



Vlaanderen
is open ruimte

Teelteigenschappen en het risico op nitraatuitspoeling

COLOFON

Opdrachtgever:

Vlaamse Landmaatschappij
Koning Albert II-laan 15 bus 152
1210 Brussel

Uitvoerders:

Karoline D'Haene

ILVO

Burg. Van Gansberghelaan 109
9820 Merelbeke-Melle

Georges Hofman

UGent – Faculteit Bio-
ingenieurswetenschappen Coupure Links 653
9000 Gent

Datum Rapport: 05/09/2025

Depotnummer: D/2026/3241/050

INHOUD

Inhoud.....	3
Lijst met afkortingen.....	4
Lijst met figuren.....	5
Lijst met tabellen	6
1 Doel van de opdracht	7
2 Inleiding.....	8
3 Nitraatstikstofresidu's	8
3.1 Inleiding	8
3.2 Worteleigenschappen.....	10
3.2.1 Inleiding	10
3.2.2 De bewortelingsdiepte	12
3.2.3 De horizontale wortelverdeling en rijafstand	15
3.3 Beheermaatregelen om het risico op nitraatuitspoeling gelinkt aan het nitraatstikstofresidu te beperken	17
4 Oogstreteigenschappen.....	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Stikstofhoeveelheden in oogstresten	19
4.3 Stikstofbenuttingsindex	20
4.4 Kwaliteit van de oogstresten	21
4.5 Beheermaatregelen om het risico op nitraatuitspoeling gelinkt aan oogstreteigenschappen te beperken	22
5 Teeltgroepen van het mestbeleid	22
5.1 Inleiding	22
5.2 Grasland.....	23
5.3 Wintertarwe en andere granen	24
5.4 Suikerbieten	25
5.5 Voederbieten	26
5.6 Aardappelen.....	26
5.7 Maïs	27
5.8 Groenten.....	27
5.8.1 Inleiding	27
5.8.2 Groenten groep 1	28
5.8.3 Groenten groep 2	30
5.8.4 Groenten groep 3	30
5.9 Spruitkool.....	31
5.10 Sierteelt en boomkweek	31
5.11 Aardbeien.....	31
5.12 Teelten met een lage stikstofbehoefte	32
5.13 Leguminosen andere dan erwten en bonen	32
5.14 Overige teelten	33
6 Conclusies.....	34
7 Referenties	35
Bijlage	42

LIJST MET AFKORTINGEN

BOS	bodemorganische stof
C	koolstof
cm	centimeter
ha	hectare
kg	kilogram
l	liter
m	meter
MAP	MestActiePlan
mm	millimeter
N	stikstof
NBI	stikstofbenuttingsindex
NO ₃ ⁻	nitraat
NO ₃ ⁻ -N	nitraatstikstof

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1:	Gemiddelde a) wortelintensiteit en b) wortelfrequentie in en tussen de rij in het bodemprofiel (0-2.42 m) van witte kool geplant op 20/04/2000 en suikermaïs en wortelen gezaaid op 22/05/2000 (meting op 22/09/2000) en c) nitraatstikstofconcentratie (gemiddelde van in en tussen de rijen) in het bodemprofiel (0-2.5 m - 06/10/2000). De foutenbalken geven de standaardfouten weer (aantal metingen = 4) (meetmethode van de beworteling: mini-rhizotronen - zandleembodem - bioperceel - Denemarken) (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b).	9
Figuur 2:	Gemiddelde a) wortelintensiteit en b) wortelfrequentie in het bodemprofiel (0-2.42 m) van drie vanggewassen ingezaaid op 08/08/2000 (meting op 23/10/2000) en c) nitraatstikstofconcentratie in het bodemprofiel (0-2.5 m - 02/11/2000). De foutenbalken geven de standaardfouten weer (aantal metingen = 4) (meetmethode van de beworteling: mini-rhizotronen - zandleembodem - bioperceel - Denemarken) (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a).	9
Figuur 3:	Maïswortels en verdichting. Links: normale dichtheid - rechts: verdichte bodem (Bron: Kutschera <i>et al.</i> , 2009 vermeld in Luske <i>et al.</i> , 2012).	11
Figuur 4:	Bewortelingsdiepte (cm) gemeten bij de oogst van openluchtgroenten. Cirkels geven de outliers weer. De lijn binnen in het boxplot is de mediaan. De groenten werden in 4 groepen onderverdeeld op basis van de mediaanwaarde 'shallow' (< 50 cm), 'shallow to moderately deep' (50-100 cm), 'moderately deep to deep' (100-150 cm) en 'deep-rooting' (> 150 cm). Tussen haakjes staan het aantal metingen (Bron: Zemek <i>et al.</i> , 2020a & b).	12
Figuur 5:	De wortellengtedichtheid (cm wortel cm ⁻³) in het profiel (0-70 cm) in de loop van het groeiseizoen van spruitkoolwortels (geplant op 28/05/1991) en van preiwortels (geplant op 11/06/1992) (Nederland) (Bron: Smit, 1994).	13
Figuur 6:	De gemiddelde wortellengtedichtheid (cm wortel cm ⁻³) in het profiel (0-100 cm) van 17 wintertarwe- en 40 koolzaadpraktijkpercelen (meetmethode: bodemringen in en tussen de rij met een diameter van 1.9-2.6 cm - Verenigd Koninkrijk) (Bron: White <i>et al.</i> , 2015).	14
Figuur 7:	Wortelbiomassa (g droge stof m ⁻²) (0-90 cm) voor raaigras <i>Lolium perenne</i> (Lp) en rietzwenkgras <i>Festuca arundinacea</i> (Fa) gemeten in driejarig grasland (zaai april 2009 - wortelmeting in oktober/november 2012) in Melle (zandleem - maaien en begrazen), Merelbeke (zandleem - maaien) en Poperinge (leem - maaien) (meetmethode van de beworteling: bodemringen met een diameter van 8 cm) (Bron: Coughon <i>et al.</i> , 2013).	14
Figuur 8:	De horizontale en verticale verdeling (cm wortel cm ⁻³) van preiwortels (geplant op 11/06/1992) en spruitkoolwortels (geplant op 19/05/1992) (Nederland) (Bron: Smit, 1994).	15
Figuur 9:	Nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) 'in' en 'tussen' de rij bij de oogst van bloemkool en suikerbieten bij een praktijkbemesting (Vlaanderen) (Bron: Hofman <i>et al.</i> , 1991).	16
Figuur 10:	Nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) in het bodemprofiel (0-120 cm) bij verschillende N-bemestingstrappen en op variërende afstanden van de rij bij de oogst van maïs bij breedwerpig of rijbemesting (Bron: Hofman <i>et al.</i> , 1991).	18
Figuur 11:	Gemiddelde stikstof- (N) hoeveelheden in de vermarktbaar producten en de oogstresten (kg N ha ⁻¹) bij enkele groente-, akkerbouw- en voederteelten (Gebaseerd op De Neve <i>et al.</i> , 2022).	20
Figuur 12:	Gemiddeld nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) (±standaardfout) in het najaar (1 oktober-15 november) in het profiel 0-90 cm in een proefperceel in Nieuwenhove (boven) en Moortsele (beneden). Significante verschillen tussen gras- en grasklaverpercelen worden aangeduid met * (p<0,05), ** (p<0,01) en *** (p<0,001) (Bron: De Vliegheer <i>et al.</i> , 2018).	24
Figuur 13:	Areaal van de belangrijkste groenten aanwezig op de Vlaamse percelen in april/mei 2023. De indeling bij groenten groep 1, groep 2, groep 3 of een andere teeltgroep in het kader van het mestbeleid wordt gegeven (Bron: Statbel, 2024).	28
Figuur 14:	Scores van wortellengtedichtheid voor bloemkool (0-90 cm) op 4 locaties in Duitsland (Plantdata: loess loam op 07/04/1994 en 09/04/1996 - loamy sand op 31/03/1994 en 27/06/1996) (Meetmethode: mini-rhizotron) (Bron: Kage <i>et al.</i> , 2000).	29
Figuur 15:	Overzicht van het nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) in het profiel 0-90 cm in de sperperiode voor verschillende (mengsels van) vlinderbloemigen met of zonder voedererwten in het jaar van zaaien (Bron: De Vliegheer & Vanden Nest, 2019).	33

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1:	Teeltindeling volgens stikstofbenuttingsindex en stikstof- (N) inhoud (kg N ha ⁻¹) van oogstresten (Bron: Smit, 1994).....	21
Tabel 2:	Het gemiddelde nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) en het percentage rode MAP-meetpunten van het oppervlaktewater van 2007 tot 2024 (Bronnen: VLM & VMM).....	42
Tabel 3:	Het gemiddelde nitraatstikstofresidu (kg NO ₃ -N ha ⁻¹) per teeltgroep in 2015-2024 (Bron: Anonymus, 2025).	42

1 DOEL VAN DE OPDRACHT

Nitraat- (NO_3^-) uitspoeling doet zich in Europa hoofdzakelijk in de winter voor wanneer er bij een neerwaartse waterbeweging (drainage) nitraatstikstof (NO_3^- -N) uit het bodemprofiel wordt uitgespoeld. Het optimaliseren van de N-bemesting waarbij het N-aanbod op de N-vraag wordt afgestemd, wordt als één van de beste methodes beschouwd om de N-efficiëntie te laten toenemen en NO_3^- -verliezen naar grond- en oppervlaktewater te minimaliseren. Echter ook de teeltkeuze, doordachte teeltrotaties en een optimaal beheer van oogstresten dragen bij tot het verhogen van de N-efficiëntie en het verlagen van NO_3^- -verliezen naar grond- en oppervlaktewater (Neeteson & Whitmore, 1997; D’Haene *et al.*, 2014).

De onderzoeksvraag van deze literatuurstudie is: wat zijn de teelteigenschappen die gelinkt zijn aan een risico op hoge NO₃⁻-uitspoeling (= wat is een NO₃⁻-gevoelige teelt)?

2 INLEIDING

De teelteigenschappen die een invloed op het risico op NO_3^- -uitspoeling hebben, zijn (Neeteson & Whitmore, 1997; D'Haene *et al.*, 2014; Zemek *et al.*, 2020a):

- * de beworteling die het NO_3^- -N-residu in de bodem bij de oogst beïnvloeden en
- * de eigenschappen van de oogstresten.

Het effect van de beworteling en de oogstreteigenschappen op het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winter is echter afhankelijk van het oogsttijdstip in de zomer of in het najaar aangezien deze de mogelijkheid van de inzaai van vanggewassen en de vrijstelling van stikstof (N) uit de oogstresten en bodemorganische stof (BOS) beïnvloedt. Ook de weers- en bodemomstandigheden tijdens en na de teelt hebben een impact op het risico op NO_3^- -uitspoeling.

Op te merken valt dat de termen nitraat- en niet-nitraatgevoelige teelten ietwat ongelukkig gekozen zijn. Het zou beter zijn te spreken over uitspoelingsgevoelige en niet-uitspoelingsgevoelige teelten aangezien het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winterperiode geëvalueerd wordt.

3 NITRAATSTIKSTOFRESIDU'S

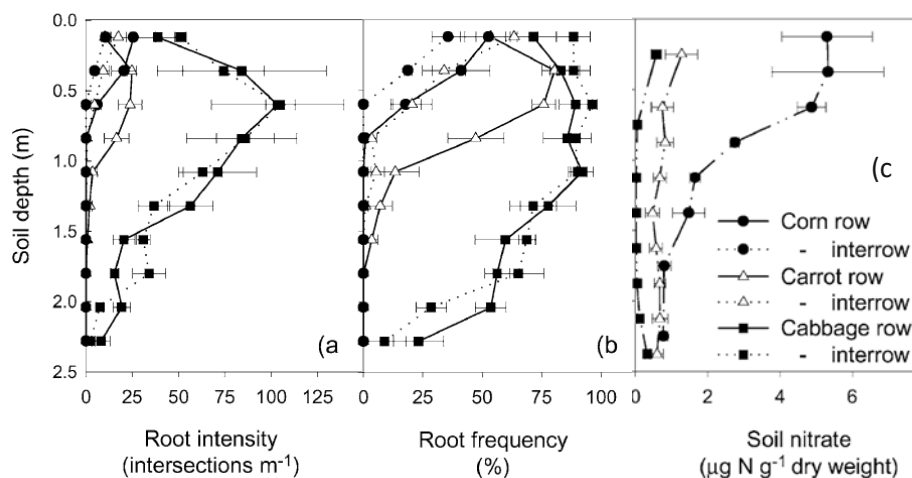
3.1 INLEIDING

Zoals geïllustreerd in Figuur 1 voor maïs, wortelen en witte kool is er een link tussen de diepte van de beworteling en de grootte van het NO_3^- -N-residu in het bodemprofiel bij de oogst (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b). Bij de grootte van het NO_3^- -N-residu speelt niet enkel de diepte van de beworteling een rol maar ook de wortelhoeveelheid die per diepte aanwezig is (vb. Wortelintensiteit = aantal wortels die de randen van vlakjes doorkruisen en wortelfrequentie = percentage vlakjes met wortels) (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a & b; Wacker *et al.*, 2021; Changdar *et al.*, 2023). Bij een betere doorworteling van de bodem is er immers een betere N-opname (Huang *et al.*, 2023).

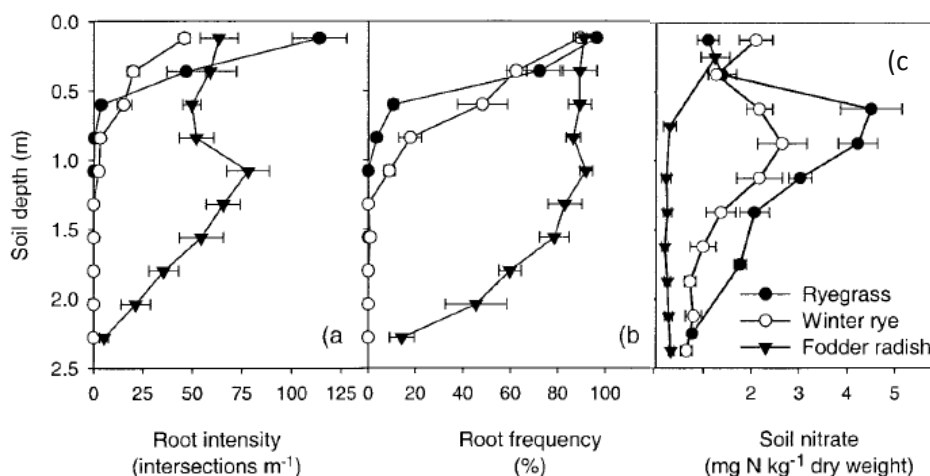
De NO_3^- -N-residu's bij de oogst na een optimale bemesting, gedefinieerd door Hofman *et al.* (1984a) als het latent NO_3^- -N-residu, zijn afhankelijk van de beworteling van het gewas, maar ook van een aantal factoren zoals de tussen-rij afstand van de teelt, het N-opnamepatroon van het desbetreffende gewas in de tijd, etc.

Zoals de vergelijking tussen bladrammenas en raaigras in Figuur 2 aangeeft, kunnen ook bij vanggewassen lagere NO_3^- -N-residu's gemeten worden dieper in het bodemprofiel bij een diepere beworteling (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a).

Omwille van het feit dat het bepalen van de beworteling tijdsintensief en duur is, werd de beworteling vooral bij de teelten met een groot areaal gemeten. Het samenbrengen van data wordt bemoeilijkt omdat de meetmethoden het bekomen resultaat kunnen beïnvloeden (Maeght *et al.*, 2013; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020).



Figuur 1: Gemiddelde a) wortelintensiteit¹ en b) wortelfrequentie² in en tussen de rij in het bodemprofiel (0-2.42 m) van witte kool geplant op 20/04/2000 en suikermaïs en wortelen gezaaid op 22/05/2000 (meting op 22/09/2000) en c) nitraatstikstofconcentratie (gemiddelde van in en tussen de rijen) in het bodemprofiel (0-2.5 m - 06/10/2000). De foutenbalken geven de standaardfouten weer (aantal metingen = 4) (meetmethode van de beworteling: mini-rhizotronen - zandleembodem - bioperceel - Denemarken) (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b).



Figuur 2: Gemiddelde a) wortelintensiteit en b) wortelfrequentie in het bodemprofiel (0-2.42 m) van drie vanggewassen ingezaaid op 08/08/2000 (meting op 23/10/2000) en c) nitraatstikstofconcentratie in het bodemprofiel (0-2.5 m - 02/11/2000). De foutenbalken geven de standaardfouten weer (aantal metingen = 4) (meetmethode van de beworteling: mini-rhizotronen - zandleembodem - bioperceel - Denemarken) (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a).

¹ Wortelintensiteit= aantal wortels die de randen van de vlakjes van 40 mm op 40 mm kruisen per bodemlaag (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a)

² Wortelfrequentie= percentage vlakjes van 40 mm op 40 mm met wortels per bodemlaag (Bron: Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a)

3.2 WORTELEIGENSCHAPPEN

3.2.1 Inleiding

De wortels verankeren de plant in de bodem en voorzien de plant van water en essentiële voedingsstoffen die nodig zijn voor de groei en ontwikkeling. Zowel de temporele als ruimtelijke wortelverdeling (horizontale en verticale wortelgroei) spelen een cruciale rol bij de N-opname door planten.

In vochtige, N-rijke bodems ontwikkelen planten gewoonlijk ondiepe wortelsystemen, waardoor ze efficiënt nutriënten bovenaan uit de bodem kunnen halen, wat een optimale groei en ontwikkeling ondersteunt. Naarmate de bodemvochtigheid afneemt, wordt een diep wortelstelsel met een groter oppervlak en grotere dichtheid van de wortelharen noodzakelijk voor planten om nutriënten uit diepere bodemlagen te halen. In zeer droge bodemomstandigheden wordt de wortelgroei echter door de grotere bodemweerstand belemmerd (Colombi *et al.*, 2018; Wen & Ma, 2024; Heinemann *et al.*, 2025). De worteloppervlakte (= aantal wortels en wortelharen) is hoog in een nutriëntenarme omgeving (Huang *et al.*, 2023). In bodems met een homogeen hoge NO_3^- -N-hoeveelheid wordt de beworteling niet gestimuleerd om sterk te ontwikkelen. In bodems met een heterogene NO_3^- -N-hoeveelheden groeien de wortels hoofdzakelijk in de zones met hoge NO_3^- -N-hoeveelheden (Boer *et al.*, 2020). Vooral in ongunstige omstandigheden -vb. droge jaren of weinig nutriënten- is een uitgebreid wortelstelsel een duidelijke meerwaarde (Lammerts van Bueren & Struik, 2017; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020).

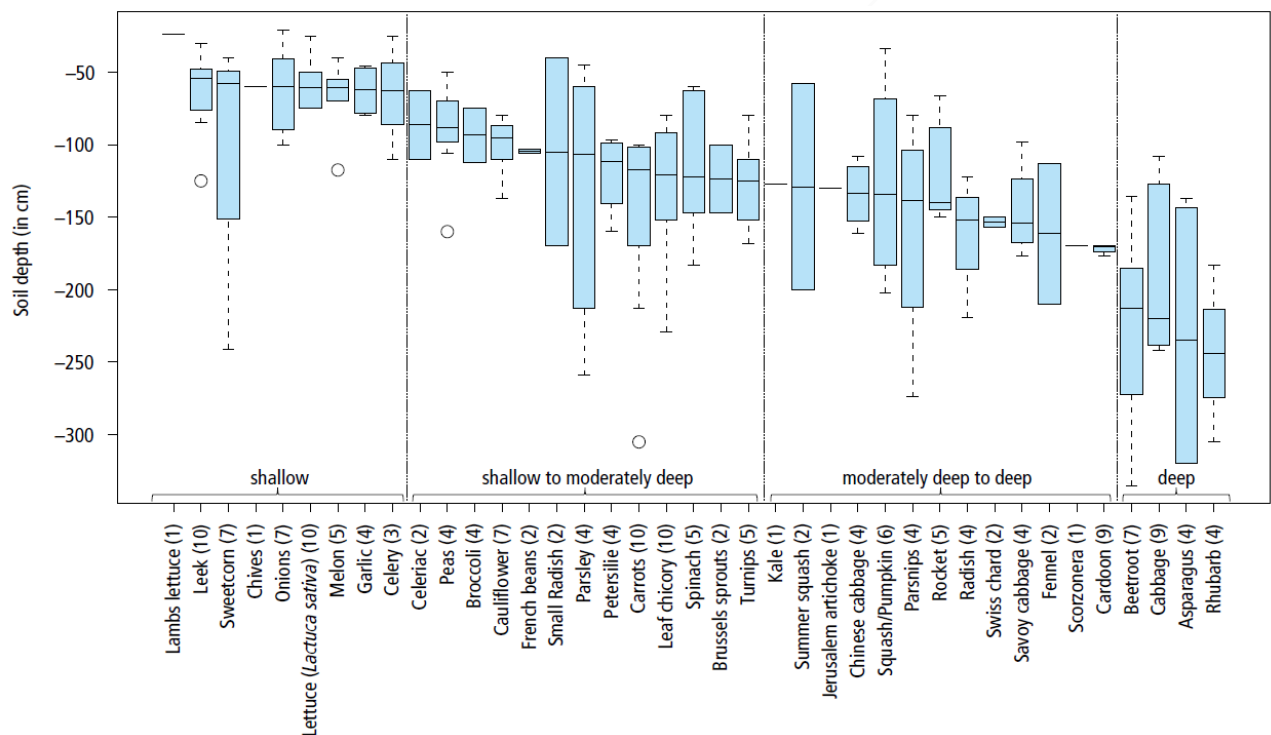
Er is ook een interactie tussen de bodemstructuur en de beworteling van de aanwezige planten. Het vermijden van bodemverdichting is belangrijk om diepe beworteling mogelijk te maken (Figuur 3) (Luske *et al.*, 2012; White *et al.*, 2015; Lammerts van Bueren & Struik, 2017). Vooral in droge jaren resulteert bodemverdichting in een ondiepere beworteling van de planten, een moeilijker opkomst, kortere planten en lagere opbrengsten (Unger & Kasper, 1994; Lipiec *et al.*, 2003; Shaheb *et al.*, 2021). Een biologische maatregel voor het stimuleren van de bewortelingsdiepte en het verminderen van bodemverdichting is het stimuleren van de aantallen en activiteit van regenwormen (Luske *et al.*, 2012). Door teelten met verschillende bewortelingseigenschappen in een teeltrotatie op te nemen is er een positief effect op poriënverdeling en aggregaatsstabiliteit (Unger & Kasper, 1994; Shaheb *et al.*, 2021; Wen & Ma, 2024). Een ondiepe grondwatertafel kan o.w.v. de anaerobe omstandigheden de diepte van de beworteling negatief beïnvloeden (Thorup-Kristensen *et al.*, 2020).

Naast het effect van de bodem- en weersomstandigheden, hangt de worteldistributie ook van de teelt af. Meerjarige teelten zoals luzerne hebben door hun lange groeiperiode vaak een uitgebreidere beworteling en lage NO_3^- -N-residu's. Planten met een korte groeiperiode hebben dikwijls een ondiep wortelgestel (Lammerts van Bueren & Struik, 2017; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020). Planten met een snelle wortelgroei kunnen N-verliezen bij het begin van de teelt minimaliseren. Teelten die geoogst worden op het moment dat de groei in volle gang is en de N-behoefte groot is, kunnen de beschikbare N moeilijk volledig benutten en hebben nood aan een zekere buffervoorraad in het profiel aan het eind van de teelt omdat het risico op een N-gebrek anders te groot is. Dit verklaart ook waarom sommige groenten die snel groeien op het moment van oogsten slechte N-benutters zijn. Teelten met een afrijpingsfase waardoor de N-vraag aan het einde van het seizoen tot vrijwel nul gereduceerd is, laten op percelen met een laag mineralisatiepotentieel een profiel met een lager NO_3^- -N-residu achter dan teelten die geoogst worden in volle groei (Smit, 1994).

3.2.2 De bewortelingsdiepte

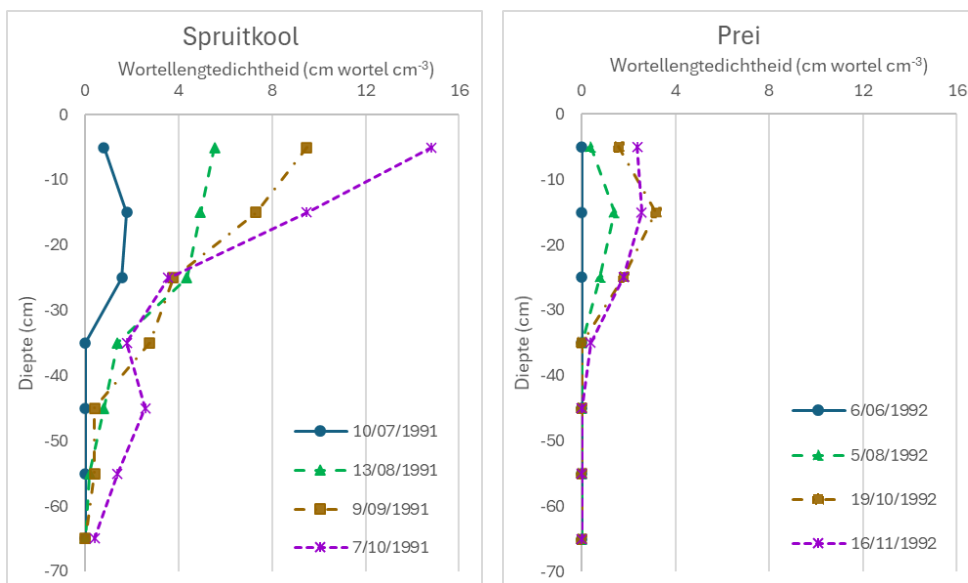
Een ondiepe beworteling impliceert dat de N-opname grotendeels tot deze geringe bewortelingsdiepte beperkt zal blijven, waardoor de aanwezige N in de diepere lagen als ‘niet-beschikbare N’ beschouwd kan worden (N-(eco)², 2002; Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a; Thorup-Kristensen, 2006; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020; D’Haene & Hofman, 2022). Teelten met een diepe beworteling kunnen in de diepere lagen NO₃⁻ opnemen en zo het risico op NO₃⁻-uitspoeling beperken (Smit, 1994; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020; Zemek *et al.*, 2020a; Heinemann *et al.*, 2025). Diepe wortelsystemen helpen eveneens de plant te stabiliseren en verminderen het risico op legering (Wen & Ma, 2024).

Omwille van hun belang in het kader van het risico op NO_3^- -uitspoeling werden de onderzoeksresultaten van de bewortelingsdieptes van verschillende openluchtgroenten door Zemek *et al.* (2020a & b) in de literatuur opgezocht. De teelten werden op basis van de mediaan van de bewortelingsdiepte in 4 groepen onderverdeeld: ondiep (< 50 cm), ondiep tot matig diep (50-100 cm), matig diep tot diep (100-150 cm) en diep wortelend (> 150 cm) (Figuur 4).



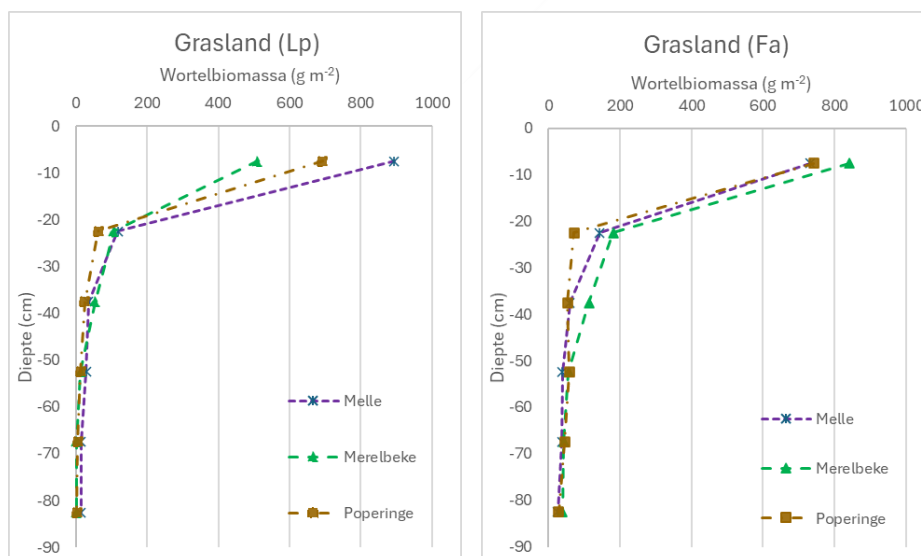
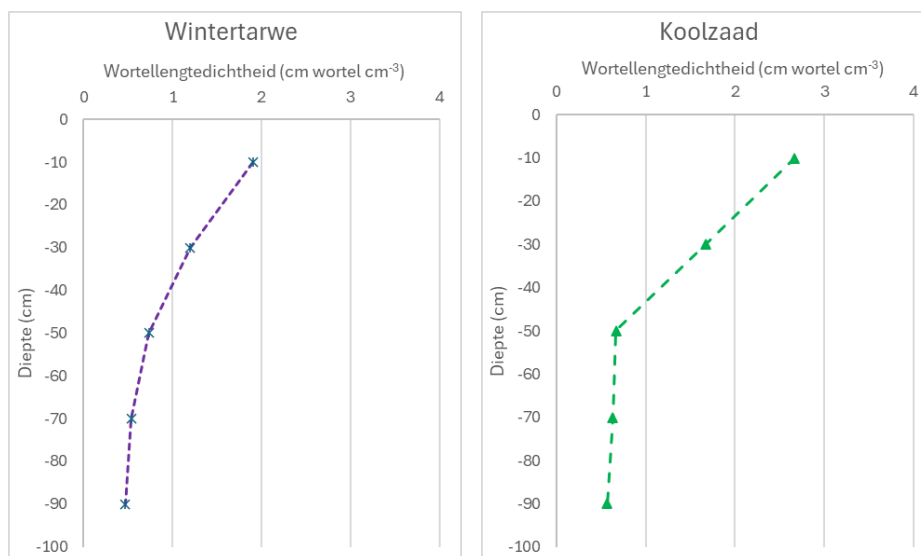
Figuur 4: Bewortelingsdiepte (cm) gemeten bij de oogst van openluchtgroenten. Cirkels geven de outliers weer. De lijn binnen in het boxplot is de mediaan. De groenten werden in 4 groepen onderverdeeld op basis van de mediaanwaarde 'shallow' (< 50 cm), 'shallow to moderately deep' (50-100 cm), 'moderately deep to deep' (100-150 cm) en 'deep-rooting' (> 150 cm). Tussen haakjes staan het aantal metingen (Bron: Zemek *et al.*, 2020a & b).

Niet enkel de bewortelingsdiepte maar ook de wortellengtedichtheid, een maat voor de uitgebreidheid van het wortelstelsel, beïnvloedt de N-efficiëntie van teelten. De wortellengtedichtheid bepaalt het volume van de bodem dat beschikbaar is als potentiële bron van N, wat hoofdzakelijk belangrijk is in voedselarme bodems. Langere wortels betekenen over het algemeen meer wortelharen, wat het oppervlak voor N-opname vergroot en de interactie met nuttige bodemmicro-organismen bevordert, waaronder N-fixerende bacteriën en mycorrhizaschimmels (Gabrielle *et al.*, 1998; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020; Wen & Ma, 2024). Bij spruitkool, een teelt met een hoge N-efficiëntie en lage NO_3^- -N-residu's bij de oogst, is er een hoge wortellengtedichtheid. In de bovenste bodemlaag werd tot zelfs 15 cm wortel per cm^{-3} bodem gemeten (Figuur 5). Daarentegen bij prei, een teelt met een relatief slechte N-efficiëntie, was de maximale waarde slechts 3 cm wortel per cm^{-3} bodem. In vergelijking met spruiten kwamen er bij prei bovenaan duidelijk minder wortels voor en beneden de 40 cm vormde de prei nog nauwelijks wortels. Bij spruitkool daarentegen was er een geleidelijke afname van de beworteling met de diepte, maar de grote aantallen wortels maakten dat deze teelt het gehele profiel goed doorwortelde (Smit, 1994).



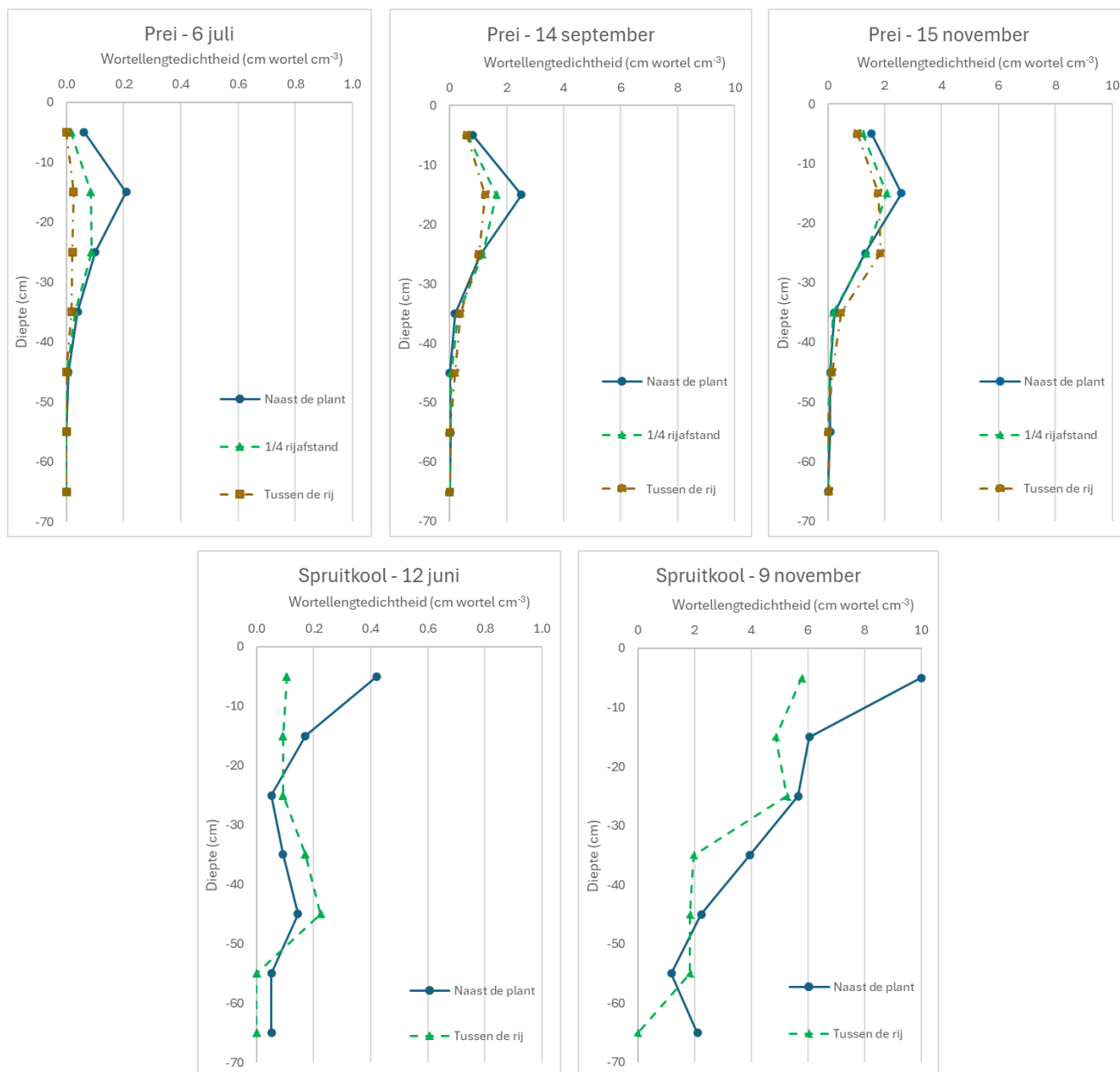
Figuur 5: De wortellengtedichtheid (cm wortel cm^{-3}) in het profiel (0-70 cm) in de loop van het groeiseizoen van spruitkoolwortels (geplant op 28/05/1991) en van preiwortels (geplant op 11/06/1992) (Nederland) (Bron: Smit, 1994).

Alternatieve metingen voor de wortellengtedichtheid (Figuur 6) zijn het meten van de wortelintensiteit (Figuur 1), wortelfrequentie (Figuur 1), de biomassa van de aanwezige wortels (Figuur 7) of de worteloppervlakte (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b; Cougnon *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2023; Heinemann *et al.*, 2025).



3.2.3 De horizontale wortelverdeling en rijafstand

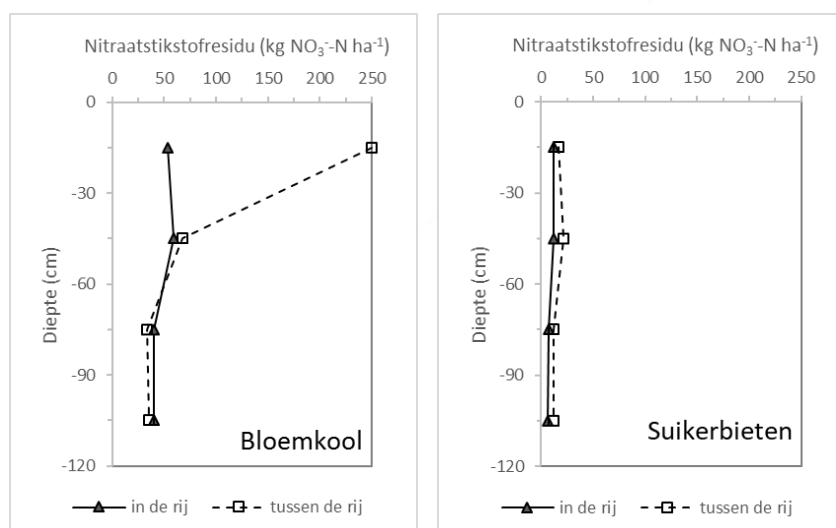
Figuur 4 tot Figuur 7 laten buiten beschouwing dat er door de teelt in rijen, vooral bij teelten met een ruime plantafstand, ook variatie in beworteling in horizontale richting bestaat. Een niet-homogene verdeling van wortels kan leiden tot plaatselijk NO_3^- -uitspoeling. Figuur 8 bovenaan laat de beworteling van prei zien vlak naast



Figuur 8: De horizontale en verticale verdeling (cm wortel cm⁻³) van preiwortels (geplant op 11/06/1992) en spruitkoolwortels (geplant op 19/05/1992) (Nederland) (Bron: Smit, 1994).

de plant, op $\frac{1}{4}$ van de rijafstand en precies tussen de rijen. Op een vroeg tijdstip komen vlak naast de plant veel meer wortels voor dan tussen de rijen (Figuur 8). Dit blijft ook later in het seizoen zo, maar prei heeft toch al vrij snel een redelijk homogene verdeling van wortels in horizontale richting. In Figuur 8 onderaan is de horizontale verdeling van wortels voor spruitkool op twee tijdstippen weergegeven, namelijk vlak naast de plant en precies tussen de rijen. Ook hier geldt dat er op het einde van de teelt, behalve in de bovenste 10 cm van het profiel, geen duidelijke invloed van de plaats van de rij is (Smit, 1994).

Teelten met een uitgebreid wortelstelsel kunnen het bodemprofiel goed uitputten met geringe verschillen in NO_3^- -N-residu's zelfs op maximale afstanden van de plant. Dit geldt zowel voor teelten met een uitgebreid wortelstelsel met een grote tussen-rijafstand zoals suikerbieten (Figuur 9) als met een geringe tussen-rijafstand zoals granen. Hierbij dient echter vermeld te worden dat dit enkel het geval is bij (sub)optimale bemestingen, een voldoende hoge bodemvruchtbaarheid en indien er geen storende lagen in het bodemprofiel aanwezig zijn. Bij bemestingen boven het optimum worden de NO_3^- -N-residu's uiteraard hoger (Hofman *et al.*, 1991, D'Haene *et al.*, 2018b). Bij teelten met een beperkt wortelgestel en brede tussenrijen, zoals bloemkool, wordt er daarentegen vaak een hoger NO_3^- -N-residu gemeten tussen dan in de rij (Figuur 9).



Figuur 9: Nitraatstikstofresidu (kg NO_3^- -N ha^{-1}) 'in' en 'tussen' de rij bij de oogst van bloemkool en suikerbieten bij een praktijkbemesting (Vlaanderen) (Bron: Hofman *et al.*, 1991).

Uit bovenste informatie blijkt dat de beperkte informatie over de beworteling voorzichtig geïnterpreteerd moet worden. De bewortelingsdiepte alleen geeft geen informatie over hoeveel N potentieel opgenomen kan worden en het risico op NO_3^- -uitspoeling. De metingen van de beworteling gebeuren vaak enkel in de buurt van de plant en geven geen informatie over de zones tussen de rijen. In sommige onderzoeken met een focus op ondergrondse opslag van koolstof (C) werd de beworteling niet voldoende diep gemeten om de maximale bewortelingsdiepte van de teelt te kunnen bepalen (Schenk & Jackson, 2002; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020). **Metingen van de NO_3^- -N-residu's genomen over de ganse perceeloppervlakte (nl. in en tussen de rij) bij de oogst en in de sperperiode geven een beter idee van het risico op NO_3^- -uitspoeling dan bewortelingsdata.**

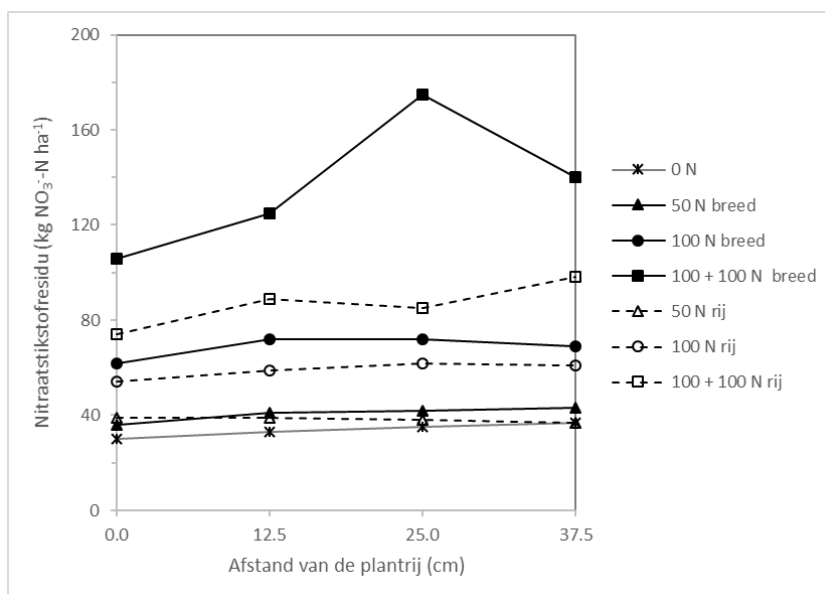
3.3 BEHEERMAATREGELEN OM HET RISICO OP NITRAATUITSPOELING GELINKT AAN HET NITRAATSTIKSTOFRESIDU TE BEPERKEN

Uit een vergelijking van de gemiddelde NO_3^- -N-residu's in het najaar en het % meetpunten van het MestActie-Plan- (MAP) meetnet oppervlaktewater met minstens één overschrijding van de 50 mg NO_3^- - l⁻¹ blijkt dat het aangewezen is dat de gemiddelde NO_3^- -N-residu's over alle landbouwpercelen heen onder de 50 kg NO_3^- -N ha⁻¹ zou moeten blijven (Bijlage - Tabel 3) (D'Haene & Hofman, 2022). In het najaar 2024 werden over alle meetperiodes heen (vanaf 2015) de laagste NO_3^- -N-residu's gemeten (gemiddeld 51 kg NO_3^- -N ha⁻¹) en dit stemde overeen met ruim het laagste % overschrijdingen van de MAP-metpunten oppervlaktewater tijdens het winterjaar 2024-2025, met name 11% (Bijlage - Tabel 2), hetgeen nog duidelijk boven de na te streven 5% overschrijdingen blijft.

Om het risico op NO_3^- -uitspoeling gelinkt aan de NO_3^- -N-residu's te beperken, kunnen er beheermaatregelen genomen worden. Voor teelten met een lange teelt- en N-opnameperiode, is een gefractioneerde bemesting waarbij een (eerder beperkte) basisbemesting wordt toegepast, gevolgd door een tussentijdse (bodem)-monsternamen - minimaal 4 weken na toedienen van de basisbemesting- gekoppeld aan een N-bemestingsadvies een goede beheermaatregel. Op deze wijze worden de N-mineralisatie uit BOS, de N-werking van recent toegediende organische mest en de weersomstandigheden gedeeltelijk meegenomen. Indien doorheen het teeltseizoen opgemerkt wordt dat er een verminderde biomassaproductie is of dat er vooruitzichten zijn voor een lagere biomassaproductie (vb. wanneer aardappelen al in bloei staan voor het sluiten van de rijen), dan is er een grote kans dat de opbrengst niet 100% zal zijn en kan een gereduceerde bijbemesting gepast zijn. Een tweede bemesting (de bijbemesting) moet dus niet enkel aangepast zijn aan het gewas (N-vraag) maar ook aan de omstandigheden (vb. droogte) en het verwachte rendement, en is enkel zinvol wanneer de basisbemesting het N-advies niet voor 100% invult (Nawara *et al.*, 2021; D'Haene & Hofman, 2022).

Het oogsttijdstip in de zomer of in het najaar speelt een belangrijke rol bij het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winter. Vroeg oogstbare hoofdteelten laten toe om een effectief vanggewas in te zaaien dat diep kan wortelen om de NO_3^- -N die diep in het profiel aanwezig is op te nemen. Ook vroeg oogstbare variëteiten van de hoofdteelten laten toe om vroeger een effectiever vanggewas in te zaaien (D'Haene & Hofman, 2022).

Bij teelten met een (relatief) hoog latent mineraal N-residu, dit als gevolg van een beperkte worteldensiteit, een ondiepe beworteling en een vaak relatief hoge tussen rij-afstand, zoals maïs, worden er hoge NO_3^- -N-residu's gemeten. Bij teelten met een hoog latent NO_3^- -N-residu is een bemesting in de rij theoretisch te overwegen om de NO_3^- -N-residu's bij de oogst, vooral in het tussenrijgebied, te beperken (Figuur 10). In de praktijk worden nochtans vaak wisselende resultaten van het effect van rij- en bandbemesting opgetekend (Hofman *et al.*, 1991; De Blauwer *et al.*, 2014; D'Haene *et al.*, 2018a).



Figuur 10: Nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) in het bodemprofiel (0-120 cm) bij verschillende N-bemestingstrappen en op variërende afstanden van de rij bij de oogst van maïs bij breedwerpige of rijbemesting (Bron: Hofman *et al.*, 1991).

Een andere potentiële maatregel om de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij teelten met een grote tussenrij-afstand te verlagen is de onderzaai van een vanggewas gelijktijdig met (= gelijkzaai) of tijdens de hoofdteelt (= doorzaai). Onderzaaien in een hoofdteelt zoals, bv. bij maïs, kan bij hoofdteelten met een late oogst tot een betere ontwikkeling van het vanggewas leiden. De onderzaai van een vanggewas bij maïs heeft in de praktijk echter wisselende resultaten, voornamelijk op percelen met een hoge onkruiddruk (LCV, 2020; Van de Ven *et al.*, 2020). De gelijktijdige zaai van gras en maïs heeft het grootste potentieel om in een daling van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij de oogst te resulteren, maar kan ook leiden tot een opbrengstdaling van 20 tot 30% door een te hoge competitie voor nutriënten, water en licht. Bij een latere inzaai van het gras is het risico op opbrengstdaling beperkter maar zal ook de daling van de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij de oogst lager zijn. Bij een te late zaai van het gras is er risico op een slechte ontwikkeling en veel schade aan het gras bij de oogst van de maïs (Verloop *et al.*, 2006; Latré *et al.*, 2007; LCV, 2020; Van de Ven *et al.*, 2020).

Indien de landbouwer voldoende keuze heeft, is het aangewezen dat hij kiest voor een diepwortelende teelt als bij het zaaien of planten het $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu in de 60-90 cm laag hoog is. Deze $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheid dieper in het bodemprofiel zal immers, indien geen $\text{NO}_3\text{-N}$ -uitspoeling plaatsgrijpt, volledig in het $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu in het najaar opgenomen worden indien geen specifieke maatregelen genomen worden. Binnen teeltrotaties kan het risico op $\text{NO}_3\text{-N}$ -uitspoeling verlaagd worden door na een ondiep wortelend gewas een diep wortelend gewas te telen. Het diepwortelend vanggewas of teelt zal niet enkel $\text{NO}_3\text{-N}$ uit diepere lagen opnemen maar ook vocht zodat de droogtegevoeligheid van dergelijke teeltrotaties lager is (N-(eco)², 2002; Thorup-Kristensen, 2002; Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a; Thorup-Kristensen, 2006; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020; D'Haene & Hofman, 2022). De effectiviteit van het diepwortelend vanggewas of teelt is hoger bij een vroegere zaai (Thorup-Kristensen *et al.*, 2020). Bij de selectie van nieuwe variëteiten wordt de bewortelingsdiepte meegenomen zodat er ook dieper

in het bodemprofiel water en nutriënten opgenomen zullen worden (Maeght *et al.*, 2013; White *et al.*, 2015; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020; Odone *et al.*, 2024).

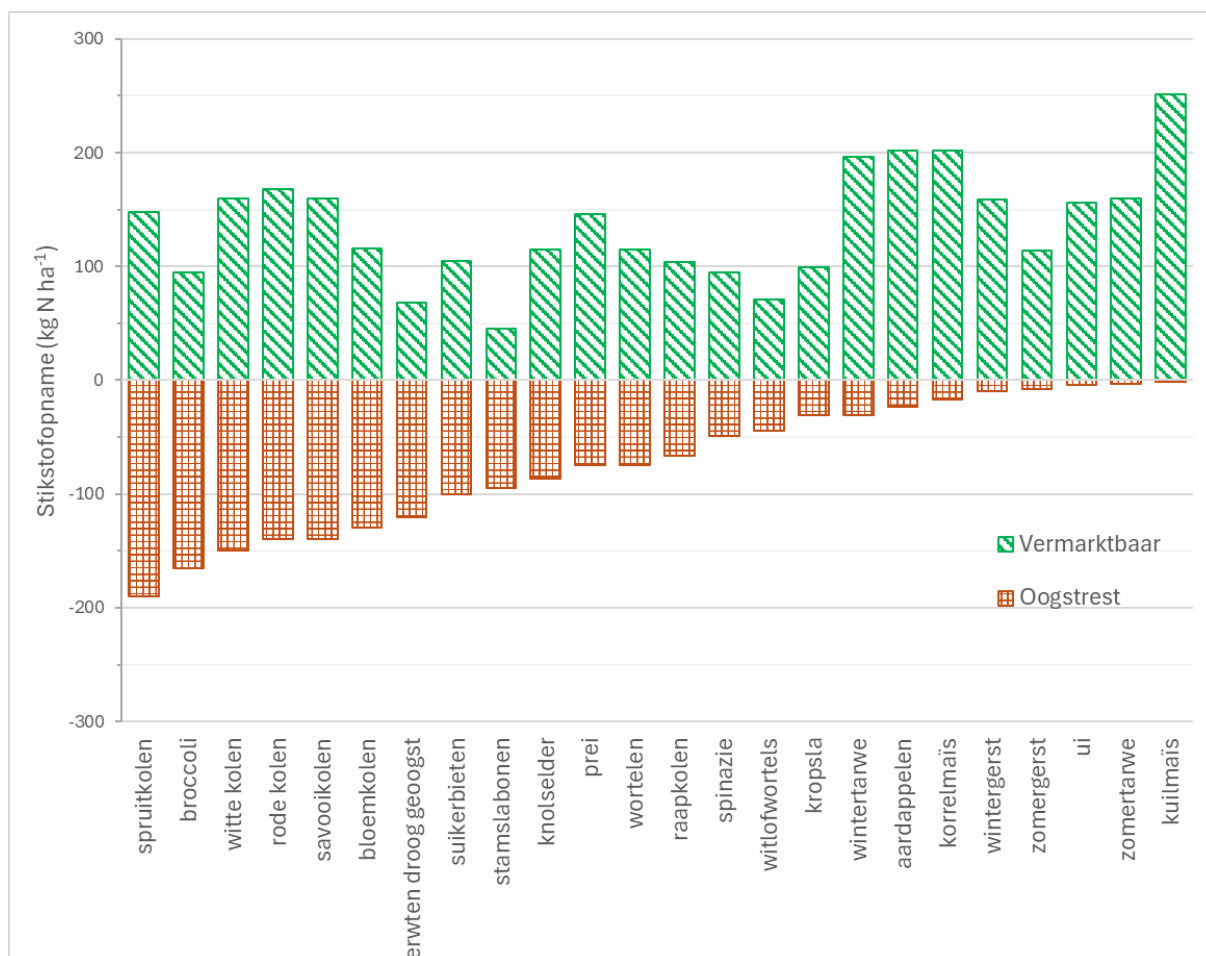
4 OOGSTRESTEIGENSCHAPPEN

4.1 INLEIDING

In de zomer en vroege herfst komt 60 tot 80 % van de N aanwezig in oogstresten van groenten de eerste weken na inwerking vrij (De Neve & Hofman, 1996). Rekening houdend met een N-vrijstelling van 60-80% uit de oogstresten en denitrificatieverliezen van 25-30% geraakt 35-50% van de N-inhoud van de oogstresten in het NO_3^- -N-residu (D'Haene & Hofman, 2023). De N die in het najaar uit de oogstresten wordt vrijgesteld, kan tijdens de winter uitspoelen en dus in het grond- en oppervlaktewater terechtkomen voordat een volggewas het benut (de Ruijter & Smit, 2007; De Neve, 2017). De N-vrijstelling in het najaar hangt niet alleen af van de N-hoeveelheid maar ook van de lignine-en cellulose-inhoud en van de C:N-verhouding in de oogstresten. Echter N die uit de oogstresten wordt vrijgesteld is meestal in de bovenste bodemlagen aanwezig, terwijl de minerale N, die uit het voorgaande jaar in de bodem was achtergebleven, meestal in diepere bodemlagen aangetroffen wordt. Zodoende is het risico op uitspoelen lager bij de N uit de oogstresten dan bij vergelijkbare minerale N-residu's (Thorup-Kristensen, 2002).

4.2 STIKSTOFHOEVEELHEDEN IN OOGSTRESTEN

In Figuur 11 wordt een samenvatting van de grootteorde van de N-inhoud van een aantal oogstresten en het vermarktbare gedeelte gegeven (De Neve *et al.*, 2022). Groenten, zoals allerlei koolsoorten, laten N-rijke oogstresten op het perceel achter die na de oogst kunnen mineraliseren met een hoge N-vrijstelling ($>100 \text{ kg N ha}^{-1}$) tot gevolg (Hofman *et al.*, 1984b; Chaves *et al.*, 2007; Agneessens *et al.*, 2014a). De N-hoeveelheid in de oogstresten wordt gebruikt om N-efficiënte variëteiten te selecteren (Lammerts van Bueren & Struik, 2017).



Figuur 11: Gemiddelde stikstof- (N) hoeveelheden in de vermarktbaar producten en de oogstresten (kg N ha⁻¹) bij enkele groente-, akkerbouw- en voederteelten (Gebaseerd op De Neve *et al.*, 2022).

4.3 STIKSTOFBENUTTINGSINDEX

De N-benuttingsindex (NBI) is de verhouding van de totale N-opname t.o.v. de totale beschikbare N-hoeveelheid (= minerale N in de bodem bij de start + N vrijgesteld via mineralisatie + toegediende werkzame N) (Smit, 1994). Smit (1994) deelde de teelten in op basis van enerzijds de N-inhoud in de oogstresten en anderzijds de benutting van de beschikbare N-hoeveelheid (Tabel 1). Tabel 1 toont dat sommige teelten een hoge N-efficiëntie hebben samengaan met een lage N-hoeveelheid in de oogstresten. Linksonder in Tabel 1 staan teelten die een hoge N-efficiëntie (een leeg profiel) combineren met weinig N in de oogstresten. Vanuit milieukundig oogpunt gezien zijn dit de ideale teelten, zoals vb. wintertarwe. Teelten die een hoge N-efficiëntie hebben maar waarbij veel van de opgenomen N op het perceel achterblijft, zijn minder ideaal (Rechtsonder in Tabel 1: rode kool). In het bovenste gedeelte van de tabel komen teelten voor die, zelfs bij een adviesbemesting, de beschikbare N slecht benutten. Het is opvallend dat er relatief veel teelten onder vallen die geoogst worden op het moment dat de

1. teelten met een hoge N-benutting en grote N-hoeveelheden in de oogstresten (vb. rode kool);
2. teelten met een hoge N-benutting en geringe N-hoeveelheden in de oogstresten (vb. wintertarwe). Vanuit milieukundig oogpunt gezien zijn dit de ideale teelten;
3. teelten met een lage N-benutting, zelfs bij een adviesbemesting, doordat de oogst plaatsvindt op het moment dat het gewas erg snel groeit (vb. sla);
4. teelten met een lage N-benutting veroorzaakt door andere factoren, waaronder mogelijk de suboptimale beworteling (vb. prei).

Stikstofbenuttingsindex (NBI)	N-inhoud van oogstresten (kg N ha ⁻¹)			
	0-50	50-100	100-150	> 150
< 0.4	Radijs			
0.4-0.5	Sla Ui Spinazie Schorseneer			
0.5-0.6	Koolrabi Aardappelen	Knolselder Koolraap Prei	Bloemkool	Broccoli
0.6-0.7	Maïs	Boerenkool Chinese kool Ijsbergsla Stamslaboon		
0.7-0.8	Wortelen Witloof Andijvie		Witte kool Spruitkool Suikerbieten	
>0.8	Wintertarwe Busselwortelen	Rode biet	Knolvenkel	Rode kool Doperwten

De kwaliteit van de oogstresten; gerelateerd aan de lignine-en cellulose-inhoud en C:N-verhouding bepaalt of micro-organismen N immobiliseren of vrijstellen in de bodem. Bij hoge C:N-verhoudingen verlaagt bij de start van de afbraak van oogstresten de minerale N-hoeveelheid in de bodem omdat de vraag van het microbieel leven naar N groot is in verhouding met de beschikbare C. Zodoende vindt er immobilisatie plaats wanneer micro-organismen pas gemineraliseerde N en anorganische N uit de bodemoplossing opnemen. Vaak wordt een fase van N-immobilisatie gevolgd door een fase van N-mineralisatie. Ook de C:N-verhouding van het microbieel leven is van belang. De C:N-verhouding van bacteriën varieert van 5 tot 6 en kan bij schimmels oplopen tot 15.

Aangezien schimmelbiomassa meer C per eenheid N bevat dan microbiële biomassa zal de activiteit van schimmels sneller in N-mineralisatie resulteren (Velthof *et al.*, 2000; Luce *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2014).

4.5 BEHEERMAATREGELEN OM HET RISICO OP NITRAATUITSPOELING GELINKT AAN OOGSTRESTEIGENSCHAPPEN TE BEPERKEN

Het belang van beheermaatregelen bij hoge N-hoeveelheden in de oogstresten is afhankelijk van het oogsttijdstip. Bij een vroege oogst vindt de hoogste N-vrijstelling uit de oogstresten plaats maar NO_3^- -uitspoeling kan vermeden worden door de inzaai van een vanggewas of volgteelt. Aangezien de N zich bovenaan het bodemprofiel bevindt, kunnen ook ondiep wortelende vanggewassen de vrijgekomen N opnemen.

Indien er geen vanggewas meer kan ingezaaid worden, kan het verwijderen van N-rijke oogstresten zowel het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winter als de mogelijkheid tot het optreden van denitrificatieverliezen verlagen (Velthof & Kuikman, 2000; Zwart *et al.*, 2004; Zemek *et al.*, 2020a; Nawara *et al.*, 2021). Er dient wel nog gezocht te worden naar praktijken om deze oogstresten van de percelen te verwijderen en te valoriseren (Agneessens *et al.*, 2014b). Een alternatieve beheermaatregel die de N-verliezen uit N-rijke oogstresten kan verlagen, is het laten doorgroeien van oogstresten met onbeschadigde beworteling. Indien het oogsten van de groenteteelt op zodanige wijze plaatsvindt dat het wortelstelsel van de oogstresten nog intact blijft en veel bladbiomassa aanwezig is (vb. kolen voor industrie), kunnen deze immers nog verder N opnemen en zijn de N-verliezen vergelijkbaar met deze na het afvoeren van de oogstresten. De gevolgen voor ziekteverspreiding en mogelijke omgevingshinder van het intact laten van oogstresten van groenten is echter nog weinig onderzocht (Neeteson & Whitmore, 1997; Agneessens *et al.*, 2014b; D'Haene & Hofman, 2022).

Bij een zeer late oogst (vanaf begin november) zijn de omstandigheden voor N-vrijstelling uit de oogstresten ongunstig zodat er geen nood is aan beheermaatregelen. Dit is grotendeels het geval bij spruitkolen.

5 TEELTGROEPEN VAN HET MESTBELEID

5.1 INLEIDING

Voor de hoofdteelten met de grootste arealen binnen de verschillende teeltgroepen van het mestbeleid werd in de literatuur gezocht naar informatie over de beworteling, de NO_3^- -N-residu's bij de oogst en in de sperperiode en de oogstreteigenschappen om te evalueren of ze nitraat- of niet-nitraatgevoelig zijn. Voor hoofdteelten met een klein areaal ontbreekt de noodzakelijke informatie om ze te kunnen beoordelen.

Bij de evaluatie van de verschillende teelt(groep)en wordt rekening gehouden met het effect van de huidige N-bemestingsstrategieën en de geteelde variëteiten via de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's gemeten op praktijkpercelen in de sperperiode. Om een teelt(groep) te kunnen indelen in al dan niet niet-nitraatgevoelig, worden in de bijlage

(Tabel 3) de gemiddelde NO_3^- -N-residu's, gemeten in de sperperiode, gegeven en dit over de meetperiode 2015-2024.

Bij de evaluatie dient het oogsttijdstip in de zomer of in het najaar meegenomen te worden aangezien deze de mogelijkheid van de inzaai van vanggewassen en de N-vrijstelling uit de oogstresten en BOS en zodoende het risico op NO₃⁻-uitspoeling tijdens de winter beïnvloedt. Bij suikerbieten en een aantal groenten loopt de oogstperiode over meerdere maanden. Voor de beoordeling werd rekening gehouden met het tijdstip waarop de meeste percelen met een specifieke hoofdteelt geoogst worden. Echter een perceel, ongeacht het hoofdteelttype, waarbij de oogst vroeg genoeg plaatsvindt om een effectief vanggewas in te zaaien, is een perceel met een zeer laag risico op NO₃⁻-uitspoeling.

Het is belangrijk dat bij een aangepast beheer en variëteiten in de toekomst de verschillende teelt(groep)en geherevalueerd worden om het risico op NO₃-uitspoeling in te schatten.

5.2 GRASLAND

De beworteling van de meerjarige teelt grasland is intens in de bovenste 60 cm van het bodemprofiel en de N-opname door gras vindt dan ook hoofdzakelijk plaats in deze bovenste 60 cm (Schenk & Jackson 2002; Thorup-Kristensen *et al.*, 2020). Ondanks de daling van beworteling met de diepte worden zowel bij gemaaid als begraaasd grasland wortels gemeten tot 90 cm (Figuur 7) (Cougnon *et al.*, 2013 & 2017). De diepte van de beworteling hangt af van de intensiteit van het beheer. Bij zeer intensief of zeer extensief beheer is de bewortelingsdiepte van grasland lager (Luske *et al.*, 2012). Het minder droogtegevoelige rietzwenkgras heeft meer wortels dieper in het profiel dan raaigras (Figuur 7) (Luske *et al.*, 2012; Cougnon *et al.*, 2013 & 2017).

In de sperperiode worden bij grasland lage $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's gemeten ($47 \pm 11 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie) in 2015-2024 - zie ook bijlage Tabel 3) (Anonymus, 2017 & 2025). De lage $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's bij (gemaaid) grasland zijn te verklaren door de hoge N-opname van grasland (tot maximaal gemiddeld 420 kg N ha^{-1}) en omdat gras tot laat in het najaar N kan opnemen (D'Haene *et al.*, 2014). Daarenboven zijn de oogstresten verwaarloosbaar.

Deze lage NO_3^- -N-residu's in de sperperiode zijn grotendeels ook geldig voor een mengteelt grasklaver. Het praktijkonderzoek (2014-2017) van De Vlieghe *et al.* (2018) wijst uit dat de aanwezigheid van meerjarige vlinderbloemigen een beperkt effect op de gemeten NO_3^- -N-residu's (8 tot 20 kg NO_3^- -N ha^{-1} gemeten in 0-90 cm in de sperperiode) heeft (Figuur 12). Dit NO_3^- -N-residu was in slechts 2 jaren op 1 perceel significant hoger voor gemaaid grasklaver (bemesting van 200 kg werkzame N ha^{-1}) dan voor gras (bemesting van 300 kg werkzame N ha^{-1}) (De Vlieghe *et al.*, 2018; Nawara *et al.*, 2021). Recent onderzoek uit Denemarken bevestigt dat het risico op NO_3^- -uitspoeling bij grasklaverpercelen laag is bij een aangepaste N-bemestingshoeveelheid, lager dan 200 kg werkzame N ha^{-1} (Fontaine *et al.*, 2024). In het derogatiemonitoringsnetwerk 2016-2019 werden er geen verschillen in NO_3^- -N-residu's tussen de gras- en grasklaverpercelen gemeten (Odeurs *et al.*, 2020; Nawara *et al.*, 2021). Dankzij de intense en lange N-opname en verwaarloosbare oogstressen zijn gras- en grasklaverteelten niet-nitraatgevoelige teelten.



Figuur 12: Gemiddeld nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) ($\pm$ standaardfout) in het najaar (1 oktober-15 november) in het profiel 0-90 cm in een proefperceel in Nieuwenhove (boven) en Moortsele (beneden). Significante verschillen tussen gras- en grasklaverpercelen worden aangeduid met * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) en *** ($p < 0,001$) (Bron: De Vlieghe *et al.*, 2018).

5.3 WINTERTARWE EN ANDERE GRANEN

Bij winter- en zomergranen wordt er tot diep in het bodemprofiel N opgenomen (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a) dankzij de beworteling tot meer dan 1 m diep (Figuur 6) (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2009; White *et al.*, 2015; Fan *et al.*, 2016; Heinemann *et al.*, 2025). Bij de oogst van wintergranen in juli - augustus worden er dan ook lage $\text{NO}_3\text{-N}$ -hoeveelheden in het bodemprofiel gemeten (D'Haene *et al.*, 2014). Door de kortere teeltduur van zomergranen is de beworteling ondieper dan bij wintergranen (Thorup-Kristensen *et al.*, 2009), maar desondanks blijven de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's laag. Het eventueel niet afvoeren en inwerken van het stro legt tijdelijk minerale N vast waardoor de $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's in de sperperiode nog verlagen (Nicholson *et al.*, 1997; Silgram & Chambers, 2002; Ellenkamp, 2017; Vanrespaille *et al.*, 2022).

Na de oogst kan er nog $30\text{-}60 \text{ kg N ha}^{-1}$ vrijkomen door mineralisatie uit het BOS maar deze vrijgekomen N kan door een tijdig ingezaaid vanggewas opgenomen worden. Bij een volgteelt wintergranen, ingezaaid voor eind oktober, kan deze laat gemineraliseerde N nog gedeeltelijk opgenomen worden (D'Haene & Hofman, 2023). Theoretisch kan men dan ook verwachten dat de gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's in de sperperiode minder dan 50

- droge zomer en najaar (voor de jaren 2016, 2018, 2019, 2020 en 2022), hetgeen leidt tot wat hogere NO_3^- -residu's bij de oogst en/of een lagere N-opname door het vanggewas;
- een mogelijke N-bemesting na de oogst van het vanggewas die hoger is dan hetgeen wettelijk is toegelaten;
- late inzaai van een volggewas waarbij de N-opname voor de winter miniem is;
- relatief vroege bodemonmonstername waarbij de latere N-opname door het volggewas niet in rekening kan gebracht worden;
- het braak laten liggen van een aantal percelen.

5.4 SUIKERBIETEN

Het probleem bij suikerbieten is dat bij de gangbare praktijk de bietenbladeren, relatief rijk aan N, bij de oogst op het veld achterblijven en ingewerkt worden met als gevolg een geleidelijke N-vrijstelling door mineralisatie. In de hiervoor vermelde gemiddelde $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's zit reeds een (klein) gedeelte van gemineraliseerde N uit suikerbietenbladeren maar deze zal zeker nog toenemen naar het einde van de sperperiode. Tot een aantal jaren geleden werd rekening gehouden met een totale N-inhoud in bietenbladeren + koppen van 150 kg N ha^{-1} . Een literatuurstudie van Postma & van Dam (2025) heeft de N-inhoud van het suikerbietenloof herzien. Op basis van enkele recente Nederlandse proeven is de gemiddelde N-inhoud in het suikerbietenloof tot 90 kg N ha^{-1} gedaald. Omdat de meeste proeven teelten zijn uit 2020 met een zeer lage opbrengst wat waarschijnlijk de lage N-inhoud van het suikerbietenloof mee verklaard, besloten de auteurs om de N-inhoud van bietenloof niet lager in te schatten dan 110 kg N ha^{-1} . Deze beslissing steunt op onderzoek in Duitsland 2010-2013 dat een N-inhoud van bietenoogstresten van 114 kg N ha^{-1} aangeeft (Bürcky *et al.*, 2017). Metingen van de N-concentratie in deze publicatie geven ook een verlaging van de N-concentratie in de bieten en het loof (respectievelijk 0.5 en 1.8% N). De lagere N-hoeveelheid van suikerbietenoogstresten wordt verklaard door de aangepaste ontkoppingsmethode (minder biet aan het suikerbietenloof) en een daling van de loofhoeveelheid (Postma & van Dam, 2025). Onderzoek heeft aangetoond dat de nieuwe suikerbietvariëteiten minder loof hebben dan oudere

variëteiten (Hoffmann & Kenter, 2018). Ook in Vlaanderen wordt er een daling van het suikerbietenloof vastgesteld (Bron: KBIVB).

De N-vrijstelling uit het suikerbietenloof hangt af van het oogsttijdstip van de suikerbieten. Oogst van bieten op 19 september t.o.v. 29 oktober leidde bij het onmiddellijk inwerken van het suikerbietenloof tot 35 kg extra NO_3^- -N ha^{-1} in de bodem in november 2012. In 2013 resulteerde een vroege oogst tot 22-23 kg extra NO_3^- -N ha^{-1} in de bodem in november (KBIVB, 2013; Legrand *et al.*, 2014). Deze extra N bovenaan de bodem kan door de volgteelt granen opgenomen worden, wat in Vlaanderen een gangbare praktijk is. De N-vrijstelling uit de oogstresten vindt trager plaats bij het later inwerken in de bodem (IRS, 2025). Bij het inwerken vergroot het contactoppervlak tussen de oogstresten en micro-organismen en wordt de afbraak versneld (Aulakh *et al.*, 1991). Het inwerken van de oogstresten vindt daarom bij voorkeur kort voor de inzaai van de volgteelt plaats. Bij een late oogst is de N-vrijstelling uit de oogstresten meer geleidelijk omwille van de lagere temperaturen.

Omwille van de N-uitputting van de bodem tot zeker 90 cm diepte, de geringere N-inhoud in de oogstresten, waarbij de N-vrijstelling bovenaan het bodemprofiel plaatsgrijpt, kunnen suikerbieten bij de niet-nitraatgevoelige teelten ingedeeld blijven. Bij vroege oogsten is het aangewezen om het loof niet onmiddellijk in te werken.

5.5 VOEDERBIETEN

Voederbieten beschikken over een diepe penwortel die de N en het water ook uit de diepere lagen benut en het ganse groeiseizoen, tot laat in het najaar, N blijft opnemen (De Vlieghe & De Campeneere, 2008; Chakwizira *et al.*, 2014b). De teelt van voederbieten resulteert zodoende in lage NO_3^- -N-residu's bij de oogst (Schröder & ten Holte, 1996; Chakwizira *et al.*, 2014a). Tijdens de teelt vindt er een herverdeling van N van het loof naar de bieten plaats (Chakwizira *et al.*, 2014a). De N-inhoud van het voederbietenloof is lager dan bij suikerbietenloof (Chakwizira *et al.*, 2014a; Laufer *et al.*, 2015) en voederbieten worden laat geoogst zodat voederbieten bij de niet-nitraatgevoelige teelten ingedeeld kunnen worden.

5.6 AARDAPPELEN

De beworteling van aardappelen bevindt zich vooral in de bovenste 30-60 cm van het bodemprofiel (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2007; Lammerts van Bueren & Struik, 2017; Zarzyńska *et al.*, 2017). De bewortelingsdiepte is hoger bij variëteiten met een lange teeltduur en hogere opbrengst (Zarzyńska *et al.*, 2017; Popovic *et al.*, 2025). Aardappelen worden op een relatief grote tussen-rijafstand geplant. Het aardappelloof sterft af of wordt een paar weken voor de oogst vernietigd waardoor reeds N uit de afgestorven stengels en bladeren voor de oogst vrijgesteld wordt en het NO_3^- -N-residu in het bodemprofiel tot bewortelingsdiepte (0-60 cm) bij de oogst hoog is. In tegenstelling tot een aantal andere gewassen reageren aardappelen naar opbrengst toe nog positief op een beperkte overbemesting (D'Haene *et al.*, 2014). Deze verschillende oorzaken verklaren waarom er bij aardappelen in de sperperiode hoge NO_3^- -N-residu's worden gemeten (121 ± 23 kg NO_3^- -N ha^{-1} in 2015-2024 - zie ook bijlage Tabel 3) (Anonymus, 2017 & 2025). Aardappelen worden vaak te laat geoogst om een vanggewas in

te zaaien dat de hoge $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's effectief zou kunnen opnemen, zodat aardappelen als nitraatgevoelige teelten beschouwd kunnen worden.

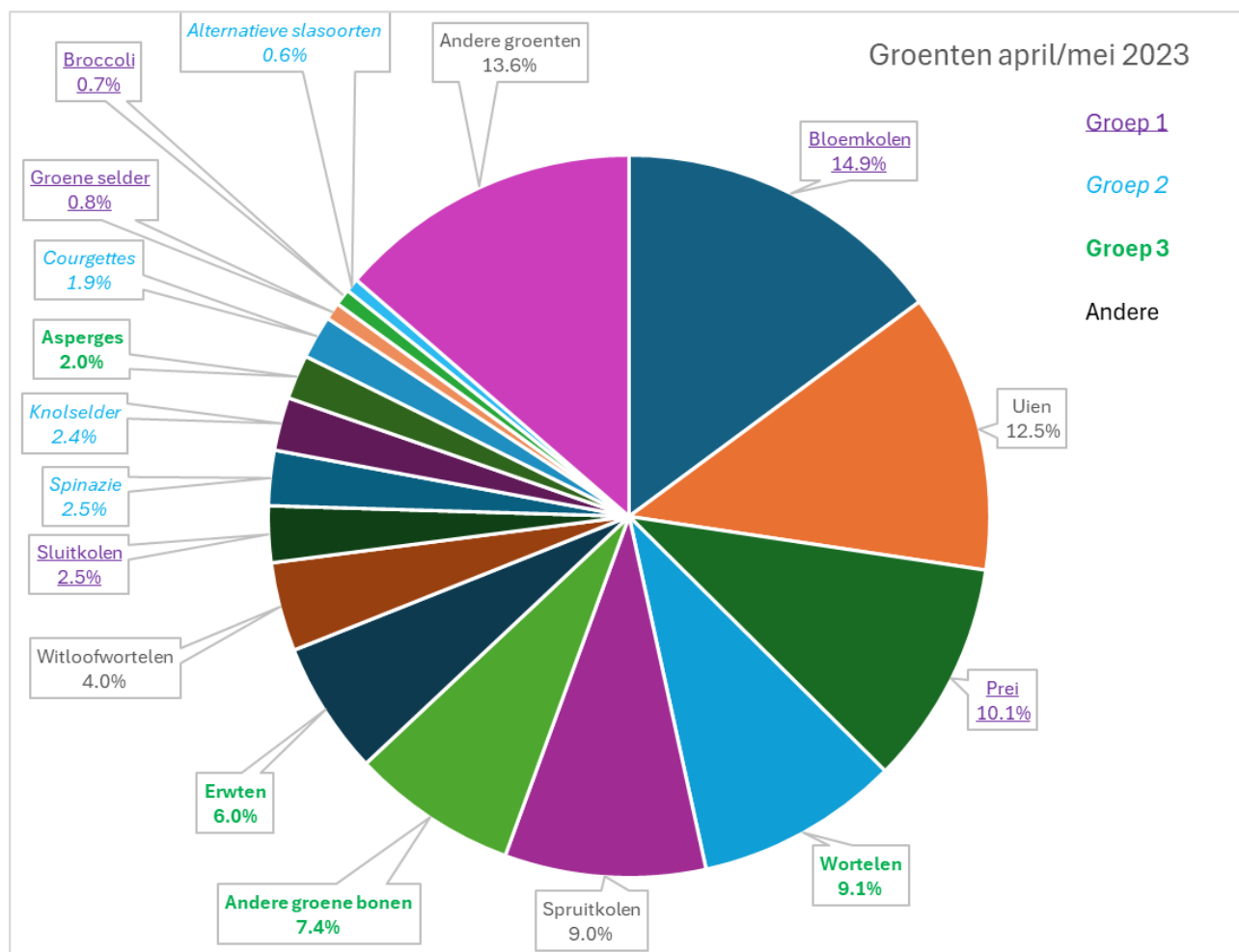
5.7 MAÏS

Sommige auteurs besluiten dat maïs diep kan wortelen en N uit de diepe bodemlagen kan opnemen (Canadell *et al.*, 1996; Fan *et al.*, 2016), terwijl andere auteurs een eerder ondiepe beworteling van maïs vaststellen (Figuur 1) (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004a). Deze tegenstelling is mogelijk te verklaren door verschillen in variëteit en klimaat, maar ook de bodembewerking en de bodemkwaliteit hebben een belangrijke invloed op de bewortelingsdiepte van maïs. De maïswortels bevinden zich vooral bovenaan het profiel (0-20 cm) dicht bij de rij (tot 10 cm) (Wang *et al.*, 2015) wat het hogere NO_3^- -N-residu tussen de rij dan in de rij verklaart bij een hoge N-bemestingshoeveelheid (Figuur 10) (Hofman *et al.*, 1991). Vooral bij een monocultuur maïs werden vroeger vaak grote hoeveelheden mengmest toegepast waardoor deze bodems nog een hoge N-mineralisatie vertonen. Bij het bepalen van N-bemestingshoeveelheid wordt hier soms onvoldoende rekening mee gehouden. De oogstperiode van maïs is in de meeste jaren te laat om een effectief vanggewas in te zaaien. De NO_3^- -N-residu's van maïs gemeten in de sperperiode zijn zodoende eerder hoog ($81 \pm 19 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ in 2015-2024 - zie ook bijlage Tabel 3) (Anonymus, 2017 & 2025), zodat maïs het best bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld wordt. Indien men er zou in slagen om de gemiddelde nitraatstikstofresidu's te reduceren tot ongeveer $50 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1}$ kan overwogen worden om deze indeling te wijzigen.

5.8 GROENTEN

5.8.1 Inleiding

Er is een grote variatie aan groenten die in Vlaanderen geteeld worden. In het kader van het mestbeleid zijn de meeste groenten onderverdeeld in groenten groep 1, 2 en 3. De $\text{NO}_3\text{-N}$ -residu's van deze groenten, gemeten in de sperperiode, zijn hoog ($102 \pm 18 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ in 2015-2024) (Anonymus, 2025). Per groep werden de groenten met het grootste areaal geëvalueerd (Figuur 13).

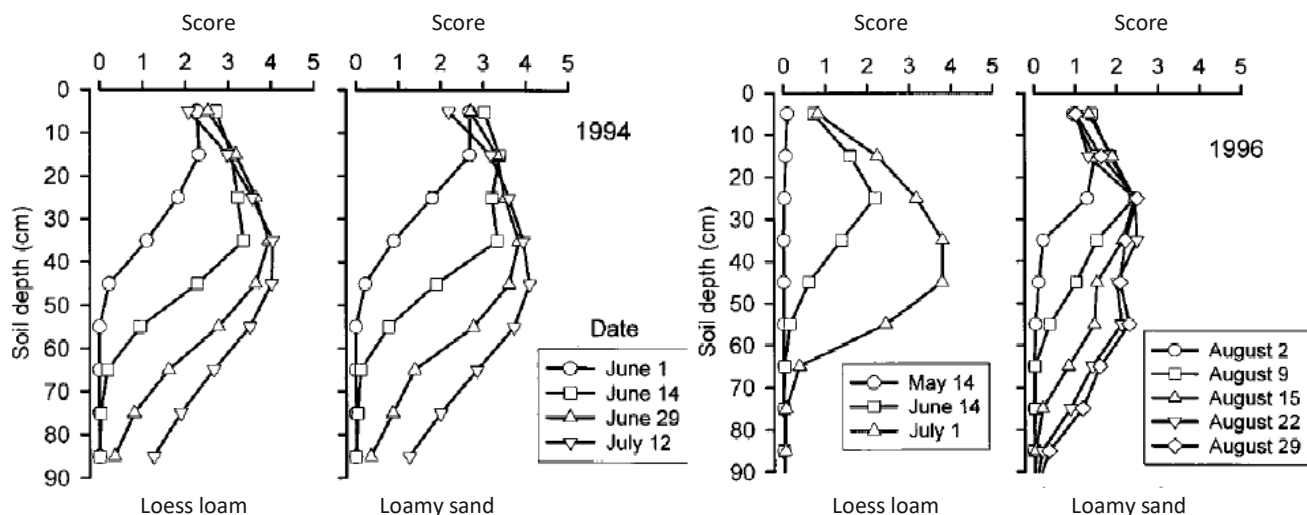


Figuur 13: Areaal van de belangrijkste groenten aanwezig op de Vlaamse percelen in april/mei 2023. De indeling bij groenten **groep 1**, **groep 2**, **groep 3** of een andere teeltgroep in het kader van het mestbeleid wordt gegeven (Bron: Statbel, 2024).

5.8.2 Groenten groep 1

Bij zowel *bloemkool* (Figuur 14) (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2009; Kage *et al.*, 2000) als *sluitkool* (Figuur 1: witte kool) (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b; Lammerts van Bueren & Struik, 2017; Zemek *et al.*, 2020a & b) werden er tot 1 m diep wortels gemeten. De N-opnamediepte van bloemkool bevindt zich nochtans hoofdzakelijk in de 0-60 cm bodemlaag, terwijl sluitkool N tot 90 cm diep opneemt (Demyttenaere *et al.*, 1989). De afstand in de rij en tussen de rij bij bloem- en sluitkolen is groot. Bij sluitkolen werden er zowel in als tussen de rij veel wortels vastgesteld (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b). Door Kage *et al.* (2000) werd er in 4 geïrrigeerde Duits bloemkoolpercelen -met uitzondering van de start van de teelt- geen verschil tussen beworteling gemeten in en tussen de rij (rijafstand 60 cm en plantafstand 50 cm in de rij - N-bemestingshoeveelheid + minerale N (0-60 cm) voor het planten= 300 kg N ha⁻¹). Hofman *et al.* (1991) maten bij

bloemkool bij een N-bemesting van 200 kg N ha⁻¹ echter hogere NO₃⁻-N-residu's tussen de rij (rijafstand 75 cm) dan in de rij (Figuur 5).



Figuur 14: Scores van wortellengtedichtheid³ voor bloemkool (0-90 cm) op 4 locaties in Duitsland (Plantdata: loess loam op 07/04/1994 en 09/04/1996 - loamy sand op 31/03/1994 en 27/06/1996) (Meetmethode: mini-rhizotron) (Bron: Kage *et al.*, 2000).

De gemeten NO₃⁻-N-residu's bij bloemkool in de sperperiode zijn vaak hoog (gemiddeld NO₃⁻-N-residu's variërend van 77 tot 186 kg in 2007-2016) (Anonymus, 2017). De korte teeltperiode van bloemkool draagt bij aan de hoge NO₃⁻-N-residu's. De bloemkoolvariëteit Giewont, gekend voor zijn stevige bolronde kool en met een zeer hoog opbrengstpotentieel, neemt echter op het einde van de teelt nog veel N op en behaalt lage NO₃⁻-N-residu's bij de oogst. Zowel in een proefperceel in 2020 als 2021 waren de gemeten NO₃⁻-N-residu's bij de oogst lager dan 40 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ (Lauwers, 2021; Anonymus, 2022). Op praktijkpercelen worden echter in de sperperiode op bloemkoolpercelen gemiddeld nog hoge NO₃⁻-N-residu's gemeten (97±23 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ in 2015-2024) (Brouckaert, 2024; Anonymus, 2025). Bij sluitkool daarentegen worden bij de oogst lage NO₃⁻-N-residu's (10-45 kg NO₃⁻-N ha⁻¹) gemeten (o.a. PCG, 2012; Inagro, 2016a & b & 2023a, b & c).

De oogstresten van bloem- en sluitkool hebben een zeer hoge N-inhoud (De Neve *et al.*, 2022). De oogstperiode van kolen varieert van de zomer tot de late herfst. Bij een vroege koolteelt kan er nog een effectief vanggewas ingezaaid worden, maar na de oogst van een herfstteelt (vb. de oogst van een late industriebloemkoolteelt loopt van half september tot eind november (Winnepeninckx *et al.*, 2016)) is er geen mogelijkheid meer om een effectief vanggewas in te zaaien en is er een risico op hoge NO₃⁻-uitspoeling zodat bloem- en sluitkool het best bij de nitraatgevoelige teelten ondergebracht worden.

³ Score voor wortellengtedichtheid: visuele score op basis van aantal en dikte van de wortels. De score bovenaan het bodemprofiel is waarschijnlijk een onderschatting van de aanwezige wortels. Mogelijke oorzaken zijn bodemverdichting of uitdroging van de bodem (Bron: Kage *et al.*, 2000).

Figuur 5 en Figuur 8 tonen dat de meeste wortels van *prei* zich in de bovenste 40-50 cm bevinden. Prei is een ondiep wortelende teelt dat beperkt meer wortels in dan tussen de rijen heeft (Smit, 1994; Thorup-Kristensen, 2006; Kristensen & Thorup-Kristensen, 2007; Zemek *et al.*, 2020a & b). De N-opname van prei vindt grotendeels in de 0-60 cm bodemlaag plaats (Demyttenaere *et al.*, 1989). De N-inhoud van de oogstresten is beperkt (De Neve *et al.*, 2022). Ondanks het feit dat D’Haene *et al.* (2018b) in de 0-60 cm een laag latent NO_3^- -N-residu’s (27 kg NO_3^- -N ha⁻¹) vaststelden, worden er op praktijkpercelen hoge NO_3^- -N-residu’s gemeten (in 2015-2024 127±29 kg NO_3^- -N ha⁻¹) (Anonymus, 2017; Brouckaert, 2024; Anonymus, 2025) zodat er op praktijkpercelen een hoog risico op NO_3^- -uitspoeling is en prei het best bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld wordt.

5.8.3 Groenten groep 2

Zemek *et al.* (2020a & b) vonden in hun literatuurstudie een grote range aan maximale bewortelingsdieptes van de penwortel van spinazie. De meeste wortels van spinazie bevinden zich echter in de bovenste 30 cm (de Kraker *et al.*, 1991) zodat er bij najaarspinazie een hoog risico op NO₃⁻-uitspoeling is, aangezien na oogst in september en oktober geen effectief vanggewas ingezaaid kan worden. Najaarsspinazie is zodoende een nitraatgevoelige teelt. De meeste percelen met industriespinazie worden echter vroeg genoeg (voor eind augustus) geoogst voor de inzaai van een vanggewas of volgteelt.

De meeste wortels van *knolselder* bevinden zich in de bovenste 60 cm. Afhankelijk van de teeltomstandigheden zijn er evenveel of minder wortels tussen de rij dan in de rij aanwezig (Christiansen *et al.*, 2006). De tussenrijafstand en afstand in de rij van knolselder is groot. Proefvelddata tonen dat de teelt van knolselder in lage NO₃-N-residu's bij de oogst kan resulteren, maar bij percelen met een hoog BOS-gehalte kan de N-vrijstelling hoger zijn dan de N-vraag (D'Haene *et al.*, 2023). Bij overbemesting is de N-inhoud van het knolselderblad hoog. Op praktijkpercelen worden er in de sperperiode hoge NO₃-N-residu's gemeten. De biomassahoeveelheid van de knol neemt in oktober en november nog toe (Inagro, 2021; D'Haene *et al.*, 2023), maar het is onduidelijk of de N-toename in de knollen plaatsvindt via herverdeling uit het blad of via N-opname uit de bodem zodat knolselder het best bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld wordt.

5.8.4 Groenten groep 3

Sommige onderzoeken duiden op een maximale bewortelingsdiepte van erwten tot 60-70 cm diep (Kristensen & Thorup-Kristensen, 2009; Fan et al., 2016), maar andere onderzoeken duiden op een diepere maximale bewortelingsdiepte (Zemek et al., 2020a & b). Door erwten wordt echter overwegend N uit de 0-60 cm bodemlaag opgenomen (Demyttenaere *et al.*, 1989). De N-inhoud van de oogstresten van erwten is hoog, maar dankzij de vroege oogst in juni - augustus kan er nog een effectief vanggewas ingezaaid worden, zodat erwten bij de niet-nitraatgevoelige teelten ingedeeld kunnen worden.

Bij groene bonen werd er een diepe beworteling vastgesteld (Zemek *et al.*, 2020a & b), maar de N-opnamediepte beperkt zich vooral tot de 0-60 cm bodemlaag (Demyttenaere *et al.*, 1989). De N-inhoud van de oogstresten bonen is hoog maar bij een vroege oogst in augustus kan de inzaai van een vanggewas resulteren in lage NO_3^- -

N-residu's tijdens de herfst en de winter (Ralston *et al.*, 2024). Echter vele bonenpercelen worden pas in de herfst geoogst, zodat bonen het best bij de nitraatgevoelige teelten ondergebracht worden.

De N-opnamediepte van wortelen is hoofdzakelijk gelimiteerd tot de 0-60 cm bodemlaag (Demyttenaere *et al.*, 1989). De bewortelingsintensiteit van wortelen is lager tussen de rijen dan in de rijen (Figuur 1) (Thorup-Kristensen & van den Boogaard, 1999; Kristensen & Thorup-Kristensen, 2004b). Industriewortelen worden geoogst in het najaar of zelfs na nieuwjaar, zodat er geen vanggewas meer ingezaaid kan worden. In de sperperiode worden er op praktijkpercelen hogere NO_3^- -N-residu's dan het gemiddelde gemeten (Anonymus, 2017) zodat er op praktijkpercelen een hoog risico op NO_3^- -uitspoeling is en wortelen het best bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld wordt.

5.9 SPRUITKOOL

De niet-nitraatgevoelige spruitkoolteelt is een diepwortelende teelt dat zowel in als tussen de rijen een hoge wortellengtedichtheid heeft (Figuur 5 - Figuur 8) (Smit, 1994; Zemek *et al.*, 2020a & b). Spruitkool heeft een hoge N-opname dat bij late teelten en gunstige weersomstandigheden nog in oktober en november kan plaatsvinden (Neuvel, 1990; D'Haene *et al.*, 2018b). De N-inhoud van de oogstresten van spruitkool is hoog (De Neve *et al.*, 2022). Bij de oogst en in de sperperiode worden bij spruitkoolpercelen in het bodemprofiel lage NO_3^- -N-residu's gemeten (D'Haene *et al.*, 2018b; Anonymus, 2017 & 2025). Door de vaak late oogst is de N-vrijstelling uit de spruitkooloogstresten voor de winter beperkt.

5.10 SIERTEELT EN BOOMKWEEK

De vollegrondssierteelt en boomkweek omvatten een uitgebreid assortiment van gewassen. De teelten hebben een erg variabele N-opnamehoeveelheid (25-300 kg N ha⁻¹). Hoe groter de groei in biomassa, hoe meer N er wordt opgenomen. Bij meerjarige gewassen is er in het eerste jaar meestal een beperkte N-opname en verhoogt dit doorheen de jaren (Van Haecke, 2010; Schoeters *et al.*, 2019). In de vollegrondssierteelt bewijzen vanggewassen ook hun nut, ook al aarzelen heel wat telers om ze in te zaaien omdat ze liever een onkruidbestrijding tot eind oktober/november willen uitvoeren (Van Haecke, 2010; Bracke, 2020; Nawara *et al.*, 2021). Vaak worden hoge NO₃⁻-N-residu's in het najaar op sierteeltpercelen vastgesteld (93±12 kg NO₃⁻-N ha⁻¹ in 2015-2024 - zie ook bijlage Tabel 3) (Anonymus, 2017 & 2025), wat verklaard kan worden door de vaak lage N-opname, zodat vollegrondssierteelt en boomkweek bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld kunnen worden.

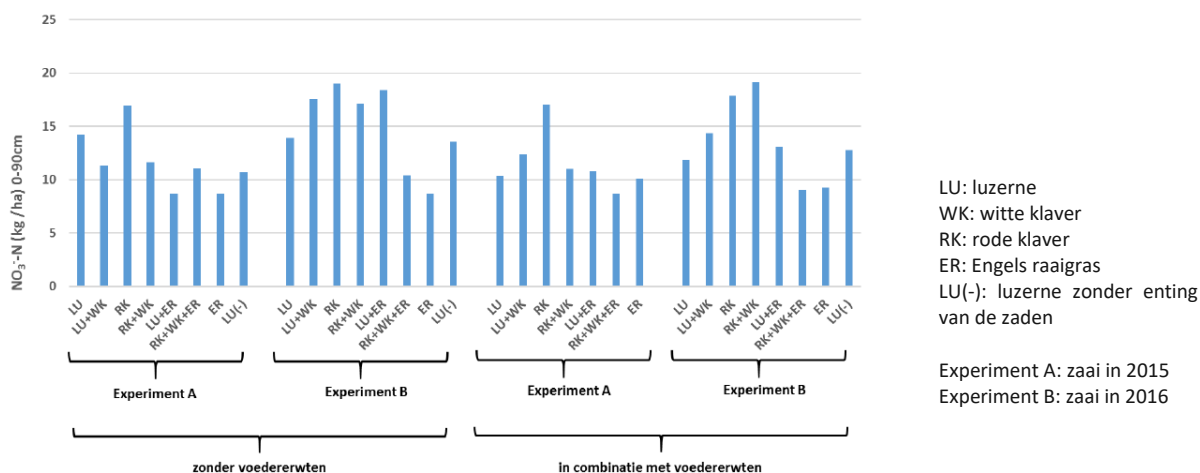
5.11 AARDBEIEN

Bij de nitraatgevoelige aardbeien worden er in de sperperiode hoge NO_3^- -N-hoeveelheden gemeten (Anonymus, 2023). De bewortelingsdiepte van aardbeien is immers zeer ondiep. Janssens *et al.* (2018) schatten de gemiddelde bewortelingsdiepte in 5 Vlaamse proefvelden tussen 25 en 29 cm in. De totale N-opname van het loof plus de vruchten in 4 Vlaamse proefvelden was maximaal 100 kg N ha^{-1} met $20\text{--}50 \text{ kg N ha}^{-1}$ in het loof.

5.12 TEELTEN MET EEN LAGE STIKSTOFBEHOEFTE

Omdat legering van vlas problemen geeft bij de oogst en een negatieve invloed op de vezelkwaliteit heeft, worden bij vlas lage N-bemestingshoeveelheden geadviseerd (Anonymus, 2019). De N-exporthoeveelheid van vezelvlas is gering. Door de afvoer van zaad en stro bedraagt de gemiddelde N-export ongeveer 60 kg N ha⁻¹ (Anonymus, 2005). De gemeten NO₃⁻-N-residu's bij de oogst zijn vaak laag. Na de vroege oogst van vlas in juli - midden augustus blijft het vlas nog een drietal weken op het perceel liggen om te dauwroten. Dankzij de vroege oogst kan er in augustus - midden september een vanggewas ingezaaid worden, zodat vlas bij de niet-nitraatgevoelige teelten ingedeeld kunnen worden.

5.13 LEGUMINOSEN ANDERE DAN ERWTEN EN BONEN



Figuur 15: Overzicht van het nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) in het profiel 0-90 cm in de sperperiode voor verschillende (mengsels van) vlinderbloemigen met of zonder voedererwten in het jaar van zaaien (Bron: De Vliegheer & Vanden Nest, 2019).

5.14 OVERIGE TEELTEN

De niet-nitraatgevoelige teelt *koolzaad* wortelt diep (Figuur 6) (Gabrielle *et al.*, 1998; Blake *et al.*, 2006; White *et al.*, 2015). Door herverdeling van N van hoofdzakelijk het koolzaadloof naar de peulen op het einde van de teelt is er bij de oogst weinig N in het koolzaadstro (hoge C:N-verhouding) aanwezig (Malagoli *et al.*, 2005; Köbke *et al.*, 2022). Het niet afvoeren en inwerken van het koolzaadstro legt tijdelijk minerale N vast. Na de oogst in juli kan er ook nog N vrijkomen door mineralisatie uit het BOS, maar de vrijgestelde N kan door een vanggewas of volgteelt wintergranen, ingezaaid voor eind oktober, opgenomen worden (D'Haene & Hofman, 2023).

6 CONCLUSIES

Nitraatuitspoeling doet zich in Europa hoofdzakelijk tijdens de winterperiode voor. In deze literatuurstudie werd er nagegaan welke teelteigenschappen het risico op de NO_3^- -uitspoeling beïnvloeden.

Er is een link tussen de bewortelingsdiepte en de grootte van het NO_3^- -N-residu in het bodemprofiel bij de oogst. Bij de grootte van het NO_3^- -N-residu speelt evenwel niet enkel de bewortelingsdiepte een rol maar ook de wortelhoeveelheid die per diepte aanwezig is. Ook de oogstresteigenschappen hebben een effect op het risico op NO_3^- -uitspoeling. De N-vrijstelling uit de oogstresten in het najaar hangt niet alleen af van hun N-hoeveelheid maar ook van o.a. de C:N-verhouding van de oogstresten. Het risico op NO_3^- -uitspoeling is lager bij N vrijgesteld uit de oogstresten dan bij vergelijkbare minerale N-residu's omdat de N in het eerste geval meestal in de bovenste bodemlagen aanwezig is, terwijl de minerale N die uit het voorgaande jaar in de bodem was achtergebleven, meestal in diepere bodemlagen aangetroffen wordt.

Voor de hoofdteelten met de grootste arealen binnen de verschillende teeltgroepen van het mestbeleid werd in de literatuur gezocht naar informatie over de beworteling, de NO_3^- -N-residu's bij de oogst en de oogstrest-eigenschappen om te evalueren of ze nitraat- of niet-nitraatgevoelig zijn. Bij de evaluatie werd het oogsttijdstip in de zomer of in het najaar meegenomen aangezien deze de mogelijkheid van de inzaai van vanggewassen en de N-vrijstelling uit de oogstresten en BOS en zodoende het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winter beïnvloedt. Bij suikerbieten en bij groenten loopt de oogstperiode over meerdere maanden. Voor de evaluatie werd rekening gehouden met het tijdstip waarop de meeste percelen met deze hoofdteelt geoogst worden. Echter een perceel ongeacht het hoofdteelttype waarbij de oogst vroeg genoeg plaatsvindt om een effectief vanggewas in te zaaien, is een perceel met een zeer laag risico op NO_3^- -uitspoeling op voorwaarde dat er daadwerkelijk zo snel mogelijk een vanggewas of volgteelt ingezaaid wordt.

Op basis van de literatuurstudie werden grasland, wintertarwe en andere granen, suikerbieten, voederbieten, erwten, spruitkool, fruitbomen, vlas, leguminosen en koolzaad bij de niet-nitraatgevoelige teelten ondergebracht. De andere geëvalueerde teelten zijn aan de hand van de huidige variëteiten en beheer bij de nitraatgevoelige teelten ingedeeld. Het is belangrijk dat bij een aangepast beheer in de toekomst de verschillende teelt(groep)en geherevalueerd worden om het risico op NO_3^- -uitspoeling in te schatten.

Op te merken valt dat de termen uitspoelingsgevoelige en niet-uitspoelingsgevoelige teelten beter op hun plaats zijn dan nitraat- en niet-nitraatgevoelige teelten om het risico op NO_3^- -uitspoeling tijdens de winterperiode te evalueren.

7 Referenties

- Agneessens, L., De Waele, J., De Neve, S., 2014a. Review of alternative management options of vegetable crop residues to reduce nitrate leaching in intensive vegetable rotations. *Agronomy*, 529-555.
- Agneessens, L., Vandecasteele, B., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Crappé, S., Elsen, A., Willekens, K., De Neve, S., 2014b. Onderzoek naar het beheer van oogstresten bij vollegrondsgroenten en mogelijkheden van vanggewassen en teeltrotaties met het oog op de waterkwaliteitsdoelstellingen van het Actieprogramma 2011-2014 (MAP 4): Hoofdrapport. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 149 p.
- Anonymus, 2005. Teelthandleiding vezelvlas – bemesting. <https://kennisakker.nl/archief-publicaties/teelthandleiding-vezelvlas-bemesting650#:~:text=ls%20de%20stikstofvoorraad%20hoger%20dan,%C3%A9%C3%A9nmalige%20gift%20bij%20de%20zaaibedbereiding>
- Anonymus, 2015. CCBT-bemestingsproject: 'Optimalisatie bemesting in de biologische kleinfruitteelt'. Proefcentrum Pamel, 34 p.
- Anonymus, 2017. Nitraatresidu-rapport 2017. Resultaten van de nitraatresidumetingen in Vlaanderen tot en met de staalnamecampagne van 2016. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 109 p.
- Anonymus, 2019. Teelthandleiding vlas. Ten behoeve van biocomposietmaterialen voor bouwapplicaties. Interreg 'Growing a green future', 24 p. <https://www.archive.grensregio.eu/bibliotheek/growing-a-green-future-1>
- Anonymus, 2022. Groente-N-Advies. Een kwalitatief product met een aanvaardbaar residu. 76 p.
- Anonymus, 2023. Nitraatresidurapport 2022. Analyse van de resultaten van de nitraatresidumetingen in Vlaanderen tot en met de staalnamecampagne van 2022. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 62 p.
- Anonymus, 2025. Nitraatresidurapport 2024. Analyse van de resultaten van de nitraatresidumetingen in Vlaanderen tot en met de staalnamecampagne van 2024. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 21 p.
- Aulakh, M.S., Doran, J.W., Walters, D.T., Moiser, A., Francis, D.D., 1991. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Science Society of American Journal* 55, 1020-1025.
- Blake, J., Spink, J., Bingham, I., 2006. Management of oilseed rape to balance root and canopy growth. Project Report No. 402, ADAS, Hereford, 22 p.
- Boer, M.D., Santos Teixeira, J., Ten Tusscher, K.H., 2020. Modeling of root nitrate responses suggests preferential foraging arises from the integration of demand, supply and local presence signals. *Frontiers in Plant Science* 11, 708.
- Bracke, J., 2020. Nitrogen fertilisation in ornamental plant production based on in-season demands through proximal sensing and soil modelling. Doctoraat, KU Leuven & UGent, 344 p.
- Brouckaert, A., 2024. Resultaten nitraatresidu's 2024 behoren tot de laagste van de afgelopen jaren. <https://inagro.be/nieuws/resultaten-nitraatresidus-2024-behoren-tot-de-laagste-van-de-afgelopen-jaren#:~:text=Alle%20nitraatresidu%27s%20genomen%20door%20het,van%20het%20labo%20van%20Inagro>.
- Bürcky, K., Hetterich, T., Heyn, J., Horn, D., Koch, D., 1997. Nährstoffaufnahme der Zuckerrübe. Teil I: Rübe und Blatt. *Sugar Industry* 142(3), 162-167.
- Butijn, J., 1958. De betekenis van de bewortelingsopnamen in de fruitteelt. *Mededelingen Directeur van de Tuinbouw* 21(10), 622-631.
- Canadell, J., Jackson, R.B., Ehleringer, J.B., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, E.-D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108, 583-595.

Demuyttenaere, P., Hofman, G., Verstegen, P., Vulsteke, G., Van Ruymbeke, M., 1989. Need for modifications of the mineral nitrogen balance in the vegetable growing area of West-Flanders, Belgium. *Pedologie* 39, 261-274.

D'Haene, K., Callens, D., Hofman, G., 2023. The response of celeriac yield, quality and soil nitrate residue to nitrogen fertilization and supply. *Acta Horticulturae*, 1375, 53-60.

D'Haene, K., Hofman, G., 2022. Milieu- en landbouwkundige nitraatstikstofresidudrempelwaarden. Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 109 p.

D'Haene, K., Hofman, G., 2023. Duurzame praktijken voor het terugverdienen van de bemestingsreductie. Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 45 p.

D'Haene, K., Salomez, J., De Neve, S., De Waele, J., Hofman, G., 2014. Environmental performance of the nitrogen fertiliser limits imposed by the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192, 67-79.

D'Haene, K., Salomez, J., Hofman, G., 2018a. Is rijenbemesting dé oplossing om stikstofverliezen te minimaliseren? Onderzoeks- en Voorlichtingsplatform Duurzame bemesting, Merelbeke, 14 p.

D'Haene, K., Salomez, J., Verhaeghe, M., Van de Sande, T., De Nies, J., De Neve, S., Hofman, G., 2018b. Can optimum yield and quality of vegetables be reconciled with low residual soil mineral nitrogen at harvest? *Scientia Horticulturae* 233, 78-89.

Ellenkamp, R., 2017. Zeven vragen over: Strobemesten. *Akker* 3, 12-13.

Fan, J., McConkey, B., Wang, H., Janzen, H., 2016. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research* 189, 68-74.

Fitters, T.F.J., Mooney, S.J., Sparkes, D.L., 2018. Sugar beet root growth under different watering regimes: a minirhizotron study. *Environmental and Experimental Botany* 155, 79-86.

Fontaine, D., Rasmussen, J., Eriksen, J., 2024. Marginal increase in nitrate leaching under grass-clover leys by slurry and mineral fertilizer. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 128, 1-12.

Gabrielle B., Justes E., Denoroy, P., 1998. Modelling of temperature and nitrogen effects on the rooting dynamics of winter oilseed rape, in: *Proceedings of the World Soil Science Congress, Montpellier*, 230-T.

Galindo-Castañeda, T., Hartmann, M., Lynch, J.P., 2024. Location: root architecture structures rhizosphere microbial associations. *Journal of Experimental Botany* 75(2), 594-604.

Geisseler, D., Ortiz, R.S., Diaz, J., 2022. Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.) - A literature review. *Scientia Horticulturae* 291, 110591.

Halvorson, A.D., Follett, R.F., Bartolo, M.E., Schweissing, F.C., 2002. Nitrogen fertilizer use efficiency of furrow-irrigated onion and corn. *Agronomy Journal* 94, 442-449.

Heinemann, H., Durand-Maniclas, F., Seidel, F., Ciulla, F., Bárcena, T.G., Camenzind, M., Corrado, S., Csűrös, Z., Czakó, Zs., Eylenbosch, D., Ficke, A., Flamm, C., Herrera, J.M., Horáková, V., Hund, A., Lüddecke, F., Platz, F., Poós, B., Rasse, D., da Silva-Lopes, M., Toleikiene, M., Veršulienė, A., Visse-Mansiaux, M., Yu, K., Hirte, J., Don, A., 2025. Optimising root and grain yield through variety selection in winter wheat across a European climate gradient. *European Journal of Soil Science* 76(2), e70077.

Hoffmann, C.M., Kenter, C., 2018. Yield potential of sugar beet - Have we hit the ceiling? *Frontiers in Plant Science* 9, 289.

Hofman, G., Ossemerct, C., Ide, G., Van Ruymbeke, M., 1984a. Significance of the latent mineral N-residue in the soil profile in nitrogen fertilization advices. In: Welte E., Szabolcs J. (Eds.); *Proceedings of the 9th CIEC World Fertilizer Congress*, Budapest, Hungary, 225-229.

- Latré, J., Stoop, T., Verheyen, J., Coomans, D., Rombouts, G., Haesaert, G., 2007. Mogelijkheden van grasinzaai in maïs of gras/rogge inzaai na maïs met het oog op bodembedekking, reductie herbicide input en reststikstof. Landbouwcentrum voor Voedergewassen (LCV), 8 p.
- Laufer, D., Nielsen, O., Wiltling, P., Koch, H.-J., Märlander, B., 2015. Yield and nitrogen use efficiency of fodder and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in contrasting environments of northwestern Europe. *European Journal of Agronomy* 73, 124-132.
- Lauwers, L., 2021. Giewont grote stikstofvreter. *Proeftuinnieuws* 5, 30-31.
- LCV, 2020. Onderzaai van groenbedekkers in maïs. *Boer & Tuinder* 9, 17-22.
- Legrand, G., Vanstallen, M., 2000. Stikstofbemesting in suikerbieten. Koninklijk Belgisch Instituut tot Verbetering van de Biet (KBIVB), Tienen, 53 p.
- Legrand, G., Vanstallen, M., Elsen, A., 2014. Stikstofbemesting : niet te weinig, maar ook niet te veel! *Bietplanter* 03/2014, 7-8.
- Legrand, G., Wauters, A., Keleman, J., 2016. Minerale stikstofbemesting in de suikerbiet: verhoging van de dosis verhoogt de opbrengst niet! *Bietplanter* 03/2016, 8-9.
- Lipiec, J., Medvedev, V., Birkas, M., Dumitru, E., Lyndina, T., Rousseva, S., Fulajtár, E., 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *International Agrophysics*, 17(2), 61-69.
- Luce, M.St., Whalen, J.K., Ziadi, N., Zebarth, B.J., 2011. Nitrogen dynamics and indices to predict soil nitrogen supply in humid temperate soils. *Advances in Agronomy* 112, 55-102.
- Luske, B., Deru, J., Wösten, H., Faber, J.H., van Eekeren, N., 2012. Beworteling van grasland en droogtetolerantie: Maatregelen voor een diepere beworteling. 2012-028 LbD, Louis Bolk Instituut (LBI), Driebergen, 51 p.
- Maeght, J.-L., Rewald, B., Pierret A., 2013. How to study deep roots - and why it matters. *Frontiers in Plant Science* 4, 299.
- Malagoli, P.P., Laine, P.P., Rossato, L., Ourry, A., 2005. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual N. *Annals of Botany* 95(5), 853-861.
- Nawara, S., Vanden Nest, T., Odeurs, W., Janssens, P., Tits, M., Elsen, A., 2021. Klimaatadaptatieve praktijken voor het terugdringen van nutriëntenverliezen: een gerichte verkenning. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), 395 p.
- N-(eco)², 2002. Bepaling van de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem als beleidsinstrument. Eindrapport deel 4: scenario analyse, afleiding van de normen en aanbevelingen aan de landbouwers. Studie in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 270 p.
- Neeteson, J.J., Whitmore, A.P., 1997. Sustainable nitrogen management in intensive vegetable production. In: Lian, S., Wang, C.H., Lee, Y.C. (Eds.), *Analysis of fertilizer response and efficiency in vegetable production in the HSILO Area*. Food & Fertilizer Technology Center, Taipei, p. 1-9.
- Neuvel, J.J., 1990. Stikstofbemesting bij spruitkool. Een verslag van proeven in de jaren 1984 en 1985 in het kader van het project 83.4.04. Proefstation voor de akkerbouw en groenteteelt in de vollegrond, Lelystad.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Mills, A.R., Strachan, P.J., 1997. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses. *Soil Use and Management* 13 (3), 136-142.
- Odeurs, W., Vandervelpen, D., Elsen, A., De Vliegheer, A., Ruysschaert, G., D'Hose, T., Vanden Nest, T., Bries, J., Vandendriessche, H., 2020. Derogation monitoring network of farms under Directive 2008/64/EG (MAP 5). Final report: Period January 2016-May 2020. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 445 p.

- Vanrespaille, H., Elsen A., Willekens, K., 2022. Hoe voor je bodem zorgen binnen de beperkingen van het mestactieplan? Boeren leren van bioboeren. Brochure uit het VLM-project "Optimaliseren van bemestings-strategieën vanuit de principes van de biologische landbouw. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 18 p.
- Velthof, G.L., Kuikman, P.J., 2000. Beperking van lachgasemissie uit gewasresten. Een systeemanalyse. Alterra-rapport 114-3. Alterra, Wageningen, 80 p.
- Velthof, G.L., Neeteson, J.J., van der Meer, H.G., Oenema, O., 2000. Schatting van de nettostikstofmineralisatie en biologische stikstofbinding in landbouwgronden. Alterra-rapport 117, Alterra, Wageningen, 36 p.
- Verloop, J., Boumans, L.J.M., van Keulen, H., Oenema, J., Hilhorst, G.J., Aarts, H.F.M., Sebek, L.B.J., 2006. Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 59-74.
- Wacker, T.S., Popovic, O., Olsen, N.A.F., Markussen, B., Smith, A.G., Svane, S.F., Thorup-Kristensen, K., 2022. Semifield root phenotyping: Root traits for deep nitrate uptake. *Plant, Cell & Environment* 45(3), 823-836.
- Wang, Z., Ma, B.-L., Gao, J., Sun, J., 2015. Effects of different management systems on root distribution of maize. *Canadian Journal of Plant Science* 95, 21-28.
- Wen, G., Ma, B.-L., 2024. Optimizing crop nitrogen use efficiency: Integrating root performance and machine learning into nutrient management. *Advances in Agronomy Volume 187*, 311-363.
- White, C.A., Sylvester-Bradley, R., Berry, P.M., 2015. Root length densities of UK wheat and oilseed rape crops with implications for water capture and yield. *Journal of Experimental Botany* 66(8), 2293-2303.
- Winnepeninckx, R., Verhaeghe, M., Cap, N., Volckaert, A., De Reyck, L., 2016. De teelt van industriëbloemkool: tweede vrucht onder de loep. *Landbouwleven*, <https://www.landbouwleven.be/art/d-20160712-G8X9PW>
- Zarzyńska, K., Boguszevska-Mankowska, D., Nosalewicz, A., 2017. Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. *Plant Soil and Environment* 63, 159-164.
- Zemek, O., Neuweiler, R., Richner, W., Liebisch, F., Spiess E., 2020a. Estimating and reducing nitrate leaching in vegetable production. *Agrarforschung Schweiz* 11, 76-81.
- Zemek, O., Neuweiler, R., Spiess E., Stüssi, M., Richner, W., 2020b. Nitratauswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau - eine Literaturstudie. *Agroscope Science* 95, 117 p.
- Zwart, K.B., Pronk, A.A., Kater, L.J.M., 2004. Verwijderen van gewasresten in de open teelten: een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof, LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III). *Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)*. Wageningen, 75 p.

BIJLAGE

Tabel 2: Het gemiddelde nitraatstikstofresidu (kg NO₃-N ha⁻¹) en het percentage rode MAP-meetpunten van het oppervlaktewater van 2007 tot 2024 (Bronnen: VLM & VMM).

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gemiddeld residu	71	75	90	66	84	52	55	59	66
% rode MAP-meetpunten	36	27	32	26	26	25	20	21	20
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Gemiddeld residu	62	78	90	85	82	62	73	56	51
% rode MAP-meetpunten	21	28	39	32	32	22	25	17	11

Tabel 3: Het gemiddelde nitraatstikstofresidu ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) per teeltgroep in 2015-2024 (Bron: Anonymus, 2025).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Gemid
Grasland	43	47	50	65	60	57	38	43	36	32	47
Graangewassen	52	66	54	70	71	67	42	67	54	55	60
Bieten	38	37	60	57	50	50	60	46	33	32	46
Aardappelen	112	106	121	164	145	132	106	132	94	93	121
Maïs	81	64	97	107	98	97	69	84	62	52	81
Groenten	104	94	116	121	124	116	86	106	76	76	102
Sierteelt en boomkweek	106	78	98	105	98	101	87	101	80	76	93
Fruit	56	59	63	93	71	59	53	56	46	33	59
Overige teelten	63	57	68	85	81	86	77	92	71	55	74

