0-30 cm, 20 steken voor 30-60 cm, 10 steken voor 60-90 cm, een gelijke variatiecoëfficiënt voor elke diepte en de aanname dat de variatie normaal verdeeld is.

6) Nauwkeurigheid

De variatie van het mineraal stikstofresidu binnen percelen bepaalt niet alleen de betrouwbaarheid maar ook de nauwkeurigheid. Hoe groter de variatie binnen een perceel, hoe groter het betrouwbaarheidsinterval, dus hoe kleiner de nauwkeurigheid (Figuur 1). Meetwaarden van 40 kg N/ha en 60 kg N/ha zullen bij een variatiecoëfficiënt van 0.6 en metingen volgens het protocol met meer dan 95% zekerheid van elkaar verschillen. Als de meetwaarden dichter bij elkaar liggen dan is het minder zeker dat ze van elkaar verschillen en ook als de variatie binnen een perceel groter is, zal het minder zeker zijn dat de meetwaarden daadwerkelijk van elkaar verschillen. Een marge van 10-20 kg N/ha rond de metingen is dus in veel gevallen realistisch.

De gewenste nauwkeurigheid hangt af van waar de metingen voor gebruikt zullen worden. In het geval van beoordelen en afrekenen laat het protocol niet alle denkbare vormen van resultaatweergave toe. Beoordeling die sterk stuur rond een hard grensgetal en met grote gevolgen voor de ondernemer vraagt bijvoorbeeld een nauwkeurigere waarde dan met het protocol gegeven kan worden. Het is niet realistisch om dit met een grotere meetdichtheid van steekpunten in het protocol of herhaalde meting op te lossen. Om te voorkomen dat percelen onterecht als onvoldoende worden beoordeeld, is in Vlaanderen een marge aangehouden tussen het toegepaste criterium en de feitelijke streefwaarde (Noij & Ten Berge, 2019). Een andere mogelijkheid is om stimulerende en bijsturende prikkels op een meer geleidelijke manier te verbinden met indicatorwaarden, bijvoorbeeld met een neutrale overgangsrang en positieve of negatieve prikkels die wat betreft hun impact geleidelijk toenemen met de afstand tot het criterium. Eerder is ook voorgesteld om metingen van het mineraal stikstofresidu vooral te gebruiken voor het opsporen van extremen (Noij & Ten Berge, 2019).

5 Betekenis van meetuitslagen voor ondernemers

De bruikbaarheid van meetuitslagen van het mineraal stikstofresidu voor een ondernemer zijn niet los te zien van de uitwerking van doelsturing op nitraatuitspoeling met als elementen informeren, stimuleren en afrekenen. Om al deze elementen te ontwikkelen, zal nog een basis gelegd moeten worden om meetwaarden te beoordelen; er zullen dus streefwaarden en doelen voor het mineraal stikstofresidu aangegeven moeten worden. Dit zal in een ander traject gebeuren en hierin voorziet het protocol niet. Het protocol biedt slechts een basis voor uniforme meting van NR, in eerste instantie ten behoeve van informeren van de ondernemer.

We richten ons hier dan ook uitsluitend op het element informeren. We gaan er daarbij vanuit dat de volgende twee pijlers van belang zijn:

1. Vertrouwen in de bemonstering en de opgeleverde NR-resultaten en
2. Bewustwording van de betekenis van de NR-resultaten.

Vertrouwen

Centraal staat dat de ondernemer vertrouwen heeft in een goede en zorgvuldig uitgevoerde bemonstering die minimale schade veroorzaakt voor bodem en gewas en die resulteren in NR-waarden die de werkelijkheid op het bedrijf goed weergeven. Het NR-protocol legt een basis hiervoor (zie paragraaf 4). Praktische aanwijzingen voor een zorgvuldige uitvoering zijn beperkt; maar mogelijk komen uit pilots nog verbeterpunten voort.

Bewustwording

Bij bewustwording gaat het er in eerste instantie om dat ondernemers inzicht moeten hebben in:

- a. Of NR op hun bedrijf en op hun percelen wel of niet hoog is. Daarvoor is een beeld nodig van de NR-waarden op de percelen. Hier voorziet het NR-protocol in. Verder is hoogtegevoel nodig voor NR-waarden in verschillende gewassen, eventueel in samenhang met het stikstof bodemoverschot als extra indicator. Dat wil zeggen: een globaal beeld van hoge waarden, normale waarden en lage waarden. Een benchmark is hierbij nuttig. Hierin voorziet het NR-protocol niet. Een aanvullende deskstudie is erop gericht benchmarks aan te geven.
- b. Of en zo ja op welke percelen, verlaging van de NR gewenst is vanwege risico's voor nitraatuitspoeling. In algemene zin kan gesteld worden dat een hoger NR een groter risico op nitraatuitspoeling behelst. De sterkte van die relatie is echter niet eenduidig en niet voor elk bedrijf en elk perceel hetzelfde (Corré et al., 1994; D'Haene & Hofman, 2022; Noij & Ten Berge, 2019). Naast een inherente onzekerheid rond deze relatie, spelen er ook allerlei aanwijsbare factoren mee waarvan bekend is dat ze de nitraatconcentratie beïnvloeden, zoals bodemtype, grondwater, weer, en allerlei managementfactoren. De specifieke omstandigheden op een bedrijf zijn dan ook belangrijk voor een goede duiding van een meting van het mineraal stikstofresidu (zie ook paragraaf 3).
- c. Welke mogelijkheden er zijn om het NR-niveau op percelen te verlagen door het treffen van maatregelen, al dan niet in samenhang met sturing op het stikstof bodemoverschot. Een beschreven voordeel van de NR-indicator is dat zij een snelle respons heeft op maatregelen (Noij & Ten Berge, 2019). Hierbij valt te denken aan o.a. scheuren van grasland, uitrijperiodes van dierlijke mest, beweidingsintensiteit, gebruik van vanggewassen, grondbewerking, aard van de meststof, stikstof leverend vermogen van de grond, toedieningsregime meststof, verdeling stikstofgebruiksruimte per bedrijf.

Realistische verwachtingen zijn belangrijk in het natuurlijke systeem dat bodem, gewas en water samen vormen. Want hoewel de Nederlandse landbouw sterk gestuurd en gecontroleerd is, blijven deze systemen gevoelig voor allerlei omgevingsinvloeden, zoals het weer of bodemverschillen. Het is daarom niet zo dat een ondernemer met de juiste maatregelen de nitraatuitspoeling volledig en direct kan sturen. Tegelijkertijd is er, op basis van bestaande kennis en een grote hoeveelheid meetgegevens, voldoende reden om vertrouwen te hebben dat het sturen op indicatoren wél bijdraagt aan betere waterkwaliteit — ook al laten de gegevens soms verschillende uitkomsten zien. Een evenwichtige en eerlijke communicatie hierover is belangrijk, juist ook richting ondernemers.

Literatuur

- Brussée, T. J., Negash, A., & Oosterwoud, M. R. (2024). *De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven*. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0108>
- CDM. (2024). *Advies 'Verkenning korte en lange termijn maatregelen in kader van de Meststoffenwet voor realisatie van waterkwaliteitsdoelen'*.
- Claessens, J., van Gils, D., Brussée, T., Vrijhoef, A., van Duijnen, R., Oosterwoud, M., Plette, A., Kotte, M., Rozemeijer, J., Ouwerkerk, K., Gosseling, M., Roskam, J., & Taconis, F. (2024). *Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2020-2023) en trend (1992-2023). Resultaten van de monitoring van de effecten van de EU Nitraatrichtlijn actieprogramma's, 2024*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0113>
- Corré, W. J., Lepelaar, A., Loman, H., Niers, H., Van Noordwijk, M., Whitmore, A. P., & Zwart, K. B. (1994). *Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar als instrument voor het te voeren stikstofbeleid Akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten*.
- Dekker, N. J., & Verloop, J. (2023). Compost, nitraat en droogte. *V-Focus*, 28–31.
- D'Haene, K., & Hofman, G. (2022). *MILIEU-EN LANDBOUWKUNDIGE NITRAATSTIKSTOFRESIDU-DREMPELWAARDEN*.
- Fraters, B., Hooijboer, A. E. J., Vrijhoef, A., Plette, A. C. C., van Duijnhoven, N., Rozemeijer, J. C., Gosseling, M., Daatselaar, C. H. G., Roskam, J. L., & Begeman, H. A. L. (2020). *Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2016-2019) en trend (1992-2019)*. www.rivm.nl
- Gerritsen, S., van Dijk, W., & Verloop, J. (2025). *Protocol bepaling mineraal stikstofresidu*.
- Hofman, S. (2023). *Monsternamen van bodem op landbouwpercelen*.
- Hofman, S., & Brus, D. J. (2021). How many sampling points are needed to estimate the mean nitrate-N content of agricultural fields? A geostatistical simulation approach with uncertain variograms. *Geoderma*, 385, 114816. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114816>
- Inagro, & PCA. (2024). *Rijenbemesting van stikstof in aardappelen Opvolging praktijkpercelen*.
- Noij, G.-J., & ten Berge, H. (2019). *Rapportage project Nitraatwijzer Fase I*. <https://doi.org/10.18174/494580>
- Oenema, J., Verloop, J., & Hooijboer, A. (2024). *Waterkwaliteit in Koeien & Kansen 1999-2022: een trendanalyse op bedrijfsniveau*. <https://doi.org/10.18174/687906>
- Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur En Voedselkwaliteit van 27 Februari 2023, Nr. WJZ/25675707, Houdende Voorschriften Tot Het Aanhouden van Bufferstroken in Verband Met de Uitvoering van Uitvoeringsbesluit (EU) 2022/2069 van de Commissie van 30 September 2022 (2023).
- UITVOERINGSBESLUIT (EU) 2022/2069 VAN DE COMMISSIE van 30 September 2022 Tot Verlening van Een Door Nederland Gevraagde Derogatie Op Grond van Richtlijn 91/676/EEG van de Raad Inzake de Bescherming van Water Tegen Verontreiniging Door Nitraten Uit Agrarische Bronnen (2022).
- van Dijk, W., de Boer, J. A., Schils, R. L. M., de Haan, M. H. A., Mostert, P., Oenema, J., & Verloop, J. (2024). *Rekenregels van de KringloopWijzer 2024: Achtergronden van BEX, BEA, BEN, BEP en BEC: actualisatie van de 2023-versie*. <https://doi.org/10.18174/678185>
- van Enckevort, P. L. A., van der Schoot, J. R., & van den Berg, W. (2002). *Relatie tussen N-overschot en N-uitspoeling*. www.ppo.dlo.nl
- van Geel, W., Rietra, R., Verstegen, H., Duan, K., Groenendijk, P., & Verhoeven, J. (2023). *Effect N-vanggewassen na aardappel op zandgrond op de nitraatuitspoeling: Verslag van driejarig veldonderzoek op zuidelijk zandgrond te Vredepeel*. <https://doi.org/10.18174/631358>
- Vanhoof, C., Cluyts, A., De Wit, J., Poelmans, E., Wouters, W., & Tirez, K. (2013). *Bemonstering van beteelde maïspelden voor de bepaling van nitraatresidu*.
- Verloop, J., van den Brink, C., & Gielen, J. (2025). Effectiveness of Voluntary Nutrient Management Measures to Reduce Nitrate Leaching on Dairy Farms Using Soil N Surplus as an Indicator. *Water*, 17(3), 455. <https://doi.org/10.3390/w17030455>
- Wosten, J. H. M., Groenendijk, P., Veraart, J. A., & van der Lugt, L. M. (2019). *Soil Organic Matter and its Importance for Water Management*.

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16

6700 AA Wageningen

T 0317 48 07 00

wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1477



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.