

---

# Stikstofbemesting in vollegrondsgroenten: een economische - ecologische benadering

14.11.2019

---

D'Haene, K., Salomez, J.,  
De Nies, J., Goovaerts, E.,  
Verhaeghe, M., Lauwers, L.,  
Van de Sande, T., De Neve, S.  
& Hofman, G.



**STIKSTOFBEMESTING IN VOLLEGRONDSGROENTEN: EEN ECONOMISCHE - ECOLOGISCHE - BENADERING**

|   |  |
|---|--|
| <b>D'Haene Karoline</b>                           | <b>Onderzoeks- en voorlichtingsplatform Duurzame bemesting</b><br><b>ILVO Plant</b><br>Burg. Van Gansberghelaan 109<br>9820 Merelbeke  |
| <b>Salomez Joost</b>                              | <b>Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving</b><br>Departement Omgeving<br>Koning Albert II laan 20, bus 8<br>1000 Brussel   |
| <b>De Nies Joris</b><br><b>Goovaerts Ellen</b>    | <b>Proefstation voor de Groenteteelt (PSKW)</b><br>Duffelsesteenweg 101<br>2860 Sint-Katelijne-Waver   |
| <b>Verhaeghe Micheline</b><br><b>Lauwers Lore</b> | <b>Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen vzw (PCG vzw)</b><br>Karreweg 6<br>9770 Kruishoutem   |
| <b>Van de Sande Tomas</b>                         | <b>Inagro</b><br>Ieperseweg 87<br>8800 Rumbeke-Beitem  |
| <b>De Neve Stefaan</b>                            | <b>Vakgroep Omgeving</b><br>Universiteit Gent<br>Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen<br>Coupure Links 653<br>9000 Gent   |
| <b>Hofman Georges</b>                             | <b>Onderzoeks- en voorlichtingsplatform Duurzame bemesting</b><br><b>Vakgroep Omgeving</b><br>Universiteit Gent<br>Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen<br>Coupure Links 653<br>9000 Gent |

Dit onderzoek werd door de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) en de praktijkcentra Proefstation voor de Groenteteelt (PSKW), Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen vzw (PCG vzw) en Inagro gefinancierd.



## INHOUD

|  |           |
|--|-----------|
| Samenvatting.....  | 1         |
| Lijst met afkortingen en symbolen .....  | 4         |
| Lijst met figuren.....   | 5         |
| Lijst met tabellen .....   | 6         |
| <b>1</b> Inleiding.....  | <b>7</b>  |
| <b>2</b> Materiaal en methode .....  | <b>9</b>  |
| 2.1 Proefpercelen  | 9         |
| 2.2 De stikstofbodembalans   | 11        |
| 2.2.1 In- en outputs van de stikstofbodembalans                                    | 11        |
| 2.2.2 Minerale stikstof in de bodem bij plant of zaai en bij de oogst              | 11        |
| 2.2.3 Stikstofmineralisatie  | 11        |
| 2.2.4 Stikstofdepositie  | 12        |
| 2.2.5 Stikstofbestedingsdosissen en teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid           | 12        |
| 2.2.6 Totale en vermarktbaar opbrengst en nutriëntenopname                         | 12        |
| 2.3 Kwaliteitsparameters   | 13        |
| 2.4 Economische berekening   | 13        |
| 2.5 Uitgebreid logistisch model en gesegmenteerde lineaire regressie               | 14        |
| 2.5.1 Uitgebreid logistisch model  | 14        |
| 2.5.2 Gesegmenteerde lineaire regressie  | 15        |
| <b>3</b> Resultaten en discussie .....   | <b>15</b> |
| 3.1 Minerale stikstof in de bodem en stikstofmineralisatie                         | 15        |
| 3.2 Resultaten in functie van stikstofbestedingsdosis en teeltbeschikbare stikstof | 17        |
| 3.2.1 Totale en vermarktbaar opbrengst en nutriëntenconcentratie en -opname        | 17        |
| 3.2.2 Kwaliteitsparameters   | 30        |
| 3.2.3 Economische opbrengst  | 35        |
| 3.2.4 Residuele minerale stikstof in de bodem                                      | 37        |
| 3.3 Resultaten in functie van stikstofbestedingstrappen                            | 42        |
| 3.4 De stikstofbodembalans en optimale stikstofbestedingsdosissen                  | 44        |
| <b>4</b> Besluit.....  | <b>45</b> |
| <b>5</b> Referenties .....   | <b>47</b> |

# SAMENVATTING

## Doel van het onderzoek

De tot nu toe geleverde inspanningen door landbouwers en tuinders hebben de kwaliteit van het oppervlakte - en grondwater al gevoelig verbeterd, maar **stikstofverliezen uit landbouwpercelen** blijven in **sommige gebieden - vnl. met groenten** - nog steeds een **probleem**. Omwille van het gevoel dat een *verlaging van de stikstofbemestingsdosis de opbrengsthoeveelheid en/of –kwaliteit* kan verminderen, worden **hoge stikstofbemestingsdosissen** aan groenten toegediend die vaak in **hoge minerale stikstofhoeveelheden in de bodem bij de oogst** resulteren.

Bij een verhoging van de stikstofbemesting van lage naar optimale hoeveelheden blijft de hoeveelheid nitraatstikstof die na de teelt in de bodem achterblijft voor de meeste teelten **vrij constant**. Dit noodzakelijke nitraatstikstof-residu is *gewasafhankelijk* en blijft meestal vrij stabiel **bij toenemende stikstofbemestingsdosissen tot een bepaald breekpunt** waarna het nitraatstikstofresidu stijgt. *Boven het breekpunt verhoogt het risico van nitraatuitspoeling*.

Een te **hoge stikstofbemestingsdosis** kan ook een **negatief effect** hebben op **opbrengsthoeveelheid en –kwaliteit** vb. *ziektegevoeliger, ongewenste nitraattoename, voornamelijk bij bladgewassen, en daling van de houdbaarheid*.

Om een **economisch en ecologisch optimum** te vinden, moet er *rekening gehouden worden met zowel de opbrengsthoeveelheid en gewaskwaliteit als de nitraatstikstofhoeveelheid in de bodem bij de oogst*. Vijfennegentig **procent van de maximale vermarktbare opbrengsthoeveelheid** wordt als een *voorzichtige benadering* gezien om stikstofbemestingsdosissen toe te dienen die zowel op economisch als op ecologisch vlak verantwoord zijn.

## Werkwijze

In deze studie analyseerden we een uitgebreide dataset van **stikstofbemestingsproeven** (2009-2016) met *verschillende trappen van stikstofbemestingshoeveelheden van alternatieve sla, spinazie, prei, wortelen, bloemkool en spruiten* aangelegd op diverse locaties in de 3 Vlaamse groenteregio's. We berekenden **het effect van de teelt-beschikbare stikstofhoeveelheid op opbrengsthoeveelheid, stikstofopname, de kwaliteitsparameters nitraatconcentratie** (bij bladgroenten), **bladkleur** en **uniformiteit** en **residuele minerale stikstofhoeveelheid bij de oogst**.

## Resultaten

### Minerale stikstof in de bodem bij zaai of planten en stikstofmineralisatie

De **gemiddelde nitraatstikstofhoeveelheid** tot bewortelingsdiepte bij de zaai of het planten van veelal een voorjaarsteelt was **erg variabel** (variërend van respectievelijk  $15 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  in de 0-30 cm tot  $65 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$  in de 0-90 cm voor spinazie en spruitkool). Bij tweede teelten of late eerste teelten zijn de minerale stikstofhoeveelheden bij zaaien of planten meestal duidelijk hoger. De **gemiddelde stikstofhoeveelheid dat via**

////////////////////////////////////

**mineralisatie** van de bodemorganische stof en oogstresten vrijkwam, **varieerde** tussen teelten van 25 tot 107 kg N ha<sup>-1</sup> afhankelijk van de teeltperiode en –duur, voorteelt en weersomstandigheden.

Deze resultaten geven aan dat om een **wetenschappelijk onderbouwd stikstofbestedingsadvies** te berekenen, er nood is aan **een meting van de nitraatstikstofhoeveelheid in de bodem** bij de zaai of het planten en/of bij fractioneren van de stikstofbemesting een meting van de nitraatstikstofhoeveelheid of plantparameters voor de berekening van de bijbemesting en dat een **betrouwbare inschatting van de stikstofvrijstelling via mineralisatie** een **kritieke factor van een stikstofbestedingsadvies** is.

### Opbrengst en nutriëntenopname en -export

Uit de cijfers blijkt dat er een **grote verscheidenheid** bestaat in de **stikstofopname van groenten** (maximale totale stikstofopname varieerde van 107 kg N ha<sup>-1</sup> voor lichte alternatieve sla tot 564 kg N ha<sup>-1</sup> voor overbemeste spruitkool) en de **fosforhoeveelheid** (fosfaatexport varieerde van ±20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> voor lichte alternatieve sla tot ±60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> voor spruiten) die een groente van een perceel afvoert.

Aangezien de totale opbrengst en de nutriëntenopname beperkt blijven toenemen als de maximale vermarktbaar opbrengst reeds bereikt is, moeten **stikstofbestedingsadviezen** gebaseerd zijn op de noodzakelijke stikstofhoeveelheid van het ganse gewas bij 95 procent van de maximale **vermarktbaar opbrengst**.

### Kwaliteitsparameters en economische opbrengst

De **gemeten nitraatconcentratie** in het blad van bladgewassen bleef **onder de wettelijke norm**. Vijfennegentig procent van de **gemiddelde maximale score** voor **bladkleur en uniformiteit** werd bij een **vergelijkbare teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid als de vermarktbaar opbrengst** vastgesteld.

Het **verschil in teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid bij 95 procent van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst van de groenten** geteeld voor de **versmarkt** is **beperkt** (variërend van 10 tot 31 kg teeltbeschikbare N ha<sup>-1</sup> bij respectievelijk wortelen en zware alternatieve sla).

### Minerale stikstofhoeveelheid in de bodem bij de oogst

De **minerale stikstofhoeveelheden in de bodem bij de oogst** vertoonden, afhankelijk van de groente, een **breekpunt** tussen 133 en 432 kg teeltbeschikbare N ha<sup>-1</sup>. De **latente nitraatstikstofresidu's tot bewortelingsdiepte** voor het breekpunt waren **laag**, afhankelijk van de groente, tussen 7±3 en 27±15 kg N ha<sup>-1</sup>.

Het is opmerkelijk dat de **minerale stikstofhoeveelheid** in de bodem bij de **milieubenedering**, nl. de teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid aan het breekpunt, **weinig verschilt** van deze bij **95 procent van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst** (< 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>). Enkel bloemkool met een korte teeltperiode en lage plantdichtheid blijkt een probleemgroente (verschil van 70 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>). Een *mogelijke oplossing is punt- of*

*bandbemesting* in plaats van breedwerpige bemesting of de *onderzaai van een vanggewas*, maar de praktische uitvoering van dergelijke praktijken moet nog verbeterd worden.

Echter het **risico op nitraatuitloging** is gelinkt met de **nitraatstikstofhoeveelheid tot 90 cm** in de herfst. Gebaseerd op nitraatstikstofmetingen bij zaai of planten en de oogst van de proefpercelen, lijkt *een maximum van 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> per onbewortelde laag van 30 cm* realistisch en praktisch aanvaardbaar. Rekening houdend met het gemiddelde nitraatstikstofresidu tot bewortelingsdiepte bij optimale stikstofbemesting en 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in de onbewortelde lagen, moet een tuinder **streven naar 75 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in de 0-90 cm laag bij de oogst (met uitzondering van bloemkool)**. Omdat vooral de eerste weken bij latere teelten veel stikstof uit de oogstresten ter beschikking voor de teelt kan komen en de vrijgestelde stikstofhoeveelheid van de weersomstandigheden kan afhangen en erg moeilijk in te schatten is, is een lage stikstofstartbemesting en staalname tijdens de teelt belangrijk om te bepalen of een bijbemesting aangewezen is en om het risico op een hoog nitraatstikstofresidu bij de oogst en hoge nitraatuitloging te vermijden.

#### Stikstofbalans

De stikstofbalans werd bij het breekpunt van de minerale stikstofhoeveelheid (indien mogelijk) en bij 95 procent van de vermarktbaar en economische opbrengst berekend. Het **verschil in berekende surplus was klein voor de verschillende benaderingen** (tussen 1 en 19 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>, met uitzondering van bloemkool), omdat een *hogere teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid* (tussen 1 voor alternatieve sla en 52 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> voor spruitkool) in een *hogere stikstofopname* resulteerde bij het breekpunt (tussen 5 voor alternatieve sla en 48 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> hoger bij spruitkool) en de nitraatstikstofresidu bij de oogst (tussen 0 en 22 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>, met uitzondering van bloemkool) beperkt toenam.

#### Bemestingsdosissen en -normen

De *gemiddeld laagste en hoogste stikstofbemestingsdosis* bij 95 procent van de vermarktbaar opbrengst werd respectievelijk voor lichte sla en spruitkool (25 tot 193 kg N ha<sup>-1</sup>) berekend, wat gelinkt is aan de laagste en hoogste stikstofopname van deze teelten. Voor de opgevolgde groenten (uitzondering bloemkool) is de **gemiddelde berekende stikstofbemestingsdosis** bij het 95 procent van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst **lager dan de wettelijke maximale stikstofbemestingsnormen**.

Uit de cijfers blijkt dat er **grote verschillen** bestaan tussen de **fosforexport** van groenten terwijl er slechts 1 norm is voor alle groenten.

De resultaten geven aan dat **stikstofbemestingsadviezen en de maximale stikstofbemestingsnormen** voor **sommige groenteteelten** - vb. alternatieve sla en prei - **verlaagd** kunnen worden zonder een risico op daling van de vermarktbaar opbrengst of de kwaliteit (bladkleur en uniformiteit) en dat een **diversifiëring van de fosforbemestingsnorm voor groenten** overwogen kan worden. Hierbij dient men er rekening mee houden dat er vaak binnen één teeltseizoen meerdere groenten op een perceel geteeld worden.

////////////////////////////////////

## LIJST MET AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| alt.                            | alternatieve  |
| BOS                             | bodemorganische stof  |
| cm                              | centimeter  |
| ha                              | hectare   |
| Inagro                          | INnovatief en duurzaam AGRarisch Ondernemen                       |
| incl.                           | inclusief   |
| KCl                             | kaliumchloride  |
| KNS                             | Kulturbegleitende-Nmin-Sollwerte                                  |
| kg                              | kilogram  |
| l                               | liter   |
| M                               | molair  |
| MAP                             | MestActiePlan   |
| mg                              | milligram   |
| Mg                              | megagram of ton   |
| N                               | stikstof  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>    | ammonium  |
| nl.                             | namelijk  |
| N <sub>min</sub>                | minerale stikstof   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | nitraat   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | nitraatstikstof   |
| P                               | fosfor  |
| PCG                             | Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen vzw |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | fosfaat   |
| PSKW                            | Proefstation voor de Groenteteelt in Sint-Katelijne-Waver         |
| R <sup>2</sup>                  | determinatiecoëfficiënt   |
| vb.                             | voorbeeld   |
| vermark                         | vermarktbaar  |
| VM                              | versmassa   |
| VLM                             | Vlaamse Landmaatschappij  |
| VMM                             | Vlaamse milieumaatschappij  |
| vnl.                            | voornamelijk  |
| #                               | aantal  |
| %                               | procent (= op 100)  |
| ‰                               | promille (= op 1000)  |





## LIJST MET FIGUREN

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figuur 1:  | Minerale stikstof (N) in de bodem (0-60 cm) (kg N ha <sup>-1</sup> ) bij de oogst van bloemkool (Nederland) in functie van de N-bemestingsdosis (kg N ha <sup>-1</sup> ) (Bron: Neeteson & Whitemore, 1999).....  | 8  |
| Figuur 2:  | Locatie van de proefpercelen (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018).....  | 10 |
| Figuur 3:  | Vermarktbaar opbrengst van spinazie, prei, wortelen (Foto's PSKW) en spruitkool (Foto PCG) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (van links naar rechts: onbemest, lager dan advies, advies en hoger dan advies). ....  | 18 |
| Figuur 4:  | Totale en vermarktbaar (vermark) opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst ha <sup>-1</sup> ) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis. ....  | 19 |
| Figuur 5:  | Stikstof- (N) concentratie (% N) in functie van de N-bemestingsdosis. ....  | 20 |
| Figuur 6:  | Totale en vermarktbaar opbrengst dosis-responscurves (Mg versmassa (VM) opbrengst ha <sup>-1</sup> ) in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....   | 21 |
| Figuur 7:  | Stikstof- (N) concentratie (% N) in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening. ....  | 22 |
| Figuur 8:  | Totale stikstof- (N) opname dosis-responscurves (kg N ha <sup>-1</sup> ) (volle lijn) en (gesegmenteerde) lineaire regressie van het minerale N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij de oogst (kg N ha <sup>-1</sup> ) (stippellijn) in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018).....  | 23 |
| Figuur 9:  | Totale en vermarktbaar (vermark) opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst ha <sup>-1</sup> ) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis. ....  | 25 |
| Figuur 10: | Totale stikstofopname (kg N ha <sup>-1</sup> ) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis. ....  | 27 |
| Figuur 11: | Fosfor- (P) concentratie (% P) (boven) en P-opname (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ) (onder) van de vermarktbaar (links) en totale opbrengst (rechts) (x is het gemiddelde en horizontale lijn is de mediaan). De cijfers geven het aantal metingen weer.....  | 28 |
| Figuur 12: | Nitratconcentratie (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> versmassa (VM)) bij alternatieve sla en spinazie in functie van teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 31 |
| Figuur 13: | Nitratconcentratie (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg <sup>-1</sup> versmassa (VM)) bij alternatieve sla (2013) (Gebaseerd op AHDB, 2014) en spinazie in Engeland (2012) (Gebaseerd op AHDB, 2013) en spinazie (1998 - 2003) in Wallonië (Gebaseerd op Frankinet <i>et al.</i> , 2001; Renard <i>et al.</i> , 2007; Fonder <i>et al.</i> , 2010) en alternatieve sla (2004) en spinazie (2004 - 2013) in oudere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018)..... | 31 |
| Figuur 14: | De score van bladkleur (1 - 9) van sla, spinazie, prei en bloemkool en kleur van de spruitjes bepaald bij de oogst in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 32 |
| Figuur 15: | De score van bladkleur (1 - 9) van prei (2007 - 2010) bepaald bij de oogst in Nederland (Gebaseerd op de Ruijter, 2008; Van Geel, 2008; de Haan <i>et al.</i> , 2011) en van prei (2001 - 2016) en bloemkool (2000 - 2015) in eerdere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) en SPAD metingen bij alternatieve sla (2013) en spinazie (2012) in Engeland (AHDB 2013 & 2014) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Gebaseerd op D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....   | 33 |
| Figuur 16: | De score van uniformiteit (1 - 9) bepaald bij de oogst in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 34 |
| Figuur 17: | De score van uniformiteit (1 - 9) van bloemkool (2008) bepaald bij de oogst in Nederland (Gebaseerd op Van Geel <i>et al.</i> , 2009) en van prei (2003 - 2014) en bloemkool (2001 - 2012) in eerdere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....   | 34 |
| Figuur 18: | Economische opbrengst dosis-responscurves (Economische opbrengst ha <sup>-1</sup> ) in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte volle of gestreepte en rode gestippelde verticale lijnen duiden respectievelijk op 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst.....  | 35 |
| Figuur 19: | Relatieve prijs van lichte en zware alternatieve sla in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte volle verticale lijnen duiden op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst. ....   | 36 |



|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figuur 20: | Flandria percentage (%) van prei en bloemkool in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte gestreepte verticale lijnen duiden respectievelijk op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst.....   | 37 |
| Figuur 21: | Residuele minerale stikstof ( $N_{min}$ ) tot bewortelingsdiepte ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) bij de oogst van spinazie, prei, wortelen en bloemkool in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis. ....   | 40 |
| Figuur 22: | Residuele minerale stikstof ( $N_{min}$ ) in de 0-60 cm laag ( $kg\ NO_3^{-}-N\ ha^{-1}$ ) bij de oogst van prei in functie van de stikstof- (N) voorraad (= toegediende werkzame N + $NO_3^{-}-N$ bij planten (0-60 cm)) ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) bij verschillende oogstmaanden (Inagro, PCG & PSKW) (Bron: D'Haene & Hofman, 2019b). .... | 40 |
| Figuur 23: | Stikstof- (N) bemestingsdosis ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ), vermarktbaar opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst $ha^{-1}$ ), score voor kleur, score voor uniformiteit, economische opbrengst en mineraal stikstofresidu ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) bij nulbemesting, onderbemest, adviesbemesting en overbemest. ....                                 | 43 |

## LIJST MET TABELLEN

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 1:  | Algemene eigenschappen van de proefpercelen (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 10 |
| Tabel 2:  | Stikstof- (N) opname van de niet-geogoste wortels (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 13 |
| Tabel 3:  | Kwaliteitseisen (voor kleur) voor bloemkoolhoofd en blad voor bloemkool versmarkt (Bron: veilingen) ....  | 14 |
| Tabel 4:  | Kwaliteitseisen voor kleur voor prei versmarkt (Bron: veilingen) ....   | 14 |
| Tabel 5:  | Teeltduur (dagen), minerale stikstof (N) -hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij zaai of planten ( $kg\ NO_3^{-}-N\ ha^{-1}$ ), N-mineralisatie tijdens de teelt ( $kg\ N\ ha^{-1}\ dag^{-1}$ ), teeltbeschikbare N en latent minerale N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij de oogst ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) ( $\pm$ standaard afwijking) (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). .... | 16 |
| Tabel 6:  | Statistiek van de gefitte uitgebreid logistische curves ( $R^2$ = determinatiecoëfficiënt, a = maximum, b = intercept en c = responscoëfficiënt (vergelijkingen 4 tot 6)) (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 24 |
| Tabel 7:  | Gemiddelde maximale totale en vermarktbaar opbrengst (Mg versmassa (VM) $ha^{-1}$ ) (op 100 %, 95 % en bij het breekpunt) en totale stikstof- (N) opname ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) (incl. N-opname wortelen van Tabel 2) in vergelijking met resultaten uit de literatuur (Bron: D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....   | 26 |
| Tabel 8:  | Fosfor- (P) concentratie ( $\%_o\ P$ ) en aantal metingen (#) van de vermarktbaar opbrengst van de huidige proeven, Nederlandse proeven vanaf 1990 bij optimale P-bodemconcentratie (Bron: Ehlert <i>et al.</i> , 2009) en recente Vlaamse percelen gemeten in kader van het A-propeau-project (Bron: Vandermoere <i>et al.</i> , 2018). ....   | 29 |
| Tabel 9:  | Het mineraal stikstofresidu in de bodem ( $kg\ NO_3^{-}-N\ ha^{-1}$ ) bij 90, 95 en 99% van de maximale vermarktbaar opbrengst. ....  | 37 |
| Tabel 10: | De bodemstikstof- (N) balans ( $kg\ N\ ha^{-1}$ ) bij het breekpunt van de minerale N ( $N_{min}$ ) -hoeveelheid bij de oogst en bij 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst (Gebaseerd op D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....   | 39 |
| Tabel 11: | Vergelijking van de berekende gemiddelde stikstof- (N) bemestingsdosis ( $kg\ werkzame\ N\ ha^{-1}$ ) (met standaardafwijking) bij 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst met de maximale N-bemestingsnormen in Vlaanderen en andere West-Europese landen of regio's (Gebaseerd op D'Haene <i>et al.</i> , 2018). ....  | 46 |

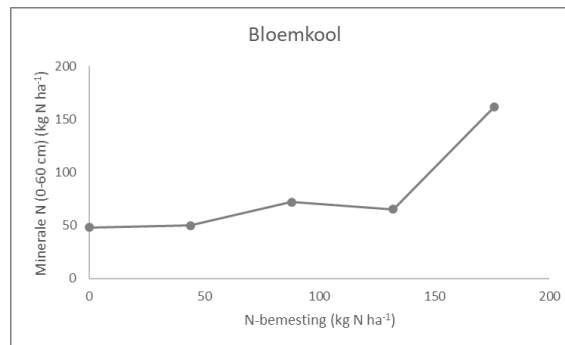
# 1 INLEIDING

In 2016, bedroeg het Europese tuinbouwareaal bijna 2.42 miljoen ha (respectievelijk 2.27 en 0.14 miljoen ha groente- en sierteelt). Dit komt overeen met 1.4 % van het landbouwareaal binnen Europa (Eurostat, 2018). Ondanks het relatief kleine areaal zorgden de tuinbouwgewassen in 2016 voor 13.2 % van de eindproductiewaarde van de Europese land- en tuinbouw dankzij hun hoge toegevoegde waarde in vergelijking met akkerbouwteelten (Forti, 2017). Het belang van de groenteteelt is in Vlaanderen groter dan in Europa. In 2013 werd op 4.3 % van het areaal groenten in openlucht geteeld, waarbij de groenten en groenten + sierteelt respectievelijk 12.6 % en 21.5 % van de eindproductiewaarde van de Vlaamse land- en tuinbouw uitmaakten (Bernaerts & Demuynck, 2015; Deuninck & Vervloet, 2016).

Om een hoge toegevoegde waarde te kunnen realiseren, moeten groenten na het schoonmaken en verpakken aan de 'visuele' kwaliteitseisen inzake de kleur, vorm en afmetingen voldoen, anders worden ze laagwaardig gevaloriseerd wat een belangrijke financiële impact heeft. Meer dan twee derde van de groentetelers kan een deel van zijn afzet niet verkopen in het beoogde afzetkanaal omdat er niet aan de 'visuele' kwaliteitseisen wordt voldaan. Gemiddeld wordt een afzetverlies van 10 % aangegeven, maar onderlinge verschillen naargelang de groente en de groenteteler kunnen groot zijn. Meer dan de helft van de misvormde groenten verdwijnt uit de humane voedselketen en wordt als veevoeder aangewend, vergist, gecomposteerd, op het land uitgevoerd of gewoonweg niet geoogst. Als belangrijkste oorzaak van 'visuele' defecten worden de onvoorspelbare klimaatomstandigheden gesuggereerd (Gellynck *et al.*, 2017). Omwille van het gevoel van sommige groentetelers dat er slechts een beperkte verlaging van de stikstof (N) -bemestingsdosis mogelijk is zonder een trade-off in opbrengsthoeveelheid en/of – kwaliteit worden hoge N-bemestingsdossissen aan groenten toegediend (Schenk, 2006). De hoge N-bemestingsdossissen via minerale en organische meststoffen in combinatie met de korte groeicycli, ondiepe beworteling, de hoge N-vraag tot aan de oogst van groenten geoogst in de vegetatieve fase resulteren vaak in hoge hoeveelheden minerale N ( $N_{min}$ ) in de bodem bij de oogst (Rahn, 2000; Anonymus, 2015b; D'Haene *et al.*, 2018).

In de verandering van lage naar optimale N-bemestingshoeveelheden, laten de meeste teelten echter een vrij constante nitraat- ( $NO_3^-$ ) N-hoeveelheid achter bij de oogst. Die constante  $NO_3^-$ -N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte, gedefinieerd als het latente  $N_{min}$ -residu, wordt beschouwd als de minimale  $NO_3^-$ -N-hoeveelheid die nodig is om een optimale groei te garanderen. Dit noodzakelijke  $NO_3^-$ -N-residu is gewasafhankelijk en blijft meestal vrij stabiel bij toenemende N-bemestingsdossissen tot een bepaald breekpunt waarna het  $NO_3^-$ -N-residu stijgt (vb. bloemkool (Figuur 1)). Boven het breekpunt verhoogt het risico van  $NO_3^-$ -uitspoeling tijdens de winter (Broadbent & Carlton, 1978; Hofman *et al.*, 1981; Neeteson & Whitemore, 1999). Proefpercelen met verschillende trappen van N-bemestingshoeveelheden worden gebruikt om dit breekpunt vast te stellen.





Figuur 1: Minerale stikstof (N) in de bodem (0-60 cm) (kg N ha<sup>-1</sup>) bij de oogst van bloemkool (Nederland) in functie van de N-bemestingsdosis (kg N ha<sup>-1</sup>) (Bron: Neeteson & Whitmore, 1999).

Een te hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentratie in het oppervlaktewater kan tot overmatige algengroei leiden en bedreigt de drinkwaterproductie (VMM, 2018). Om supra-optimale N-bemestingsstrategieën tegen te gaan, legde de nitraatrichtlijn een maximale concentratie van 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> per liter in grond- en oppervlaktewater op (Anonymus, 1991). Ondanks de geleverde inspanningen van de laatste 25 jaar om de N-verliezen te beperken en de N-efficiëntie te verhogen, blijven te hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentraties in het grond- en oppervlaktewater in landbouwgebieden, voornamelijk in regio's met veel groenten, een belangrijk milieuprobleem (Europese Commissie, 2018). Een te hoge N-bemestingsdosis kan ook een negatief effect hebben op opbrengsthoeveelheid en gewaskwaliteit vb. gevoeliger voor ziektes en plagen (Weinbaum *et al.*, 1992; Westerveld *et al.*, 2008), ongewenste NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-toename, voornamelijk bij bladgewassen (Rahn, 2000; Ekart *et al.*, 2013; Alborno, 2016) en daling van de houdbaarheid (Weinbaum *et al.*, 1992; Kodithuwakku & Kirthisinghe, 2009; Hoque *et al.*, 2010; Alborno, 2016).

Omwille van de hiervoor vermelde redenen is er nood aan een verhoging van de N-efficiëntie in de intensieve groenteteelt in openlucht. Fractionatie van de N-bemesting, doordachte teeltrotaties en beheer van oogstresten dragen bij tot het verhogen van de N-efficiëntie (Neeteson & Whitmore, 1999; Hartz, 2006; Deneufbourg *et al.*, 2013; Thompson *et al.*, 2013, Agneessens *et al.*, 2014a), maar het optimaliseren van de N-bemestingsdosis wordt als één van de beste methodes beschouwd om de N-efficiëntie te laten toenemen en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-verliezen naar grond- en oppervlaktewater te minimaliseren. Stikstofbemestingsnormen zijn dan ook een belangrijke pijler van het MestActiePlan (MAP) (Anonymus, 1991 & 2011b; van Grinsven *et al.*, 2012; D'Haene *et al.*, 2014; do Rosário Cameira & Mota, 2017; Fertilizer Institute, 2017).

Vijfennegentig % van de maximale opbrengsthoeveelheid wordt als een voorzichtige benadering gezien om N-bemestingsdossissen toe te dienen die zowel op ecologisch als op economisch vlak verantwoord zijn (Hochmuth *et al.*, 2014). Onder andere Maier *et al.* (1990), Pier & Doerge (1995) en Thompson *et al.* (2002) definieerden 95 % van



de maximale opbrengsthoeveelheid als aanvaardbaar voor het berekenen van de N-bemestings- en irrigatie-hoeveelheid bij respectievelijk uien (Australië), watermeloen (Amerika) en broccoli (Spanje). Sanderson & Sanderson (2006) gebruikten 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst om de optimale bemestingsdosis van fosfor (P) voor wortelen in Canada te bepalen. Bollons & Barraclough (1999), Saarela *et al.* (2006), Colomb *et al.* (2007) en Sánchez-Alcalá *et al.* (2015) bepaalden de optimum P-bodemklasse voor respectievelijk wintertarwe (Verenigd Koninkrijk), granen en koolzaad (Finland), granen (Frankrijk) en raaigras en raap (Spanje) op basis van 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst.

In deze studie analyseerden we een uitgebreide dataset van N-bemestingsproeven bij groenten met verschillende bewortelingsdieptes en N-opnamepatronen: alternatieve sla (*Lactuca sativa* L.), spinazie (*Spinacia oleracea* L.), prei (*Allium porrum* L.), wortelen (*Daucus carota* L. subsp. *sativus*), bloemkool (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) en spruiten (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*). We berekenden het effect van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid op opbrengsthoeveelheid, N-opname, de kwaliteitsparameters bladkleur en uniformiteit en latent  $N_{\min}$ -residu bij de oogst met het oog op het verfijnen van de N-bemestingsadviezen.

## 2 MATERIAAL EN METHODE

### 2.1 PROEFPERCELEN

Tussen 2009 - 2016 werden er voor groenten met een verschillende bewortelingsdiepte, teeltduur en N-opname-hoeveelheid proefpercelen met verschillende N-bemestingsdosissen op diverse locaties in de 3 Vlaamse groenteregio's aangelegd (Figuur 2 en Tabel 1). De N-bemestingstrappenproeven omvatten zware en lichte alternatieve sla en spinazie (bewortelingsdiepte ongeveer 30 cm), prei, wortelen en bloemkool (bewortelingsdiepte ongeveer 60 cm) en spruiten (bewortelingsdiepte ongeveer 90 cm). Een samenvatting van de bodem- en N-bemestingsdata van de verschillende teelten wordt in Tabel 1 gegeven. Volgens de Belgische textuurdriehoek (Tavernier, 1949) is de bodemtextuur van deze proefpercelen zand tot zandleem.

De meest experimenten werden aangelegd bij de eerste teelt van het jaar om de N-vrijstelling uit oogstresten van een voorafgaande teelt te vermijden, met uitzondering van 3 zware en 1 lichte alternatieve slateelt die voorafgegaan werden door sla en 1 preiperceel na spinazie.

Voor elke teelt berekenden we een dosis-responscurve voor opbrengsthoeveelheid (vermarktbaar en totaal) en N-opname en latent  $N_{\min}$ -residu in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid op basis van de gebundelde data

van de verschillende N-bemestingstrappenproeven. Samenvoegen van de data van de verschillende N-bemestingsstrappenproeven biedt de mogelijkheid om een meer algemene schatting van het bemestingseffect op de gewasopbrengst/N-opname en latent  $N_{\min}$ -residu te verkrijgen. Een ander positief effect van het samenvoegen, is dat de resultaten van N-bemestingsproeven met een beperkt aantal trappen in de analyse meegenomen kunnen worden. Gebundelde data omvatten in principe dezelfde informatie als de 'originele' niet samengevoegde gegevens, maar in een meer robuuste manier, waardoor willekeurige variabiliteit of ruis in de tijd en ruimte verlaagd wordt. De voorwaarden voor het bijeenbrengen van de gegevens van verschillende proeven zijn dat de aanleg, de doelstellingen en de gemeten gegevens voldoende vergelijkbaar zijn en dat individuele metingen beschikbaar zijn (Everaarts & Van den Berg, 1995; Hedman, 2003; Verma *et al.*, 2009). Elke proef werd aangelegd in minstens 3 herhalingen, met volgende N-trappen: onbemest, een adviesbemesting, een verlaagde en een verhoogde bemesting.



Figuur 2: Locatie van de proefpercelen (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

Tabel 1: Algemene eigenschappen van de proefpercelen (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

| Teelt                   | # locaties | Jaar       | Organische koolstofgehalte (%) | Bewortelingsdiepte (cm) | Gemiddelde plant- of zaaidatum (Juliaanse datum) | Bemestingsadviezen (kg werkzame N ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|------------|------------|--------------------------------|-------------------------|--|--|
| Lichte alternatieve sla | 7          | 2013 - '14 | 1.1 - 2.0                      | 30                      | 161 ± 69   | 70 - 137   |
| Zware alternatieve sla  | 6          | 2013 - '16 | 1.4 - 2.0                      | 30                      | 116 ± 58   | 71 - 155   |
| Spinazie *              | 10         | 2013 - '16 | 1.0 - 2.9                      | 30                      | 105 ± 49   | 164 - 233  |
| Prei                    | 9          | 2013 - '16 | 1.1 - 3.6                      | 60                      | 148 ± 38   | 91 - 265   |
| Wortelen*               | 5          | 2015 - '16 | 0.9 - 2.9                      | 60                      | 118 ± 40   | 60 - 73  |
| Bloemkool*              | 11         | 2009 - '16 | 1.2 - 3.6                      | 60                      | 90 ± 28  | 124 - 295  |
| Spruitkool*             | 5          | 2015 - '16 | 0.7 - 1.3                      | 90                      | 128 ± 11   | 190 - 260  |

\*: voornamelijk industriërassen

## 2.2 DE STIKSTOFBODEMBALANS

### 2.2.1 In- en outputs van de stikstofbodembalans

De in- en outputs van de stikstofbodembalans werden gekwantificeerd (Hofman *et al.*, 1981; Neeteson, 1995; D’Haene *et al.*, 2014) en het N-surplus werd als volgt berekend:

$$N\text{-surplus} = N_{\text{min}} \text{ bij zaai of planten} + N\text{-mineralisatie} + N\text{-depositie} + N\text{-bemestingsdosis} - \text{totale N-opname (inclusief wortels en loof)} - N_{\text{min}} \text{ bij de oogst} \quad (\text{kg N ha}^{-1}) \quad (1)$$

De N-hoeveelheid in het plantmateriaal is erg laag (< 2 kg N ha<sup>-1</sup>) voor alternatieve sla (Breimer, 1989), prei (Båth, 2001; PCG, 2014b), bloemkool (Alt *et al.*, 2000; PCG, 2014a) en spruitkool (Welch *et al.*, 1970; Booij & Biemond, 1994; Fiedler & Stützel, 2012) en kon dus verwaarloosd worden.

### 2.2.2 Minerale stikstof in de bodem bij plant of zaai en bij de oogst

Bodemmengstalen werden per 30 cm tot 90 cm diep genomen voor de zaai of het planten bij de start van het groeizoen en bij de oogst. De NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-concentratie van de gemengde bodem werd na extractie met 1 molair (M) kaliumchloride (KCl) oplossing colorimetrisch met een continuous flow auto- analyser in het extract gemeten. De ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) concentratie werd niet bepaald omdat de aanwezige hoeveelheid in de bodem laag is zowel voor als enkele maanden na de toediening van NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-houdende meststoffen (Demyttenaere *et al.*, 1990).

### 2.2.3 Stikstofmineralisatie

De N-hoeveelheid die via N-mineralisatie beschikbaar kwam, werd per locatie op basis van de onbemeste plots ingeschat. De data van onbemeste plots kan gebruikt worden om de netto N-mineralisatie van bodemorganische stof (BOS), oogstresten en vanggewassen te berekenen op voorwaarde dat andere factoren (vb. ziektes, weer, ...) de groei en N-opname niet verhinderen (Geisseler *et al.*, 2007). De N-hoeveelheid die via mineralisatie vrijgesteld werd, werd als volgt berekend:

$$N\text{-mineralisatie} = \text{totale N-opname onbemeste plots (inclusief wortels en loof)} + N_{\text{min}} \text{ onbemeste plots bij de oogst} - N_{\text{min}} \text{ bij zaai of planten} - N\text{-depositie} \quad (\text{kg N ha}^{-1}) \quad (2)$$

Deze aanpak levert de teeltbeschikbare N uit de N-mineralisatie, terwijl de totale N-mineralisatie hoger kan zijn omdat er tijdens de groei N-verliezen door vb. uitspoeling of denitrificatie kunnen optreden, vooral tijdens de vroege groeistadia van de gewassen als het N-mineralisatiepotentieel hoger is dan de N-opname door het gewas (Geisseler *et al.*, 2007; De Neve, 2017).



#### 2.2.4 Stikstofdepositie

De gemiddelde N-depositie bepaald door Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) (Vancaeynest, 2016), werd rekening houdend met de teeltduur, gebruikt.

#### 2.2.5 Stikstofbemestingsdosissen en teeltbeschikbare stikstofhoeveelheid

Elke proef bevatte volgende N-trappen: een onbemeste controle, een adviesbemesting en een 30 tot 50% verlaagde en verhoogde bemesting.

De streefwaarden voor de start- en bijbemestingen werden steeds bepaald op basis van het N-expert-systeem (vroeger KNS-systeem genoemd) van Feller *et al.* (2011) aangepast aan Vlaamse omstandigheden (Coopman *et al.*, 2014). Het N-expert-systeem houdt rekening met het tijdstip van de N-opname van de verschillende teelten. Sla, spinazie en bloemkool nemen reeds 3 tot 4 weken na zaai of planten tot aan de oogst N op, terwijl de significante N-opname bij prei, wortelen en spruiten later start en sterk daalt naar de oogst toe.

De startbemesting werd bepaald op basis van een mengstaal per herhaling. Voor de bijbemesting werd alleen rekening gehouden met de bodemvoorraad in het object met de optimale N-bemesting. De dosissen voor de verlaagde en verhoogde bemestingen werden berekend door de N-dosis voor de optimale trap te verlagen of te verhogen met een bepaald %. Ammoniumnitraat werd breedwerpig als N-meststof toegediend.

De teeltbeschikbare N-hoeveelheid werd voor elke N-bemestingstrap berekend:

$$\text{Teeltbeschikbare N-hoeveelheid} = N_{\text{min}} \text{ bij zaai of planten} + N\text{-depositie} + N\text{-mineralisatie} + N\text{-bemestingsdosis} \quad (\text{kg N ha}^{-1}) \quad (3)$$

#### 2.2.6 Totale en vermarktbaar opbrengst en nutriëntenopname

Zowel de totale als vermarktbaar opbrengst (in versmassa (VM)) en de totale N-opname (zonder niet-geogste wortels) werden bepaald. Het P-gehalte werd op enkele proefpercelen voor de 'N-bemestingstrap advies' bepaald. Omdat de hoeveelheid oogstresten van alternatieve sla laag is, werd het totale gewicht als vermarktbaar beschouwd. De N-concentratie werd met de Kjeldahl- (ISO 5983-2) of Dumasmethode (ISO 16634-1) bepaald. De P-hoeveelheid aanwezig in de plantendelen werd via Aqua Regia ontsluiting bepaald (NEN-EN 13805:2014).

De N-opname van de niet-geogste delen nl. wortels werden op basis van literatuurdata van bemeste percelen geschat (Tabel 2). Omdat verschillen in N-opname door wortels klein is, werd enkel een vast verschil in N-opname van 70 % bij de onbemeste ten opzichte van bemeste plots verondersteld. Dit kan tot een onder- of overschatting van de N-opname van niet-geogste wortels leiden maar de fout is klein (D'Haene *et al.*, 2014 & 2018).





Tabel 2: Stikstof- (N) opname van de niet-geogoste wortels (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

| Teelt                   | N-opname (kg N ha <sup>-1</sup> ) | Referenties   |
|-------------------------|-----------------------------------|---|
| Lichte alternatieve sla | 11                                | Murakami <i>et al.</i> (2002), Kerbiriou <i>et al.</i> , (2013), Giri <i>et al.</i> (2016)                |
| Zware alternatieve sla  | 14                                | Murakami <i>et al.</i> (2002), Kerbiriou <i>et al.</i> , (2013), Giri <i>et al.</i> (2016)                |
| Spinazie                | 14                                | Durrani <i>et al.</i> (2010); Overeem (2015); Giri <i>et al.</i> (2016)                                   |
| Prei                    | 7                                 | van de Poll (1998); Båth & Kling (2001)   |
| Bloemkool               | 14                                | Hochmuth (1999); Kage <i>et al.</i> (2000); Chaves <i>et al.</i> (2007); Agneessens <i>et al.</i> (2014b) |
| Spruitkool              | 17                                | Welch <i>et al.</i> (1970); Chaves <i>et al.</i> (2004)   |

## 2.3 KWALITEITSPARAMETERS

De NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-concentratie van sommige bladgroenten werd spectrofotometrisch gemeten na een ethanol-water extractie (ISO 6635:1984) en werd vergeleken met de Europese wettelijke maxima nl. 3000 en 4000 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> VM voor sla (respectievelijk geogost tussen 1 april en 30 september en tussen 1 oktober en 30 maart) en 3500 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> VM voor spinazie (Anonymus, 2011a).

Van de meeste proefvelden werd van de gewassen de bladkleur geëvalueerd op een 9-punten schaal tussen 1= licht- en 9= donkergroen. De uniformiteit van 3 sla-, 6 prei-, 3 wortel-, 5 bloemkool- en 3 spruitkoolpercelen werd visueel tussen 1= heterogeen en 9= uniform gescoord.

## 2.4 ECONOMISCHE BEREKENING

Gebaseerd op het kloksysteem (Belorta en REO veilingen) voor de verkoop van verse groenten werd de relatieve prijs van de verschillende klassen versmarkt voor lichte en zware alternatieve sla, prei en bloemkool berekend op basis van de gewogen gemiddelde wekelijkse prijzen rekening houdend met het verkochte volume per week voor de jaren 2013-2017. De hoogste klasse kreeg de relatieve prijs 1 en de andere klassen kregen een relatieve prijs lager dan 1. Per klasse werd de relatieve prijs met het verkoopbare vermarktbaar gewicht vermenigvuldigd om zo een economische opbrengst per bemestingsproef te berekenen.

Voor alternatieve sla worden de categorieën per 100 stuks gegeven. Voor lichte en zware alternatieve sla zijn er respectievelijk 8 (tussen 20 tot 45 kg (100 stuks)<sup>-1</sup>) en 6 Flandria categorieën (tussen 35 tot 80 kg (100 stuks)<sup>-1</sup>) (Flandria, 2019). Voor bloemkool en prei werden er -op basis van de kwaliteitseisen vnl. kleur- klassen met verschillende coderingen samengevoegd tot 5 klassen (Tabel 3 en Tabel 4).



Tabel 3: Kwaliteitseisen (voor kleur) voor bloemkoolhoofd en blad voor bloemkool versmarkt (Bron: veilingen)

| Categorie | Kwaliteitseisen                        |                               |
|-----------|--|-------------------------------|
|           | Bloemkoolhoofd                         | Blad                          |
| Flandria  | Zeer gelijkmatige hagelwitte kleur     | Frisgroen en vrij van ziekten |
| Extra     | Gelijkmatige witte of lichtcrème kleur | Frisgroen en vrij van ziekten |
| Klasse 1  | Lichte afwijking in kleur toegestaan   | Voldoende fris                |
| Klasse 2  | Lichte afwijking in kleur toegestaan   | /                             |
| Klasse 3  | Gele kleur mag                         | /                             |

Tabel 4: Kwaliteitseisen voor kleur voor prei versmarkt (Bron: veilingen)

| Categorie | Kwaliteitseisen   |  |
|-----------|---|--|
|           | Flandria  | Donkergroen fris blad, absoluut vrij van geelverkleuring blad of schacht |
| Extra     | Donkergroen fris blad, zeer kleine afwijkingen toegestaan |  |
| Klasse 1  | Groen fris blad   |  |
| Klasse 2  | Blad mag licht afwijkende kleur en vorm vertonen          |  |
| Klasse 3  | Kleurafwijkingen toegestaan                               |  |

Voor wortelen werd de economische opbrengst berekend door de vermarktbaar opbrengst met % verkoopbaar te vermenigvuldigen. De vermarktbaar spinazie voldeed aan de eisen voor industrieteelten (steel maximaal 15 % van gewicht en score bladkleur >7) (Inagro, 2010). Ook spruitkool voldeed aan de eisen voor industrieteelten en er werd geen verdere opdeling in klassen noch een economische opbrengst berekend.

## 2.5 UITGEBREID LOGISTISCH MODEL EN GESEGMENTEERDE LINEAIRE REGRESSIE

### 2.5.1 **Uitgebreid logistisch model**

Het uitgebreid logistisch model werd gebruikt om opbrengst, totale N-opname en kwaliteitsparameters te relateren aan de teeltbeschikbare N-hoeveelheid tijdens het groeiseizoen (Ratkowsky, 1983; Overman *et al.*, 2003; Brock, 2004):

$$Opbrengst = \frac{a}{1 + \exp(b - c * teeltbeschikbare\ N\ -hoeveelheid)}$$

(kg totaal, vermarktbaar of economische opbrengst ha<sup>-1</sup>) (4)

$$\text{Totale N-opname} = \frac{a}{1 + \exp(b - c * \text{teeltbeschikbare N-hoeveelheid})} \quad (\text{kg N ha}^{-1}) \quad (5)$$

$$\text{Score kwaliteitsparameter} = \frac{a}{1 + \exp(b - c * \text{teeltbeschikbare N-hoeveelheid})} \quad (1 - 9) \quad (6)$$

met a = maximum (totale, vermarktbaar of economische) opbrengst, N-opname of score van kwaliteitsparameter

b = intercept

c = responscoefficient

Modelfitting werd met Statistica met het Levenberg-Marquardt algoritme gedaan (Stat Soft Inc., 2012).

### 2.5.2 Gesegmenteerde lineaire regressie

Gesegmenteerde lineaire regressie is een methode waarbij het bereik van de onafhankelijke variabele opgedeeld wordt in segmenten en een regressie-analyse voor ieder segment wordt uitgevoerd. Gesegmenteerde lineaire regressie wordt toegepast als de relatie tussen de afhankelijke en onafhankelijke variabele plotse veranderingen vertoont. De grenzen tussen de segmenten worden breekpunten genoemd. Een breekpunt is een kritieke, veilige drempelwaarde waarboven of -onder (on)gewenste effecten voorkomen (Oosterbaan *et al.*, 1990; Ryan & Porth, 2007). Oosterbaan *et al.* (1990) ontwikkelden een methode voor het berekenen van de betrouwbaarheidsintervallen voor de breekpunten zodat het breekpunt met het kleinste betrouwbaarheidsinterval berekend wordt.

Voor de verschillende groenteteelten werd het latente  $N_{\min}$ -residu (enkel  $\text{NO}_3^-$ -N) tot bewortelingsdiepte in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid via gesegmenteerde lineaire regressie berekend. We testten ook een lineair, exponentieel, kwadratisch en machtsmodel en het model met de hoogste  $R^2$  werd geselecteerd.

## 3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

### 3.1 MINERALE STIKSTOF IN DE BODEM EN STIKSTOFMINERALISATIE

Om een maximaal effect van de toegediende N-meststofdosering te krijgen, werden er zoveel mogelijk situaties geselecteerd die andere factoren minimaliseren, nl. proefpercelen met laag  $\text{NO}_3^-$ -N-gehalte bij de zaai of het planten en eerste teelten zodat de N-aanvoer via mineralisatie van oogstresten beperkt was (Tabel 5). De gemiddelde  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij de zaai of het planten was erg variabel in de tijd en

////////////////////////////////////

tussen teelten variërend van respectievelijk  $15 \pm 7$  kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  in de laag 0-30 cm tot  $65 \pm 52$  kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  in de laag 0-90 cm voor respectievelijk spinazie en spruitkool. Deze grote verschillen zijn te verklaren door de weersomstandigheden tijdens de winter, teeltperiode (hoger  $\text{NO}_3^-$ -N-gehalte bij een tweede teelt) en de voortelt. De N is bijna hoofdzakelijk vrijgesteld uit BOS omdat zoveel mogelijk eerste teelten werden geselecteerd. Bij latere teelten komt via mineralisatie gemiddeld meer N ter beschikking voor de teelt omwille van de N aanwezig in oogstresten.

Deze resultaten geven aan dat om een wetenschappelijk onderbouwd N-bemestingsadvies te berekenen, er nood is aan een meting van de  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheid bij de zaai of het planten en/of bij fractioneren van de N-bemesting een meting van de  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheid of plantparameters voor de berekening van de bijbemesting (Abrás *et al.*, 2013b; Rahn *et al.*, 2015; Lazicki & Geisseler, 2016).

Tabel 5: Teeltduur (dagen), minerale stikstof (N) -hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij zaai of planten (kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$ ), N-mineralisatie tijdens de teelt (kg N  $\text{ha}^{-1}$  dag $^{-1}$ ), teeltbeschikbare N en latent minerale N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij de oogst (kg N  $\text{ha}^{-1}$ ) ( $\pm$  standaard afwijking) (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

| Teelt                   | Teeltduur (dagen) | Minerale N-hoeveelheid bij zaai of planten (kg $\text{NO}_3^-$ -N $\text{ha}^{-1}$ ) | N-mineralisatie tijdens de teelt (kg N $\text{ha}^{-1}$ ) [kg N $\text{ha}^{-1}$ dag $^{-1}$ ] | Teeltbeschikbare N-hoeveelheid bij het breekpunt (kg N $\text{ha}^{-1}$ ) | Latent minerale N-hoeveelheid tot het breekpunt (kg $\text{NO}_3^-$ -N $\text{ha}^{-1}$ ) |
|-------------------------|-------------------|--|--|---|---|
| Lichte alternatieve sla | 53 $\pm$ 14       | 35 $\pm$ 24  | 54 $\pm$ 32 [1.02]   | 133 $\pm$ 37  | 15 $\pm$ 8  |
| Zware alternatieve sla  | 63 $\pm$ 8        | 26 $\pm$ 24  | 41 $\pm$ 12 [0.65]   | 149 $\pm$ 20  | 16 $\pm$ 9  |
| Spinazie                | 62 $\pm$ 15       | 15 $\pm$ 17  | 25 $\pm$ 12 [0.40]   | 177 $\pm$ 63  | 7 $\pm$ 3   |
| Prei                    | 133 $\pm$ 19      | 50 $\pm$ 28  | 87 $\pm$ 59 [0.65]   | 255 $\pm$ 48  | 27 $\pm$ 15   |
| Wortelen                | 152 $\pm$ 8       | 40 $\pm$ 27  | 89 $\pm$ 38 [0.59]   | /   | /   |
| Bloemkool               | 84 $\pm$ 12       | 29 $\pm$ 11  | 64 $\pm$ 31 [0.76]   | 211 $\pm$ 73  | 22 $\pm$ 13   |
| Spruitkool              | 189 $\pm$ 16      | 65 $\pm$ 52  | 107 $\pm$ 26 [0.57]  | 432 $\pm$ 41  | 10 $\pm$ 2  |

/: er kon voor wortelen geen breekpunt berekend worden.

In de literatuur wordt een grotere range in  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheden bij zaai of planten gemeten vb. er werd in Nederland en Denemarken respectievelijk tussen 36 en 198 kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  en 42 en 98 kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$  in de 0-60 cm laag gemeten bij het planten van bloemkolen (Everaarts *et al.*, 1996; van den Boogaard, 1996).

Een betrouwbare inschatting van de N-vrijstelling via mineralisatie is waarschijnlijk de meest kritieke factor van een N-bemestingsadvies (Heumann *et al.*, 2013; Rahn *et al.*, 2015). De gemiddelde N-hoeveelheid die via mineralisatie van BOS en oogstresten vrijkomt, werd op basis van metingen in de onbemeste plots berekend (vergelijking 2) en varieerde van 25 tot 107 kg N  $\text{ha}^{-1}$  (Tabel 5) afhankelijk van de teeltduur en –periode en voortelt. Het effect van de temperatuur en het vochtgehalte is duidelijk in de gemiddelde N-mineralisatiesnelheden per dag en varieerden van 0.40 voor spinazie geteeld in de koude lentemaanden april en mei tot 1.02 kg N  $\text{ha}^{-1}$  dag $^{-1}$  voor alternatieve sla geteeld in de maanden mei tot augustus.

## 3.2 RESULTATEN IN FUNCTIE VAN STIKSTOFBEMESTINGSDOSIS EN TEELT-BESCHIKBARE STIKSTOF

### 3.2.1 Totale en vermarktbaar opbrengst en nutriëntenconcentratie en -opname

De N-bemestingsdosis heeft een invloed op zowel de totale en vermarktbaar opbrengst als de N-concentratie (Figuur 3 - Figuur 5).

Kennis van de verwachte opbrengst en N-opname is essentieel om de nodige teeltbeschikbare N en N-bemestingsdosis te bepalen. De berekende maximale totale en vermarktbaar opbrengst, N-concentratie en totale N-opname worden voor elke groenteteelt op basis van de samengebrachte data van de verschillende N-bemestings-trappenproeven in functie van de teeltbeschikbare N in Figuur 6 tot Figuur 8 gegeven. De verticale lijnen in Figuur 6 - Figuur 8 geven 95 % van de gefitte gemiddelde maximale vermarktbaar opbrengst. Het selecteren van 95 % in plaats van 100 % van de maximale opbrengst als basis voor de optimale teeltbeschikbare N of N-bemestingsdosis wordt gezien als een conservatieve benadering die ook rekening houdt met de milieurisico's (Hochmuth *et al.*, 2014).

De  $R^2$  waarden van de gefitte logistische curve tussen de totale en vermarktbaar opbrengst en N-opname en teeltbeschikbare N varieerden tussen 0.56 en 0.87 en de 3 coëfficiënten waren significant op  $p= 0.1$  (Tabel 6) (D'Haene *et al.*, 2018).

Figuur 9 toont dat de totale en vermarktbaar opbrengst van spinazie, prei en wortelen vergelijkbaar zijn met Vlaamse, Waalse en Nederlandse experimenten uit het verleden. Voor bloemkool kan de vermarktbaar opbrengst niet vergeleken worden aangezien in Figuur 9 de vermarktbaar opbrengst bloemkoolhoofd inclusief blad is. Een vergelijking van de totale en vermarktbaar opbrengst en totale N-opname van de verschillende teelten bij 100 en 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst met deze gebruikt bij N-bemestingsadviezen in Engeland, Duitsland en Vlaanderen toont aan dat de verschillen meestal tot 10 % beperkt zijn (Tabel 7) (Feller *et al.*, 2011; Coopman *et al.*, 2014; AHDB, 2017).

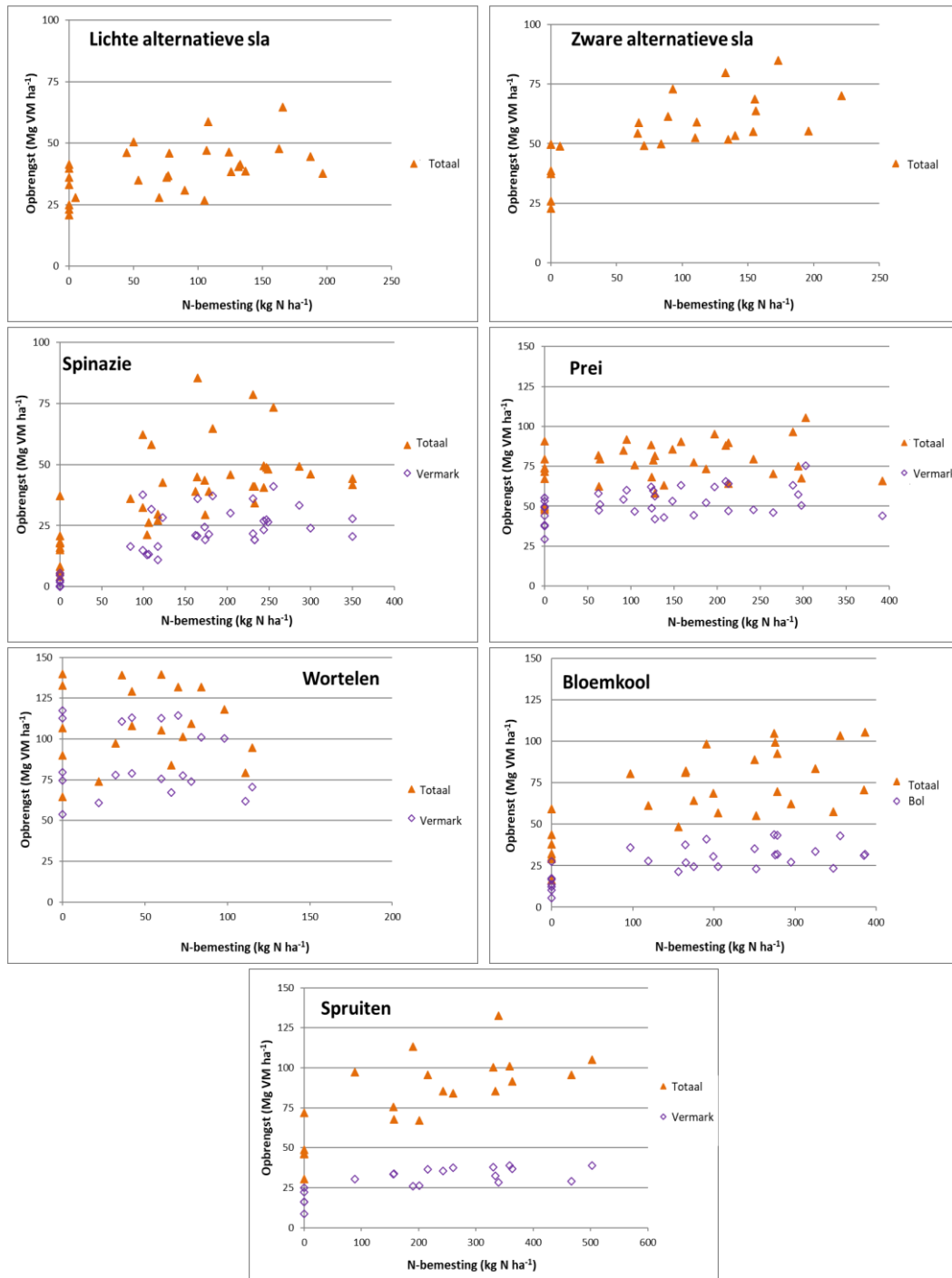
Algemeen was het verschil tussen de totale en vermarktbaar opbrengst het hoogst bij een hoge teeltbeschikbare N-hoeveelheid aangezien de vegetatieve groei toeneemt bij excessieve N-opname (Weinbaum *et al.*, 1992; Albornoz, 2016). Voor bloem- en spruitkool was de vermarktbaar opbrengst respectievelijk 40 en 31 % van de totale opbrengst met een gemiddelde maximum N-opname van respectievelijk 259 en 546 kg N ha<sup>-1</sup>.

////////////////////////////////////



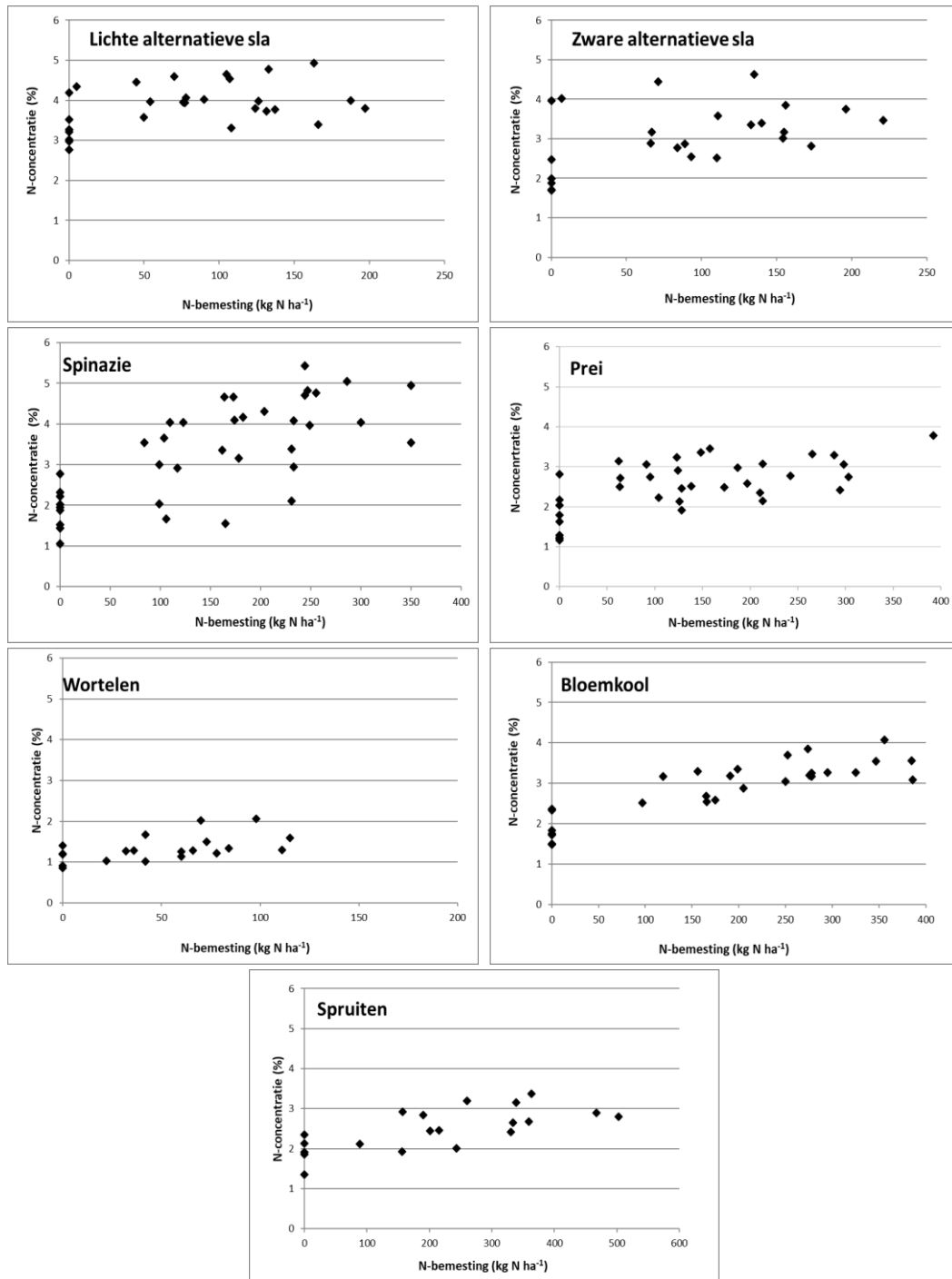
Figuur 3: Vermarktbaar opbrengst van spinazie, prei, wortelen (Foto's PSKW) en spruitkool (Foto PCG) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (van links naar rechts: onbemest, lager dan advies, advies en hoger dan advies).

////////////////////////////////////



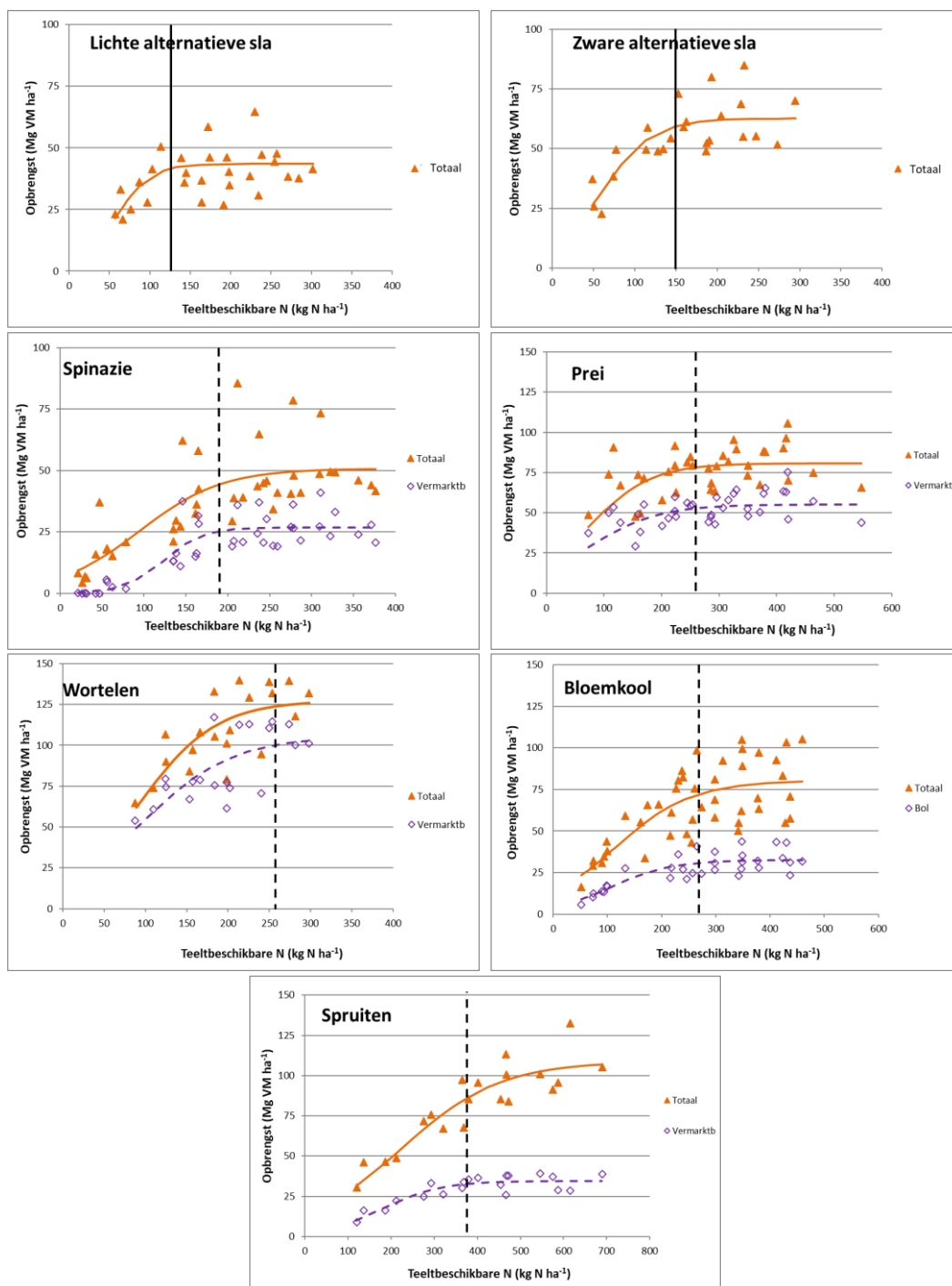
Figuur 4: Totale en vermarktbaar (vermark) opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst ha<sup>-1</sup>) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis.





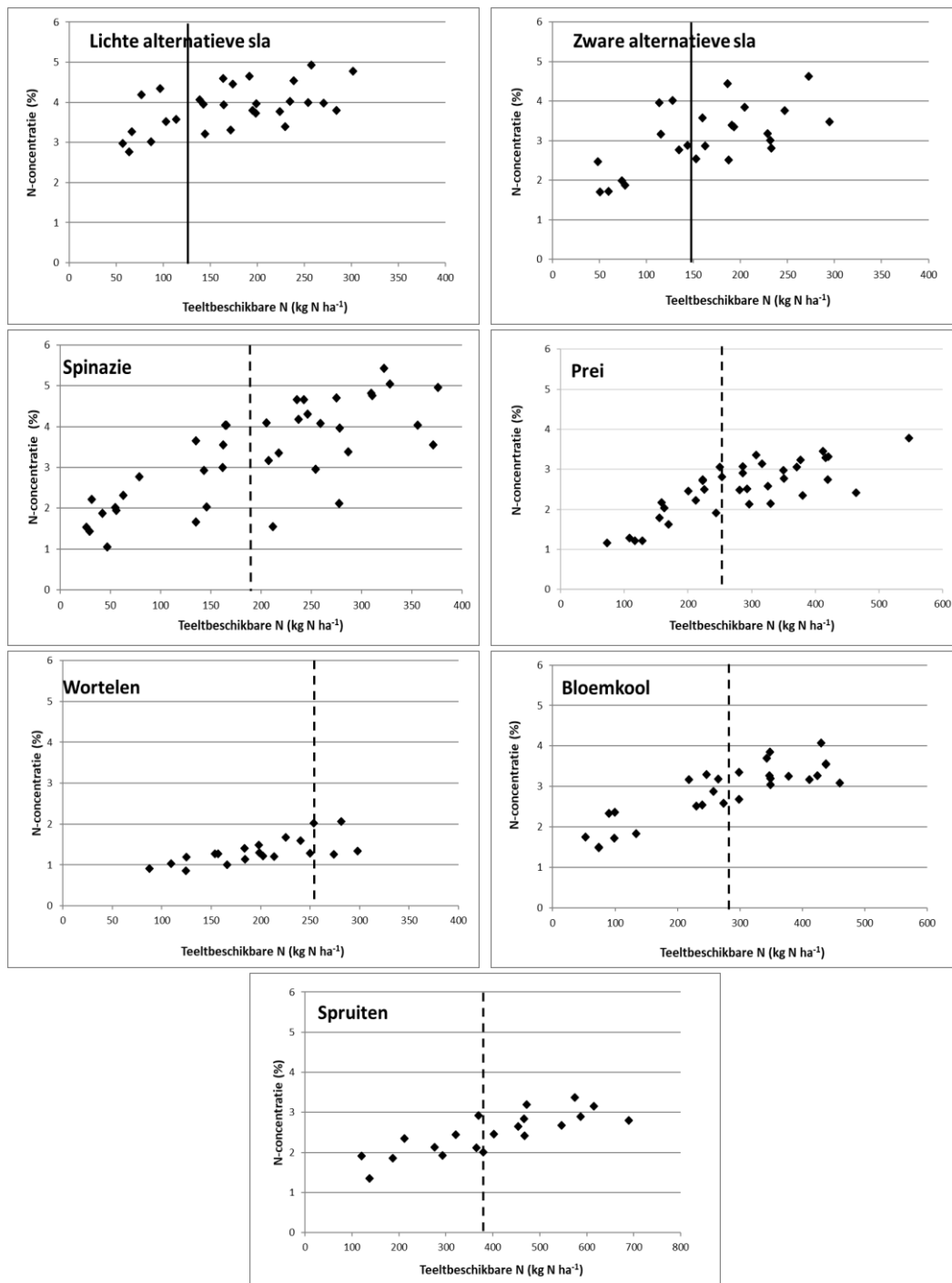
Figuur 5: Stikstof- (N) concentratie (% N) in functie van de N-bemestingsdosis.





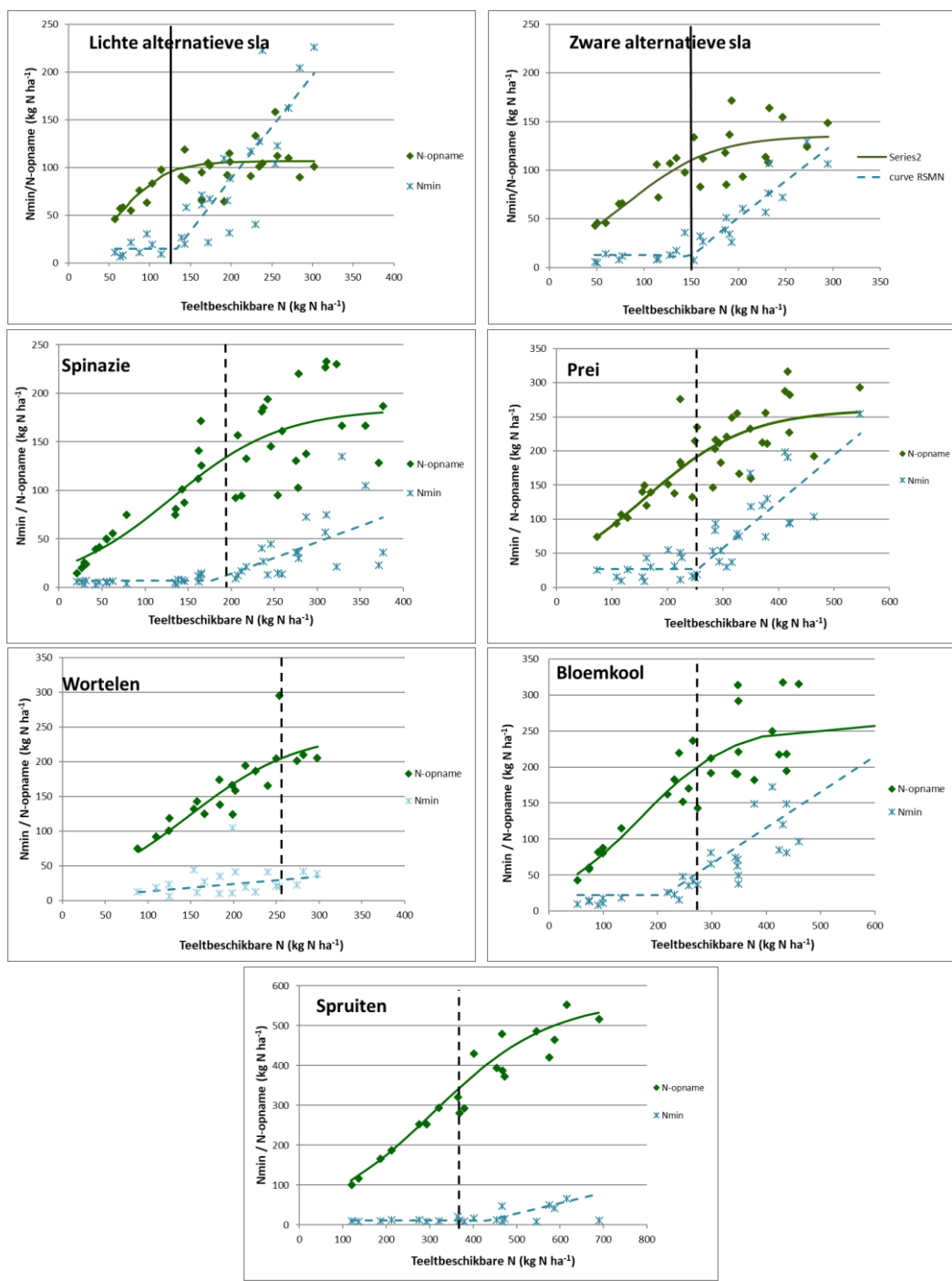
Figuur 6: Totale en vermarktbaar opbrengst dosis-responscurves (Mg versmassa (VM) opbrengst ha<sup>-1</sup>) in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).





Figuur 7: Stikstof- (N) concentratie (% N) in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening.



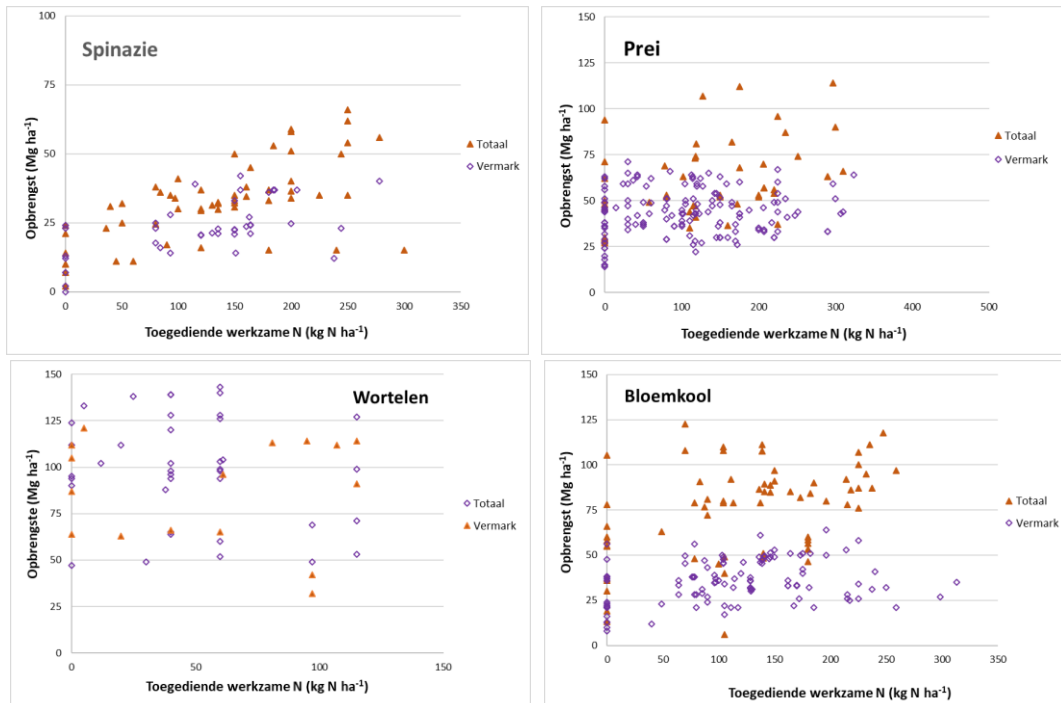


Figuur 8: Totale stikstof- (N) opname dosis-responscurves ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (volle lijn) en (gesegmenteerde) lineaire regressie van het minerale N-hoeveelheid tot bewortelingsdiepte bij de oogst ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) (stippellijn) in functie van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst gebaseerd op modelberekening (Bron: D’Haene *et al.*, 2018).

Tabel 6: Statistiek van de gefitte uitgebreid logistische curves ( $R^2$ = determinatiecoëfficiënt, a = maximum, b = intercept en c = responscoëfficiënt (vergelijkingen 4 tot 6)) (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

|                         | # percelen | R <sup>2</sup> | a     |        |     | b      |     | c      |     |
|-------------------------|------------|----------------|-------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|
| Vermarktbaar opbrengst  |            |                |       |        |     |        |     |        |     |
| Spinazie                | 10         | 0.76           | 26.9  | ± 1.5  | *** | 5.2084 | **  | 0.0422 | **  |
| Prei                    | 8          | 0.56           | 55.3  | ± 2.6  | *** | 1.1191 | *   | 0.0161 | *** |
| Wortelen                | 5          | 0.68           | 105.4 | ± 11.3 | *** | 1.7568 | **  | 0.0183 | **  |
| Bloemkool               | 8          | 0.70           | 32.4  | ± 1.8  | *** | 1.9062 | *** | 0.0179 | **  |
| Spruitkool              | 6          | 0.86           | 34.5  | ± 1.5  | *** | 2.6144 | *** | 0.0146 | *** |
| Totale opbrengst        |            |                |       |        |     |        |     |        |     |
| Lichte alternatieve sla | 7          | 0.63           | 43.5  | ± 2    | *** | 2.6385 | *   | 0.0478 | **  |
| Zware alternatieve sla  | 6          | 0.72           | 62.6  | ± 3.2  | *** | 1.8773 | **  | 0.0321 | **  |
| Spinazie                | 10         | 0.60           | 50.7  | ± 4    | *** | 1.9091 | *** | 0.0203 | *** |
| Prei                    | 9          | 0.58           | 80.9  | ± 3.1  | *** | 1.2910 | *   | 0.0182 | *** |
| Wortelen                | 5          | 0.77           | 127.4 | ± 9.1  | *** | 1.9620 | **  | 0.0214 | **  |
| Bloemkool               | 11         | 0.59           | 80.4  | ± 5.3  | *** | 1.6383 | *** | 0.0142 | **  |
| Spruitkool              | 6          | 0.87           | 108.8 | ± 7.7  | *** | 1.9390 | *** | 0.0087 | *** |
| Totale stikstofopname   |            |                |       |        |     |        |     |        |     |
| Lichte alternatieve sla | 7          | 0.67           | 107   | ± 5    | *** | 2.3443 | **  | 0.0361 | **  |
| Zware alternatieve sla  | 6          | 0.75           | 136   | ± 11   | *** | 1.9049 | *** | 0.0225 | *** |
| Spinazie                | 10         | 0.76           | 184   | ± 16   | *** | 2.0616 | *** | 0.0157 | *** |
| Prei                    | 9          | 0.71           | 261   | ± 23   | *** | 1.7198 | *** | 0.0108 | *** |
| Wortelen                | 5          | 0.81           | 243   | ± 39   | *** | 2.2841 | *** | 0.0155 | *** |
| Bloemkool               | 11         | 0.78           | 259   | ± 18   | *** | 2.0000 | *** | 0.0119 | *** |
| Spruitkool              | 6          | 0.94           | 564   | ± 42   | *** | 2.2787 | *** | 0.0074 | *** |
| Bladkleur               |            |                |       |        |     |        |     |        |     |
| Spinazie                | 3          | 0.86           | 7.9   | ± 0.6  | *** | 1.3788 | *** | 0.0205 | **  |
| Prei                    | 5          | 0.91           | 7.0   | ± 0.2  | *** | 1.9832 | *** | 0.0202 | *** |
| Bloemkool               | 8          | 0.78           | 7.2   | ± 0.4  | *** | 1.0662 | *** | 0.0116 | *** |

\*, \*\* en \*\*\* duiden respectievelijk op significantie bij p=0.1, p=0.05 en p=0.01



Gebaseerd op experimenten uit Vlaanderen, Wallonië en Nederland

- Spinazie:
- Vlaanderen (2004 - 2013) (Inagro & PCG),
  - Wallonië (1998 - 2003) (Frankinet *et al.*, 2001; Renard *et al.*, 2007; Fonder *et al.*, 2010),
  - Nederland (2009) (Scholberg *et al.*, 2010),
- Prei:
- Vlaanderen (2005 - 2016) (Inagro, PCG & PSKW),
  - Nederland (2006 - 2010) (de Ruijter, 2008; Van Geel, 2008; van der Burgt & Staps, 2010; Van Wijk *et al.*, 2010; de Haan *et al.*, 2011),
- Wortelen:
- Vlaanderen (2006 - 2013) (Inagro & PCG),
  - Wallonië (2005 - 2008) (Abrás *et al.*, 2013a; Deneufbourg *et al.*, 2010),
- Bloemkool:
- Vlaanderen (2000 - 2015) (Inagro, PCG & PSKW),
- Opm.: Vermarktbaar opbrengst = bloemkoolhoofd + blad.

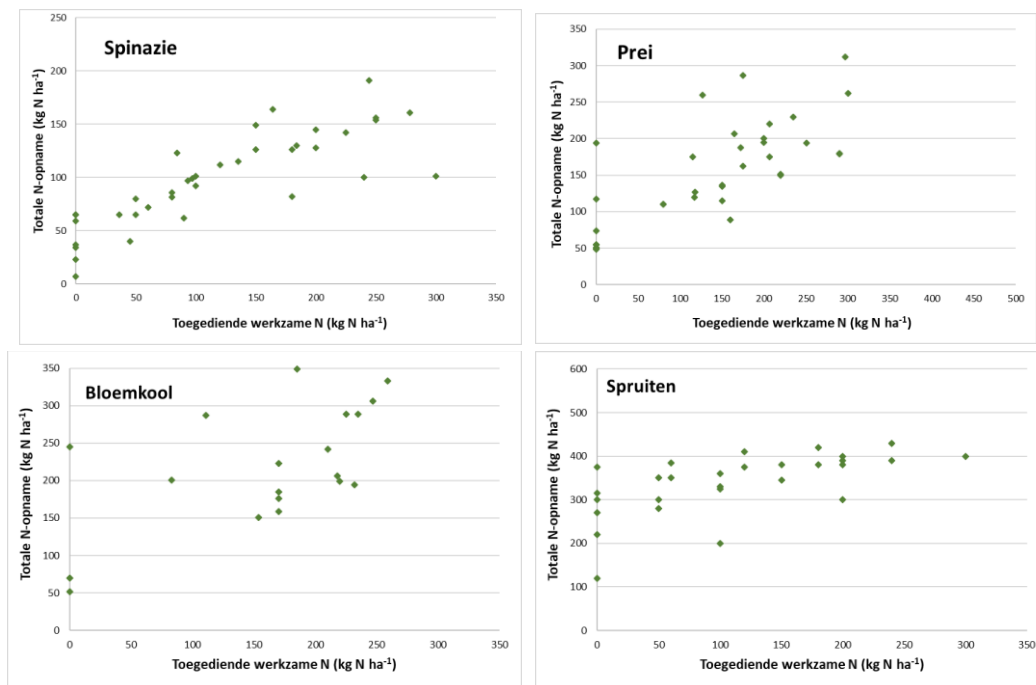
Figuur 9: Totale en vermarktbaar (vermark) opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst ha<sup>-1</sup>) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis.

De verscheidenheid in N-opname tussen de verschillende groenteteelten is te verklaren door een combinatie van opbrengst en N-concentratie. De hoogste N-concentraties (% op droge stof) in de bemeste plots werden gemeten bij alternatieve sla ( $4.1 \pm 0.4$  en  $3.3 \pm 0.6$  % voor respectievelijk lichte en zware alternatieve sla) en spinazie ( $3.7 \pm 1.0$  %) en de laagste waarden bij wortelen ( $1.7 \pm 0.4$  %) (Figuur 7). Ondergrondse plantendelen hebben gemiddeld een lagere N-concentratie dan bovengrondse plantendelen (Thorup-Kristensen & Sørensen, 1999).





De maximale N-opname wordt bij een hogere teeltbeschikbare N-hoeveelheid bereikt dan de maximale opbrengst omdat zowel de totale opbrengst als de N-concentratie toenemen (Figuur 6 - Figuur 8). De gemiddelde maximale totale N-opname varieerde van 107 kg N ha<sup>-1</sup> voor lichte alternatieve sla tot 564 kg N ha<sup>-1</sup> voor spruitkool (D'Haene *et al.*, 2018). De maximale N-opnames van prei en bloemkool zijn vergelijkbaar met proeven uit het verleden terwijl de maximale N-opnames van spinazie maar vooral bij spruiten hoger zijn (Figuur 8 en Figuur 10). Bij spruiten werd in deze studie bij de overbemeste trap 330 tot 503 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> toegediend, terwijl bij Booij & Biemond (1994) en Vandendriessche *et al.* (1995) bij de hoogste trappen tussen 200 en 300 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> toegediend werd. De zeer hoge hoeveelheden toegediende N resulteerden vooral in een toename van de hoeveelheid en de N-inhoud van de oogstrest van de spruitkool.



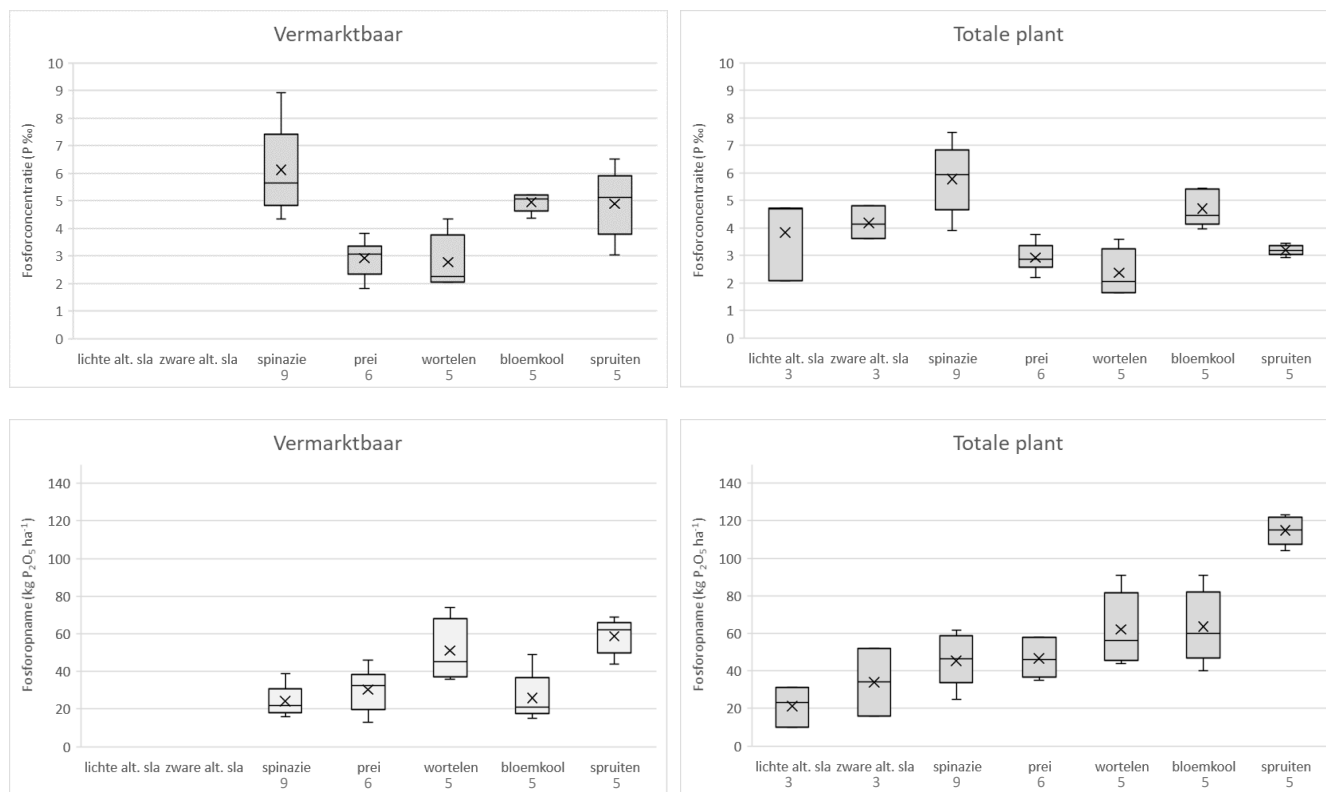
Gebaseerd op experimenten uit Vlaanderen, Wallonië en Nederland

- Spinazie:
- Wallonië (1998 - 2003) (Frankinet *et al.*, 2001; Renard *et al.*, 2007),
  - Nederland (2009) (Scholberg *et al.*, 2010),
- Prei:
- Nederland (2006 - 2010) (de Ruijter, 2008; Van Geel, 2008; van der Burgt & Staps, 2010; Van Wijk *et al.*, 2010; de Haan *et al.*, 2011),
- Bloemkool:
- Nederland (2007 - 2008) (Van Geel & Wilms, 2008; van Geel *et al.*, 2009),
- Spruiten:
- Vlaanderen (1991 - 1992) (Vandendriessche *et al.*, 1995),
  - Nederland (1993 - 1994) (Booij & Biemond, 1994).

Figuur 10: Totale stikstofopname (kg N ha<sup>-1</sup>) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis.



Kennis van de P-concentratie en verwachte export van fosfaat ( $P_2O_5$ ) is essentieel om de P-bemestingsdosis te bepalen. De P-concentraties en -opnames van de vermarktbaar en totale opbrengst gemeten bij de 'N-bemestings-trap advies' van 3 tot 9 proefpercelen per teelt worden in Figuur 11 gegeven.



alt= alternatieve

Figuur 11: Fosfor- (P) concentratie (% P) (boven) en P-opname ( $kg P_2O_5 ha^{-1}$ ) (onder) van de vermarktbaar (links) en totale opbrengst (rechts) (x is het gemiddelde en horizontale lijn is de mediaan). De cijfers geven het aantal metingen weer.

De P-concentratie van de optimaal bemeste N-trap van de huidige proeven ligt meestal tussen de P-concentratie van Nederlandse proeven en recente Vlaamse percelen uit respectievelijk de studie van Ehlert *et al.* (2009) en Vandermoere *et al.* (2018) (Tabel 8). In de studie van Ehlert *et al.* (2009) werden enkel de cijfers van percelen met een optimale P-bodemconcentratie weerhouden. In Vlaanderen hebben de meeste bodems een P-concentratie boven het optimum (VLM, 2018), wat de hogere P-concentratie gemeten door Vandermoere *et al.* (2018) kan verklaren.





Tabel 8: Fosfor- (P) concentratie (‰ P) en aantal metingen (#) van de vermarktbaar opbrengst van de huidige proeven, Nederlandse proeven vanaf 1990 bij optimale P-bodemconcentratie (Bron: Ehlert *et al.*, 2009) en recente Vlaamse percelen gemeten in kader van het A-propeau-project (Bron: Vandermoere *et al.*, 2018).

|                         | Huidige proeven |            | Nederlandse proeven vanaf 1990 bij optimale P-bodemconcentratie |            | Recente Vlaamse percelen A-propeau |
|-------------------------|-----------------|------------|---|------------|------------------------------------|
|                         | Mediaan (‰ P)   | # metingen | Mediaan (‰ P)   | # metingen | Gemiddelde (‰ P)                   |
| Lichte alternatieve sla | 4.7             | 3          |   |            |                                    |
| Zware alternatieve sla  | 4.1             | 3          |   |            |                                    |
| Spinazie                | 5.6*            | 8          | 5.0   | 10         | 6.1                                |
| Prei                    | 3.1             | 6          | 3.3   | 46         | 3.7*                               |
| Wortelen                | 2.3*            | 5          | 2.7   | 48         | 2.3*                               |
| Bloemkool               | 5.1*            | 5          | 6.1   | 35         | 6.6                                |
| Spruitkool              | 5.1*            | 5          | 4.8   | 38         | 6.1                                |

\*: geteeld voor industrie

De P-concentraties van het bloemkoolhoofd en spruiten voor industrie liggen beduidend lager dan deze gemeten in het bloemkoolhoofd en spruiten geteeld voor de versmarkt (Vandermoere *et al.*, 2018). Planten nemen vooral in het jeugd stadium veel P op zodat de industriegroenten die gemiddeld bij een hoger gewicht geoogst worden in een lagere P-concentratie resulteerden dan de groenten geteeld voor de versmarkt. De gemeten P-concentraties voor bloemkool van de huidige studie zijn eveneens lager dan de metingen van Verlinden *et al.* (2007) (5.6 ‰ P) en Coussens *et al.* (2009) (5.8 - 6.2 ‰ P) in Vlaanderen, maar hoger dan het gemiddelde (4.1 ‰ P) gemeten door Beudet & Tremblay (2006) op 18 percelen in Quebec (Canada) (2001 - 2002) met slechts 5 percelen met een hoge P-bodemconcentratie. Door Coussens *et al.* (2009) werd ook een lage P-concentratie gemeten voor spruiten nl. 5.1 ‰ P in Vlaanderen.

De hoge P-concentratie van prei gemeten in het A-propeau-project is gelinkt aan het feit dat industriërassen op vraag van de verwerkers een hoger percentage witte schacht (De Reycke & Winnepeninckx, 2014) met hoger P-concentratie hebben dan voor de versmarkt waar er meer groen aanwezig is met een lagere P-concentratie.

Figuur 11 geeft ook de gemiddelde P-opname van de verschillende groenten weer. Door het beperkt aantal metingen moeten deze resultaten voorzichtig geïnterpreteerd worden, maar uit de cijfers blijkt dat er een grote verscheidenheid bestaat in de P-hoeveelheid die een groente opneemt en afvoert van een perceel, terwijl in het MAP voor alle groenten met 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> wordt gerekend (Anonymus, 2011b). Bij sommige teelten vb. spruiten komt de maximale P-bemesting overeen met de P-export, maar andere groenten voeren slechts de helft af vb. sla. Een diversifiëring van de P-bemestingsnormen voor groenten kan dus een interessante manier vormen om efficiënter met P om te springen. Indien men dit doet, dient men er rekening mee te houden dat er binnen één teeltseizoen meerdere groenten op een perceel geteeld kunnen worden (Vandermoere *et al.*, 2018).



## 3.2.2 Kwaliteitsparameters

### 3.2.2.1 Inleiding

Volgens het gevoel van sommige groentetelers kan de N-bemestingsdosis maar beperkt verlaagd worden zonder een risico op trade-off met de vermarktbare opbrengst en kwaliteit. Het effect van de kwaliteit op de prijs is hoog bij groenten in vergelijking met akkerbouwteelten en belangrijker voor groenten voor de versmarkt dan industrie-groenten (vb. de consument wil prei met witte schacht en donkergroene bladeren (Van Hoof, 2015)).

De teeltbeschikbare N-hoeveelheid kan op verschillende kwaliteitsparameters een invloed hebben, maar in deze studie werden  $\text{NO}_3^-$ -concentratie, bladkleur en uniformiteit onderzocht.

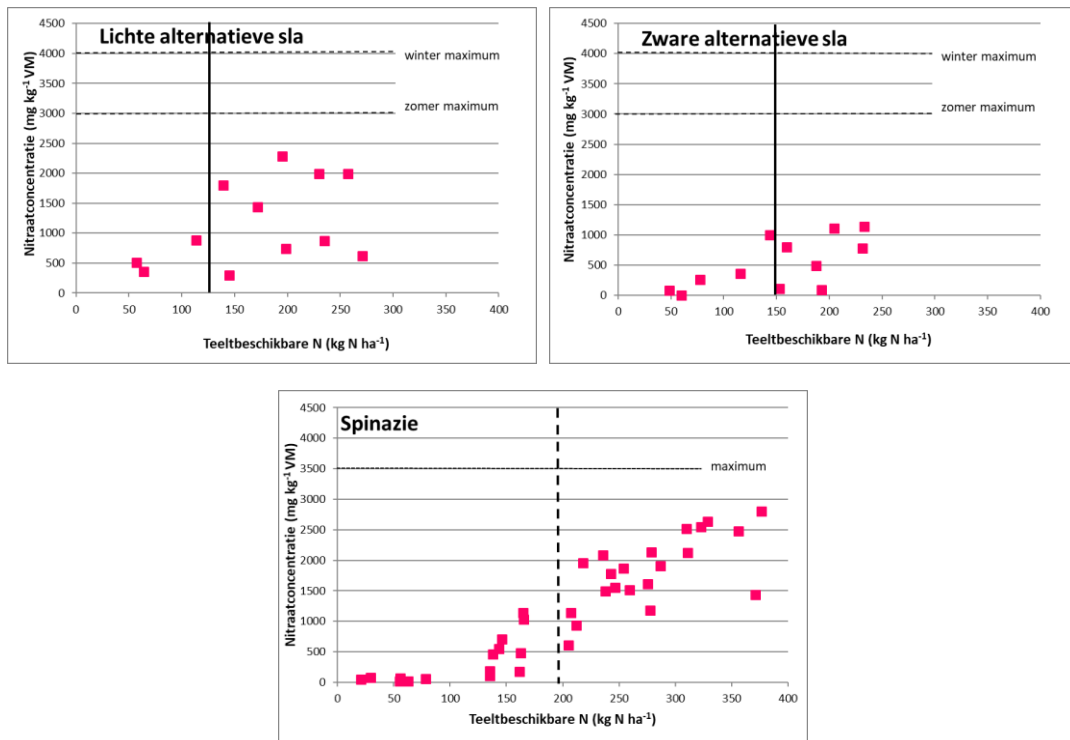
### 3.2.2.2 Nitraatconcentratie

Hoge N-bemestingshoeveelheden kunnen in hoge  $\text{NO}_3^-$ -concentraties resulteren, vooral in het blad. Zodoende hebben bladgroenten een hogere  $\text{NO}_3^-$ -concentratie en zijn ze een belangrijke bron van  $\text{NO}_3^-$  in onze voeding (Santamaria, 2006; Ekart *et al.*, 2013). Omdat de  $\text{NO}_3^-$ -concentratie niet enkel afhangt van de groente, maar ook van de teeltomstandigheden zijn de wettelijke maxima afhankelijk van de groente en de oogstperiode (Rahn, 2000; Ekart *et al.*, 2013). Figuur 12 toont dat alle gemeten  $\text{NO}_3^-$ -concentraties onder de wettelijke norm bleven. De gemeten  $\text{NO}_3^-$ -concentratie was laag in alle onbemeste plots. Bij spinazie steeg de  $\text{NO}_3^-$ -concentratie bij hogere teeltbeschikbare N-hoeveelheid in de bodem en in mindere mate voor alternatieve sla. Dit komt overeen met literatuurdata (Figuur 13), met uitzondering van 3 van 6 experimenten met Batavia sla in Engeland waar het maximum van  $3000 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  overschreden werd bij een bemesting van 120, 170 en 220 kg toegediende werkzame N  $\text{ha}^{-1}$  (AHDB, 2014). Deze sla werd echter jong geoogst als babyleaf sla wat het hoog risico van hoge  $\text{NO}_3^-$ -concentratie verklaart.

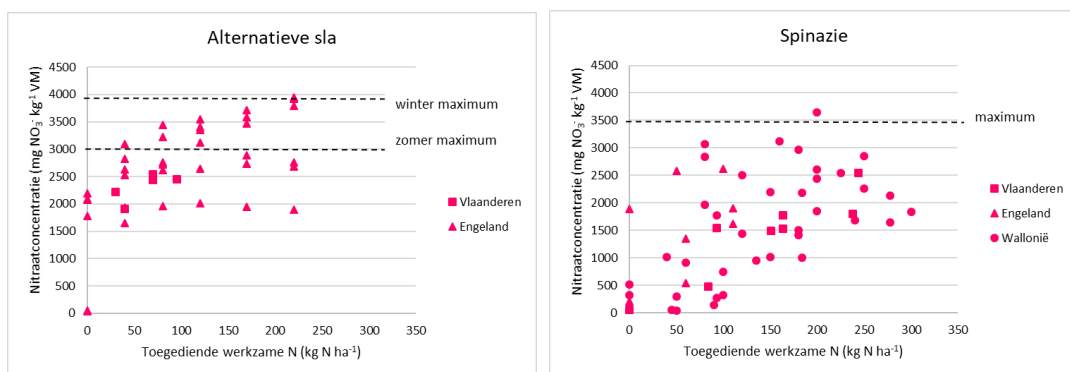
### 3.2.2.3 Bladkleur

De score voor bladkleur nam toe bij een hogere teeltbeschikbare N-hoeveelheid, maar de maximum score van 9 werd weinig gegeven (Figuur 14). Het effect van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid was klein voor alternatieve sla, maar hoger voor spinazie en prei. De onbemeste spinazie was lichtgroen en kon niet vermarkt worden. Echter, 95 % van de gemiddelde maximale score voor bladkleur en vermarktbare opbrengst werd bij een vergelijkbare teeltbeschikbare N-hoeveelheid vastgesteld.

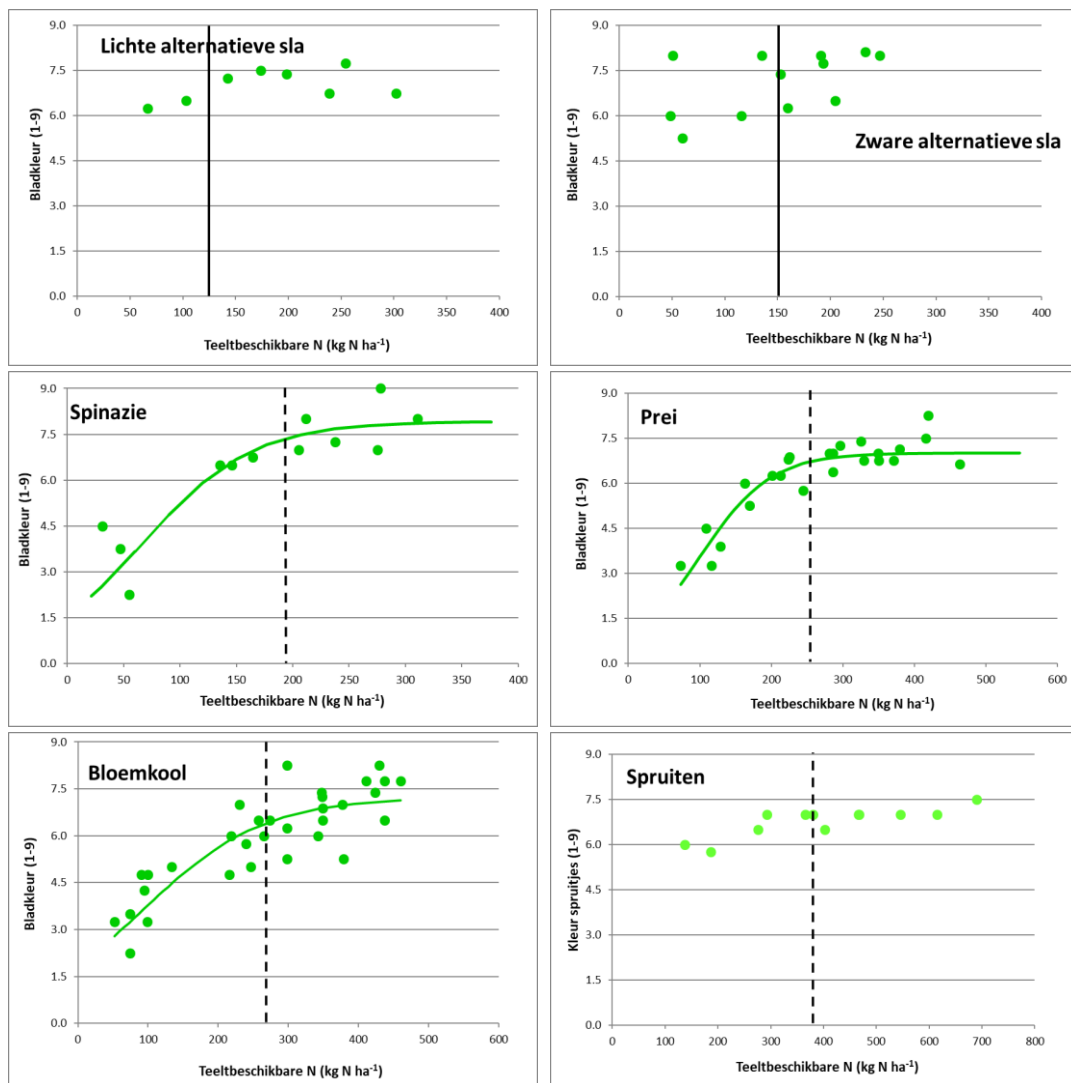




Figuur 12: Nitraatconcentratie ( $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  versmassa (VM)) bij alternatieve sla en spinazie in functie van teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).



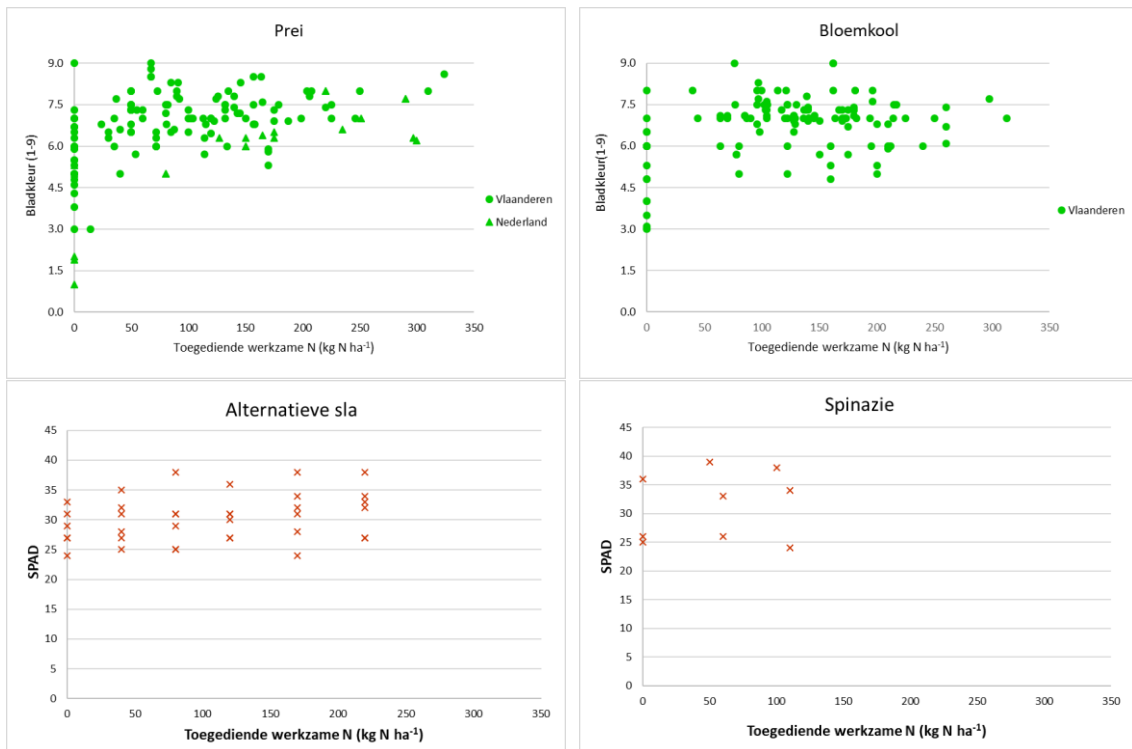
Figuur 13: Nitraatconcentratie ( $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$  versmassa (VM)) bij alternatieve sla (2013) (Gebaseerd op AHDB, 2014) en spinazie in Engeland (2012) (Gebaseerd op AHDB, 2013) en spinazie (1998 - 2003) in Wallonië (Gebaseerd op Frankinet *et al.*, 2001; Renard *et al.*, 2007; Fonder *et al.*, 2010) en alternatieve sla (2004) en spinazie (2004 - 2013) in oudere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).



Figuur 14: De score van bladkleur (1 - 9) van sla, spinazie, prei en bloemkool en kleur van de spruitjes bepaald bij de oogst in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D'Haene *et al.*, 2018).

In Engeland werd met een SPAD-chlorofyl meter enkel een kleureffect van onbemest ten opzichte van bemest voor respectievelijk 3 van 6 en 2 van 3 bemestingsexperimenten in sla en spinazie vastgesteld (Figuur 15) (AHDB, 2013 & 2014), terwijl Hartz *et al.* (2000) geen effect van een gereduceerde N-bemestingsdosis op de kleur maten. Een lagere score door een licht groene kleur werden enkel gegeven voor niet- of onderbemeste percelen vb. prei in Nederland en bloemkool in Vlaanderen.

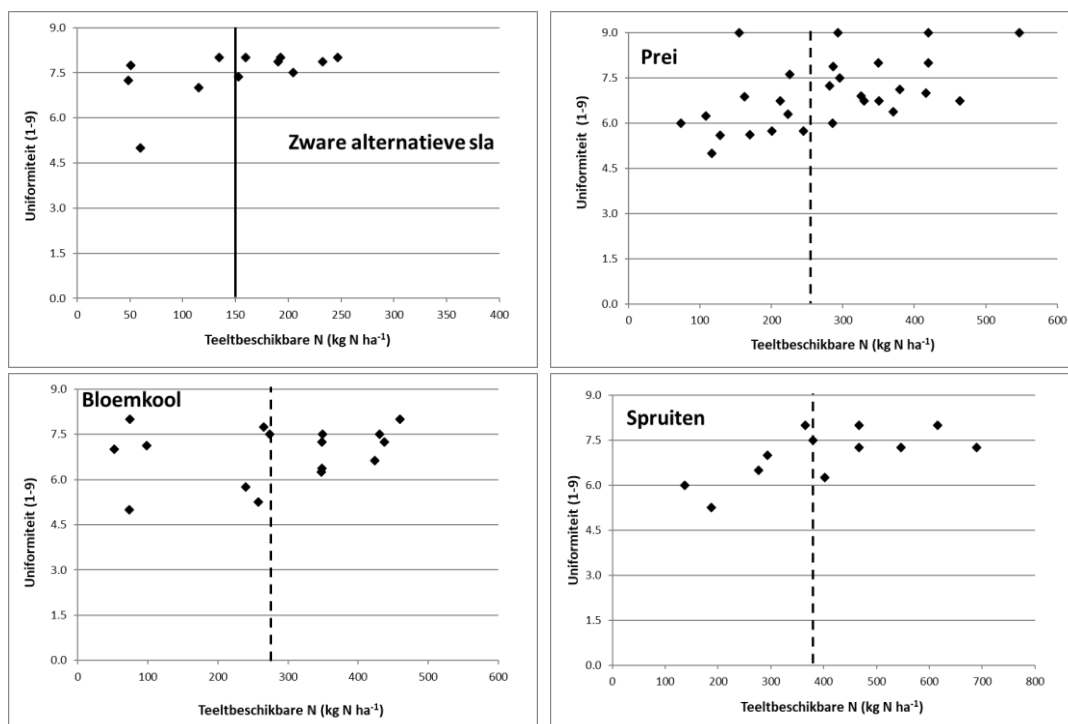




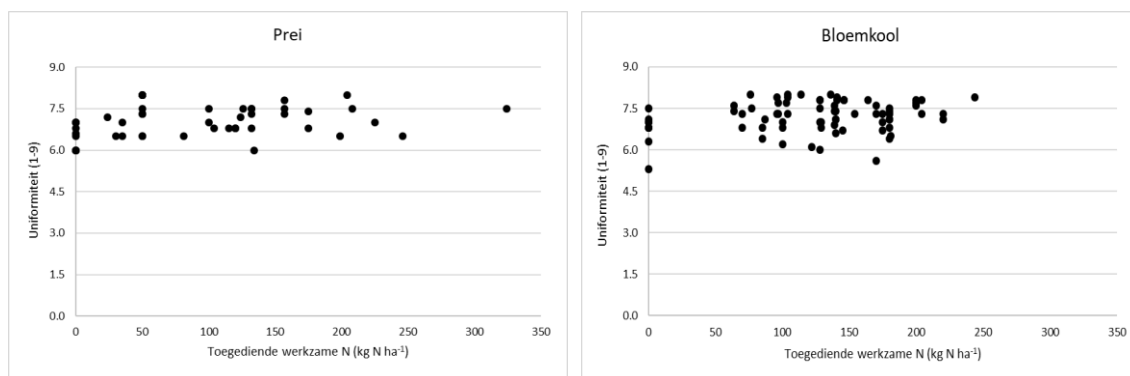
Figuur 15: De score van bladkleur (1 - 9) van prei (2007 - 2010) bepaald bij de oogst in Nederland (Gebaseerd op de Ruijter, 2008; Van Geel, 2008; de Haan *et al.*, 2011) en van prei (2001 - 2016) en bloemkool (2000 - 2015) in eerdere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) en SPAD metingen bij alternatieve sla (2013) en spinazie (2012) in Engeland (AHDB 2013 & 2014) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Gebaseerd op D'Haene *et al.*, 2018).

### 3.2.2.4 Uniformiteit

De teeltbeschikbare N-hoeveelheid had een beperkte invloed op de uniformiteit bij sla, prei, wortelen, bloemkool en spruitkool in de huidige studie (Figuur 16) en prei en bloemkool in andere Vlaamse experimenten (Figuur 17).



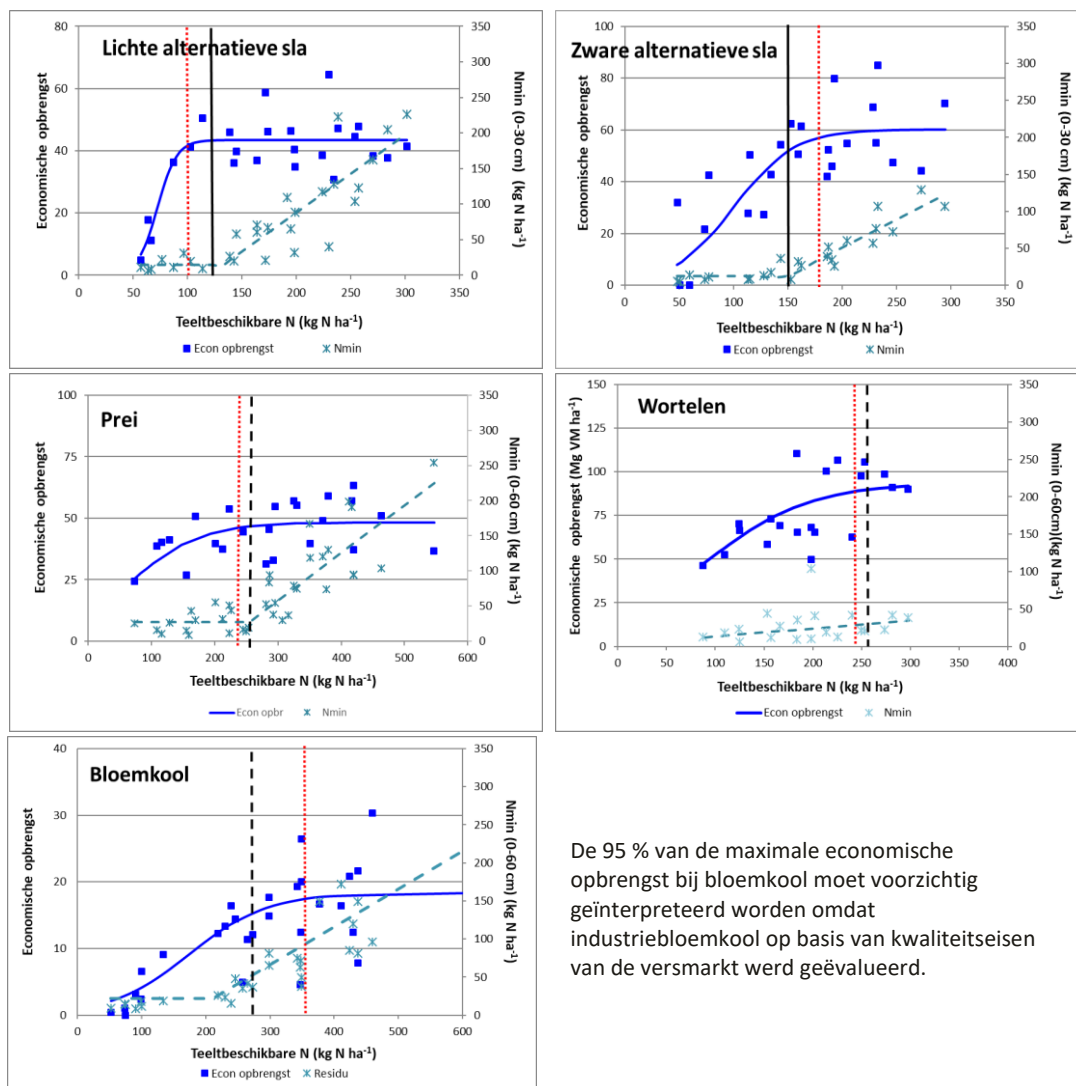
Figuur 16: De score van uniformiteit (1 - 9) bepaald bij de oogst in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De verticale lijn duidt op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst (Bron: D’Haene *et al.*, 2018).



Figuur 17: De score van uniformiteit (1 - 9) van bloemkool (2008) bepaald bij de oogst in Nederland (Gebaseerd op Van Geel *et al.*, 2009) en van prei (2003 - 2014) en bloemkool (2001 - 2012) in eerdere Vlaamse proeven (Inagro, PCG & PSKW) in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis (Bron: D’Haene *et al.*, 2018).

### 3.2.3 Economische opbrengst

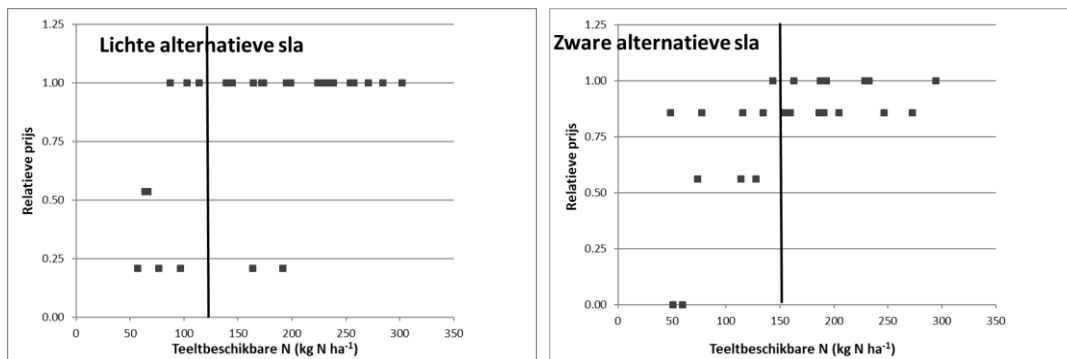
Voor 5 teelten kon de economische opbrengst berekend worden (Figuur 18). De  $R^2$  van de logistische curve voor economische opbrengst varieerde van 0.19 (bij wortelen) tot 0.80 (bij bloemkool). Deze  $R^2$ -waarden zijn lager dan bij de vermarktbaar opbrengst omdat de variabiliteit hoger is bij de economische dan de vermarktbaar opbrengst.



De 95 % van de maximale economische opbrengst bij bloemkool moet voorzichtig geïnterpreteerd worden omdat industriebloemkool op basis van kwaliteitseisen van de versmarkt werd geëvalueerd.

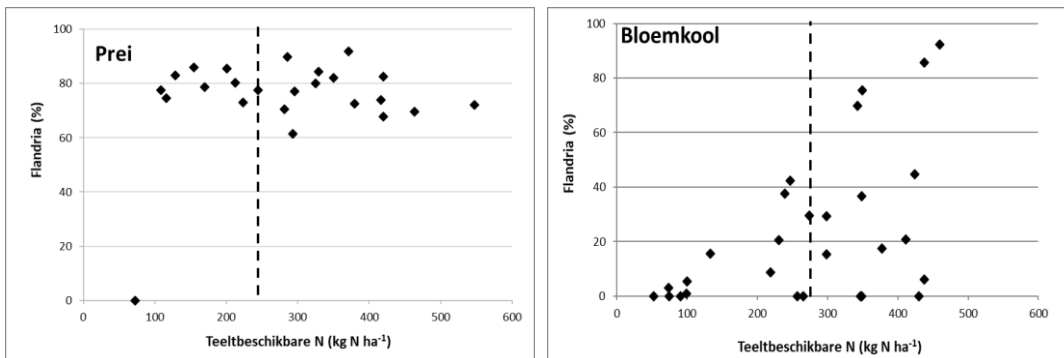
Figuur 18: Economische opbrengst dosis-responscurves (Economische opbrengst ha<sup>-1</sup>) in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte volle of gestreepte en rode gestippelde verticale lijnen duiden respectievelijk op 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst.

Bij prei en wortelen wordt 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst bij een vergelijkbare teeltbeschikbare N-hoeveelheid bereikt (Figuur 18: zwarte volle of gestreepte en rode stippellijn respectievelijk 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst). Bij lichte alternatieve sla wordt 95 % van de maximale economische opbrengst bij een lagere teeltbeschikbare N-hoeveelheid bereikt dan de vermarktbaar opbrengst. Dit is gelinkt aan het feit dat enkel een zeer lage teeltbeschikbare N-hoeveelheid in kroppen van een mindere klasse resulteerde (Figuur 19). Daarentegen bij zware alternatieve sla had de teeltbeschikbare N-hoeveelheid wel een effect op de klasse van de geproduceerde sla, terwijl bij bloemkool de teeltbeschikbare N-hoeveelheid een invloed op het % Flandria had (Figuur 19 en Figuur 20). Zodoende werd bij zware alternatieve sla en bloemkool 95 % van de maximale economische opbrengst bij een hogere teeltbeschikbare N-hoeveelheid bereikt dan 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst. De 95 % van de maximale economische opbrengst bij bloemkool moet echter voorzichtig geïnterpreteerd worden omdat er bij slechts 7 van de 11 percelen het % Flandria werd bepaald. Een hoog % Flandria (> 60 %) werd op 2 percelen vastgesteld met een relatief lage vermarktbaar opbrengst. De industriebloemkool werd op basis van strenge kwaliteitseisen van de versmarkt geëvalueerd, terwijl de rassenselectie van industriebloemkolen meer op opbrengst en minder op 'visuele' kwaliteitseisen focust. Een lage plantdichtheid van bloemkool resulteert tot laat tijdens de teelt in weinig beworteling (Thorup-Kristensen & van den Boogaard, 1998) zodat bij breedwerpig N-bemesting niet alle N voor de plant beschikbaar is en hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-gehalten tussen de rijen gemeten kunnen worden.



Figuur 19: Relatieve prijs van lichte en zware alternatieve sla in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte volle verticale lijnen duiden op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst.





De % Flandria bij bloemkool moet voorzichtig geïnterpreteerd worden omdat industriebloemkool op basis van kwaliteitseisen van de versmarkt werd geëvalueerd.

Figuur 20: Flandria percentage (%) van prei en bloemkool in functie van de teeltbeschikbare stikstof- (N) hoeveelheid. De zwarte gestreepte verticale lijnen duiden respectievelijk op 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst.

### 3.2.4 Residuele minerale stikstof in de bodem

Om de beschikbare N in de bodem uit te putten, moeten teelten een voldoende hoge N-opnamecapaciteit hebben en een wortelstelsel dat goed verdeeld is in de bodem en de teelt in contact brengt met zoveel mogelijk beschikbare N in de bodem (Thorup-Kristensen & Sørensen, 1999). Omwille van de beperkte bewortelingsdiepte en vaak een oogst tijdens de vegetatieve groei bij groenten, is het gevoel bij sommige groentetelers dat voor groenten een hoog  $\text{NO}_3^-$ -N-residu in de bodem bij de oogst onvermijdbaar is (Schenk, 2006). Voor alle groenten, met uitzondering van wortelen, kon een significante gesegmenteerde lineaire regressie tussen de teeltbeschikbare N- en  $\text{NO}_3^-$ -N-hoeveelheid uitgevoerd worden (Figuur 8). De gesegmenteerde lineaire regressies vertoonden een breekpunt tussen 133 en 432 kg beschikbare N  $\text{ha}^{-1}$ . Het latente  $N_{\text{min}}$ -residu in de bodem tot bewortelingsdiepte was laag en varieerde tussen  $7 \pm 3$  en  $27 \pm 15$  kg N  $\text{ha}^{-1}$ , afhankelijk van de teelt (Tabel 5).

Het selecteren van 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst als basis voor de optimale teeltbeschikbare N – hoeveelheid of N-bemestingsdosis houdt ook rekening met de  $N_{\text{min}}$ -residu's en de milieurisico's (Hochmuth *et al.*, 2014). De verschillen in  $N_{\text{min}}$ -residu's zijn klein bij 90 ten opzichte van 95% van de maximale vermarktbaar opbrengst (met uitzondering van bloemkool), maar zijn groot bij 95 ten opzichte van 99% van de maximale vermarktbaar opbrengst (Tabel 9). Per extra toegediende N om 99% van de maximale vermarktbaar opbrengst te krijgen is de productietoename laag en een deel van de extra toegediende N bevindt zich bij de oogst in het  $N_{\text{min}}$ -residu.

Tabel 9: Het mineraal stikstofresidu in de bodem (kg  $\text{NO}_3^-$ -N  $\text{ha}^{-1}$ ) bij 90, 95 en 99% van de maximale vermarktbaar opbrengst.

|                         | 90 % | 95 % | 99 % |            | 90 % | 95 % | 99 % |
|-------------------------|------|------|------|------------|------|------|------|
| Lichte alternatieve sla | 15   | 15   | 41   | Wortelen   | 26   | 30   | 40   |
| Zware alternatieve sla  | 13   | 13   | 51   | Bloemkool  | 31   | 51   | 94   |
| Spinazie                | 7    | 12   | 24   | Spruitkool | 12   | 12   | 25   |
| Prei                    | 27   | 27   | 91   |            |      |      |      |



Het is opmerkelijk dat de milieubenadering, nl. de teeltbeschikbare N-hoeveelheid aan het breekpunt, bij de meeste groenten weinig verschilt van de nodige teeltbeschikbare N-hoeveelheid om 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst te bekomen (Tabel 10). Voor prei, spinazie en wortelen was het verschil in teeltbeschikbare N-hoeveelheid < 25 kg N ha<sup>-1</sup> voor de verschillende benaderingen, terwijl voor lichte en zware alternatieve sla een verschil van 32 - 35 kg teeltbeschikbare N ha<sup>-1</sup> werd berekend. Voor lichte alternatieve sla met een lage N-opname was een lagere teeltbeschikbare N-hoeveelheid nodig voor 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst dan bij het breekpunt, terwijl bij zware alternatieve sla met een hogere N-opname het omgekeerde werd vastgesteld. De berekende teeltbeschikbare N-hoeveelheid om 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst te bekomen bij spruitkool was 52 kg N ha<sup>-1</sup> lager dan bij het breekpunt. Dit geeft aan dat N-overbemesting bij spruitkool niet zal leiden tot een hoger NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de oogst, ondanks de grote plantafstand in en tussen de rijen (40 en 70 cm). Enkel bloemkool met een kort groeiseizoen en lage plantdichtheid lijkt een probleemgroente te zijn. Bij bloemkool werd een groot verschil in nodige teeltbeschikbare N-hoeveelheid voor 95 % van de maximale economische opbrengst berekend wat in een toename van 70 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu resulteerde. De resultaten van bloemkool moeten echter voorzichtig geïnterpreteerd worden, aangezien deze bloemkolen voor de industrie geteeld werden, terwijl de economische analyse voor bloemkolen voor de versmarkt werd uitgevoerd.

De literatuur toont eveneens aan dat het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de oogst afhangt van de teelt en teeltbeschikbare N-hoeveelheid (Figuur 21). Voor een correcte bepaling van de N-bemestingsdosis is er een goede inschatting nodig van de andere N-inputs van de teeltbeschikbare N-hoeveelheid nl. de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-hoeveelheid bij zaai of planten, N-depositie en N-mineralisatie uit BOS en oogstresten, aangezien hogere NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's gemeten werden bij tweede teelten of bij een hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-hoeveelheid bij de start vb. sla (AHDB, 2014; Bes & De Nies, 2014) en spinazie (Renard *et al.*, 2007; Fonder *et al.*, 2010). Het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu was echter laag wanneer ≤ 150 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> werd toegediend bij spinazie als eerste teelt nl. respectievelijk ≤ 20 en 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in de 0-30 (Inagro, 2013 & 2014) en 0-60 cm laag (Renard *et al.*, 2007; Fonder *et al.*, 2010).

Oude Vlaamse proeven bij prei tonen aan dat de gemeten NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's bij de oogst afhangen van de oogstperiode (Figuur 22) (D'Haene & Hofman, aanvaard b). Algemeen waren de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's in juli tot december hoger dan in januari tot april. De hoogste NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's (tot 200 kg N ha<sup>-1</sup>) werden gemeten in oktober – december in de plots met een hoge N-voorraad (= N<sub>min</sub> bij planten + N-bemestingsdosis). De lage NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's gemeten in januari tot april (<50 kg N ha<sup>-1</sup>) onafhankelijk van de N-bemestingsdosis kunnen door NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging verklaard worden. Ook in Nederland (2002 - 2003) en Engeland (2009 - 2011) werden lage NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's bij de oogst gemeten voor onbemeste plots en percelen geoogst in februari - april (<25 kg N ha<sup>-1</sup>) met uitzondering van een overbemeste plot (500 kg N ha<sup>-1</sup>) waar 66 kg N ha<sup>-1</sup> werd gemeten (Van Geel, 2008; AHDB, 2011). Op een zandbodem in Nederland werden NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's <70 kg N ha<sup>-1</sup> gemeten bij de oogst in november of december (2008 - 2010) ondanks een N-bemestingsdosis van 300 kg N ha<sup>-1</sup> (de Haan *et al.*, 2011). In Denemarken (1996 - 1999) werd bij de oogst 23-31 kg N ha<sup>-1</sup> in de 0-50 cm bodemlaag gemeten in september bij een N-voorraad ≤ 200 kg N ha<sup>-1</sup>, terwijl tot 100 kg N ha<sup>-1</sup> gevonden werd bij een N-voorraad van 325 kg N ha<sup>-1</sup> (Sorensen *et al.*, 2006).

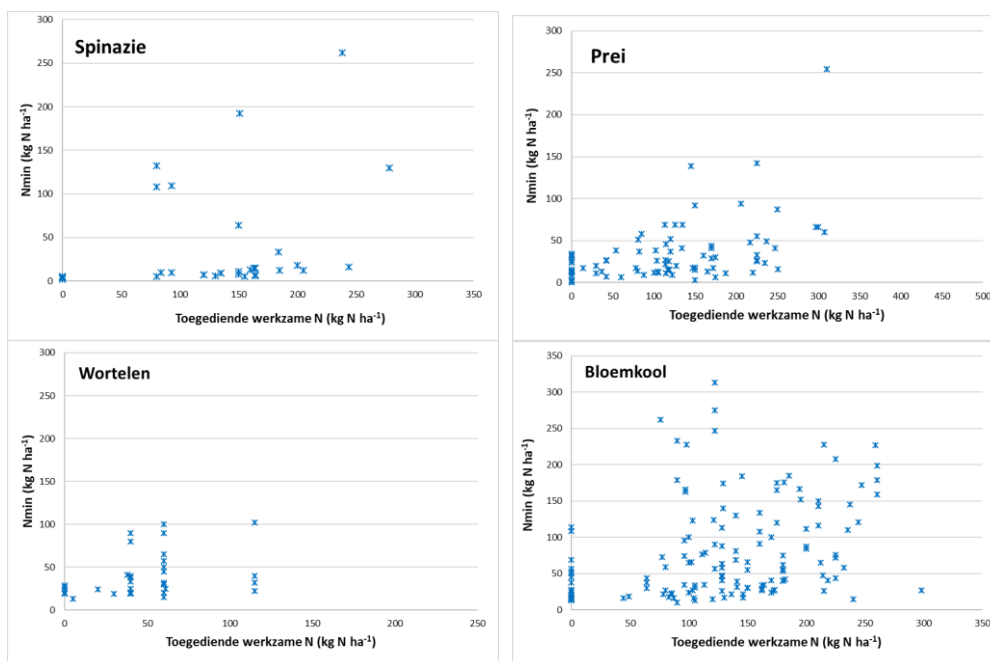
Tabel 10: De bodemstikstof- (N) balans ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) bij het breekpunt van de minerale N ( $N_{\text{min}}$ ) -hoeveelheid bij de oogst en bij 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst (Gebaseerd op D'Haene *et al.*, 2018).

|  | Lichte<br>alternatieve sla | Zware<br>alternatieve sla | Spinazie | Prei     | Wortelen | Bloemkool <sup>†</sup> | Spruitkool |
|--|----------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|------------------------|------------|
| Bij breekpunt in $N_{\text{min}}$ bij de oogst |                            |                           |          |          |          |                        |            |
| Teeltbeschikbare N-hoeveelheid*                | 133 ± 37                   | 149 ± 20                  | 177 ± 63 | 255 ± 48 |          | 211 ± 73               | 432 ± 41   |
| N-opname                                       | 98 ± 16                    | 110 ± 19                  | 124 ± 29 | 193 ± 46 |          | 162 ± 40               | 403 ± 25   |
| $N_{\text{min}}$ -hoeveelheid bij de oogst     | 15 ± 8                     | 13 ± 9                    | 7 ± 3    | 27 ± 15  |          | 22 ± 13                | 10 ± 2     |
| N-surplus                                      | 20 ± 41                    | 26 ± 29                   | 46 ± 69  | 35 ± 68  |          | 27 ± 84                | 19 ± 48    |
| 95 % van de maximale vermarktbaar opbrengst    |                            |                           |          |          |          |                        |            |
| Teeltbeschikbare N-hoeveelheid*                | 123 ± 30                   | 150 ± 36                  | 194 ± 88 | 251 ± 76 | 257 ± 51 | 271 ± 148              | 380 ± 54   |
| N-opname                                       | 95 ± 17                    | 110 ± 19                  | 134 ± 32 | 190 ± 46 | 206 ± 40 | 200 ± 32               | 355 ± 21   |
| $N_{\text{min}}$ -hoeveelheid bij de oogst     | 15 ± 8                     | 13 ± 9                    | 12 ± 4   | 27 ± 15  | 30 ± 11  | 52 ± 17                | 10 ± 2     |
| N-surplus                                      | 13 ± 35                    | 27 ± 42                   | 48 ± 94  | 34 ± 90  | 21 ± 65  | 19 ± 153               | 15 ± 58    |
| 95 % van de maximale economische opbrengst     |                            |                           |          |          |          |                        |            |
| Teeltbeschikbare N-hoeveelheid*                | 98 ± 34                    | 181 ± 63                  | 194 ± 78 | 231 ± 69 | 247 ± 49 | 352 ± 123              | 380 ± 54   |
| N-opname                                       | 82 ± 17                    | 122 ± 30                  | 134 ± 32 | 179 ± 50 | 201 ± 50 | 233 ± 51               | 355 ± 21   |
| $N_{\text{min}}$ -hoeveelheid bij de oogst     | 15 ± 8                     | 35 ± 16                   | 12 ± 4   | 27 ± 15  | 24 ± 11  | 92 ± 45                | 10 ± 2     |
| N-surplus                                      | 1 ± 39                     | 24 ± 72                   | 48 ± 84  | 44 ± 87  | 22 ± 71  | 27 ± 141               | 15 ± 58    |

\*: teeltbeschikbare N-hoeveelheid =  $N_{\text{min}}$  bij zaai of planten + N-depositie + N-mineralisatie + N-bemestingsdosis

†: de balans bij 95 % van de maximale economische opbrengst bij bloemkool moet voorzichtig geïnterpreteerd worden omdat industriebloemkool op basis van kwaliteitseisen van de versmarkt werd geëvalueerd

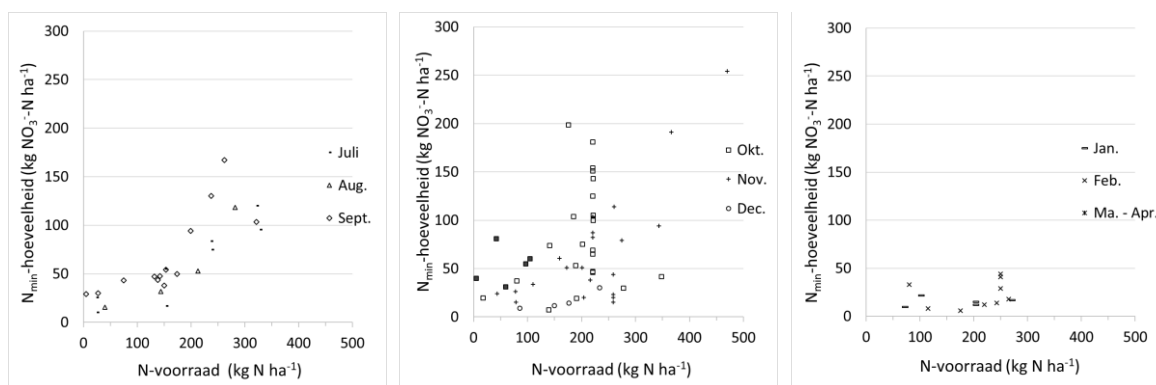




Gebaseerd op experimenten uit Vlaanderen, Wallonië en Nederland

- Spinazie: • Vlaanderen (2004 - 2013) (Inagro & PCG),  
 • Wallonië (1998 - 2000) (Frankinet *et al.*, 2001),
- Prei: • Vlaanderen (2005 - 2016) (Inagro, PCG & PSKW),  
 • Nederland (2008 - 2010) (van der Burgt & Staps, 2010; Van Wijk *et al.*, 2010; de Haan *et al.*, 2011),
- Wortelen: • Vlaanderen (2006 - 2013) (Inagro & PCG),  
 • Wallonië (2005 - 2008) (Abrás *et al.*, 2013a),
- Bloemkool: • Vlaanderen (2000 - 2015) (Inagro, PCG & PSKW).

Figuur 21: Residuele minerale stikstof ( $N_{min}$ ) tot bewortelingsdiepte ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) bij de oogst van spinazie, prei, wortelen en bloemkool in functie van de stikstof- (N) bemestingsdosis.



Figuur 22: Residuele minerale stikstof ( $N_{min}$ ) in de 0-60 cm laag ( $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ ) bij de oogst van prei in functie van de stikstof- (N) voorraad (= toegediende werkzame N +  $\text{NO}_3\text{-N}$  bij planten (0-60 cm)) ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) bij verschillende oogstmaanden (Inagro, PCG & PSKW) (Bron: D'Haene & Hofman, 2019b).



In de 0-60 cm bodemlaag van Nederlandse bloemkoolpercelen (1990 - 1992) werd tussen 5 en 162 kg  $N_{\min}$  ha<sup>-1</sup> gemeten, maar  $\leq 75$  kg  $N_{\min}$  ha<sup>-1</sup> wanneer minder dan 175 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> werd toegediend (Everaarts *et al.*, 1996; Everaarts, 2000). Ook op Vlaamse bloemkoolpercelen geteeld voor de versmarkt (2000 - 2015) was de variatie in NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's groot (Figuur 21). Het risico op een hoog NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's was groot op percelen waar hoge N-bemestingshoeveelheden werden toegediend of waarbij de bloemkool voorafgegaan werd door een teelt die oogstresten met een hoge N-hoeveelheid achterliet. Nitraatstikstofresidu's >100 kg N ha<sup>-1</sup> werden gemeten op een bloemkoolperceel (D'Haene & Hofman, 2019a):

- voorafgegaan door courgette in het vorige jaar (2 percelen geoogst in juni met NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's tot 199 kg N ha<sup>-1</sup>);
- voorafgegaan door andijvie in hetzelfde jaar (perceel geoogst in oktober met NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's tot 227 kg N ha<sup>-1</sup>);
- met een dubbelteelt bloemkool (perceel geoogst in oktober en november met NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's tot 233 kg N ha<sup>-1</sup>);
- met een bodemkoolstofpercentage van 3 (perceel geoogst in september met NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's tot 313 kg N ha<sup>-1</sup>).

Het verschil in gemeten NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's in de literatuur was klein bij wortelen (variërend tussen 20 en 65 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup>) en meestal lager dan 50 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> zoals in dit onderzoek (Fonder *et al.*, 2010; Abras *et al.*, 2013a; Willekens *et al.*, 2014). Uitzonderlijk werd bij 1 van de 10 proefpercelen een NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu > 65 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> gemeten terwijl maximaal 80 kg werkzame N ha<sup>-1</sup> werd toegediend. De totale opbrengst van dit perceel varieerde echter slechts van 52 tot 65 Mg VM ha<sup>-1</sup> (Abras *et al.*, 2013a).

De gemeten NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu's waren laag voor spruitkool (2 - 45 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in de 0-90 cm bodemlaag) (Neeteson & Whitmore, 1999; Coussens *et al.*, 2009).

Het latente  $N_{\min}$ -residu tot bewortelingsdiepte bij het breekpunt en 95 % van de maximale vermarktbare en economische opbrengst was laag voor de verschillende groenten, met uitzondering van bloemkool. Echter het risico op NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging is gelinkt met de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-hoeveelheid tot 90 cm in de herfst. Gebaseerd op NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-metingen bij zaai of planten en de oogst, lijkt een maximum van 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> per onbewortelde laag van 30 cm realistisch en praktisch aanvaardbaar. Indien de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-hoeveelheid in de onbewortelde lagen bij zaai of planten hoger is, wordt geadviseerd om een dieper wortelende teelt, of indien mogelijk, een diep wortelende nateelt te telen (Thorup-Kristensen, 2002). Rekening houdend met een NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu tot bewortelingsdiepte zoals gegeven in Tabel 11 en 25 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> in de onbewortelde lagen, mag het gemeten maximum tot 90 cm diep niet hoger zijn dan 75 kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N ha<sup>-1</sup> met uitzondering van bloemkolen (D'Haene *et al.*, 2018). In de opgevolgde proeven was de N via mineralisatie bijna hoofdzakelijk uit BOS vrijgesteld omdat zoveel mogelijk eerste teelten werden geselecteerd. Bij latere teelten komt er -vooral de eerste weken- veel N uit de oogstresten ter beschikking voor de teelt. Omdat het inschatten van de N vrijgesteld uit de oogstresten erg moeilijk is, is een lage N-startbemesting en staalname tijdens de teelt belangrijk om een hoog NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de oogst te vermijden.



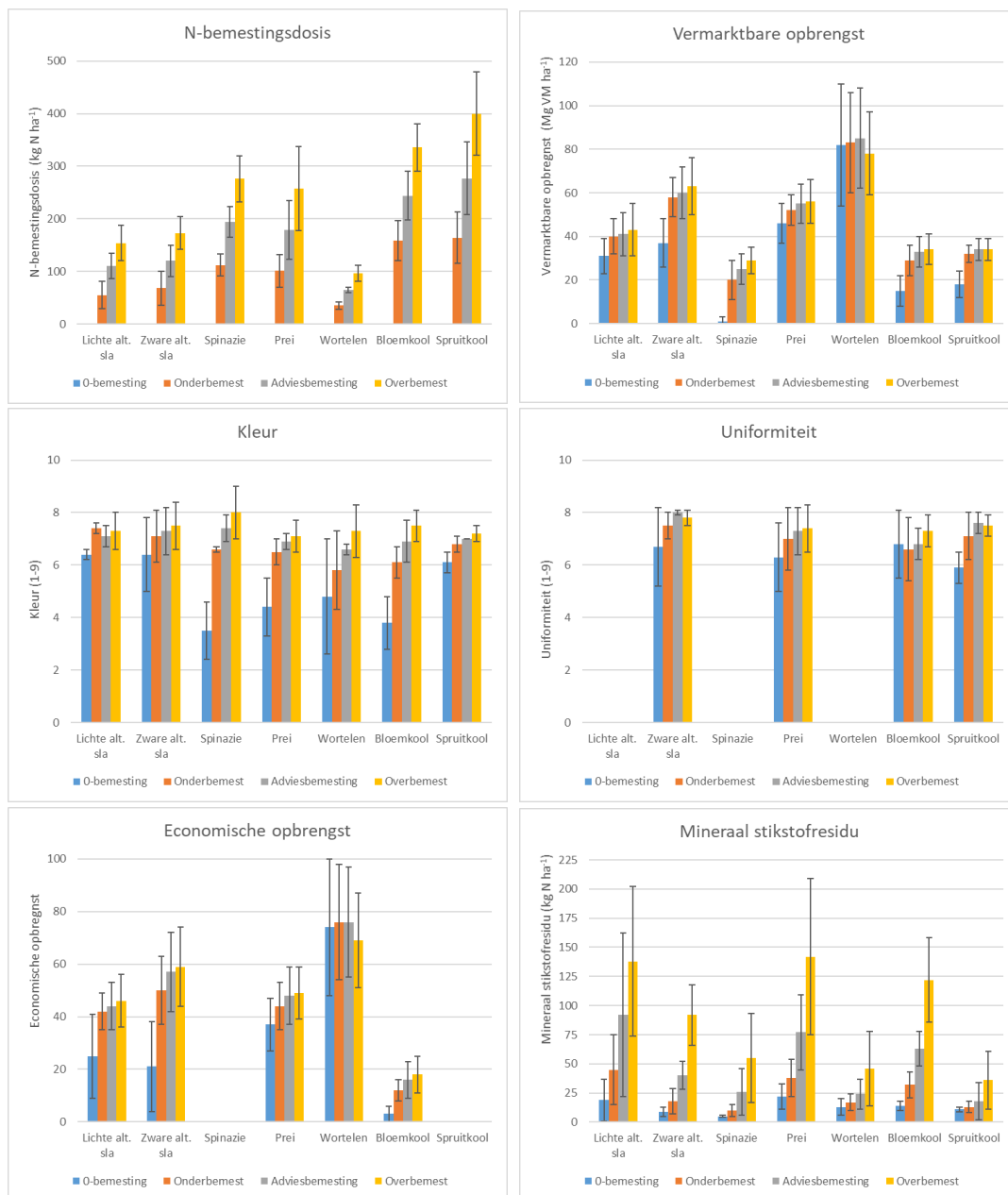
Om het risico op NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging te beperken, kan na vroeg-geogste groenten een vanggewas na de oogst gezaaid worden, terwijl bij laat-geogste groenten zoals prei een vanggewas ondergezaaid kan worden. Er is echter een goede strategie voor de onderzaai nodig om competitie voor water en nutriënten en opbrengstderving te vermijden. Mogelijke negatieve gevolgen zijn extra arbeid vb. meer kuiswerk en extra pelverliezen omdat het ondergezaaide vanggewas tussen het blad van de prei zit en een hogere ziektedruk vb. roest bij prei. Momenteel wordt het effect van type vanggewas (vb. gras, klaver, ...) en tijdstip van zaai (vb. bij planten of enkele weken later) onderzocht. Mogelijke voordelen van de onderzaai van een vanggewas zijn een verhoging van het BOS-gehalte, verbetering van de bodemstructuur, daling van onkruiddruk en minder afkoeling tijdens koude periodes met minder opbrengstverlies van overwinterende prei (Kołota & Adamczewska-Sowińska, 2013; Agneessens *et al.*, 2014a & b; Xie *et al.*, 2017).

Er dient opgemerkt te worden dat naast het minimaliseren van het NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu bij de oogst, er ook nood is aan een strategie voor de oogstresten van sommige groenten. Vooral bloemkool en spruitkool laten grote hoeveelheden oogstresten achter op het perceel die na de oogst kunnen mineraliseren met hoge N-vrijzetting (hoger dan 100 kg N ha<sup>-1</sup>) tot gevolg dat door NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-uitloging verloren kan gaan (Chaves *et al.*, 2007; Agneessens *et al.*, 2014a).

### 3.3 RESULTATEN IN FUNCTIE VAN STIKSTOFBEMESTINGSTRAPPEN

De resultaten werden ook in functie van de aangelegde N-bemestingstrappen berekend (Figuur 23). Bij alle teelten was er een duidelijk effect van de laagste teeltbeschikbare N-hoeveelheid of de nulbemestingstrap. Een hogere N-bemestingsdosis resulteerde in een niet-significante hogere vermarktbaar en economische opbrengst, kleur- en uniformiteitscore en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N-residu in de bodem, met uitzondering van wortelen waar overbemesting tot een niet-significante lagere opbrengst leidde. Bij de teelten zware alternatieve sla, spinazie en bloemkool werden de grootste verschillen in vermarktbaar en economische opbrengst gemeten tussen de onbemeste en bemeste percelen.





Figuur 23: Stikstof- (N) bemestingsdosis (kg N ha<sup>-1</sup>), vermarktbare opbrengst (Mg versmassa (VM) opbrengst ha<sup>-1</sup>), score voor kleur, score voor uniformiteit, economische opbrengst en mineraal stikstofresidu (kg N ha<sup>-1</sup>) bij nulbemesting, onderbemest, adviesbemesting en overbemest.



### 3.4 DE STIKSTOFBODEMBALANS EN OPTIMALE STIKSTOFBEMESTINGSDOSISSEN

In de N-bemestingstrappenproeven werden verschillende N-hoeveelheden toegediend variërend van een onbemeste plot tot plots met overbemesting. We gebruikten dosis-responscurven om de optimale hoeveelheden teeltbeschikbare en werkzame N af te leiden waarbij een optimale vermarktbaar en economische opbrengst met een laag latent  $N_{\min}$ -residu werd gecombineerd.

De N-balans werd bij het breekpunt van de  $N_{\min}$ -hoeveelheid (indien mogelijk) en bij 95 % vermarktbaar en economische opbrengst op basis van de dosis-responscurves berekend (Tabel 10). Het verschil in berekend surplus was klein voor de verschillende benaderingen (tussen 2 en 19 kg  $NO_3^-$ -N  $ha^{-1}$ ), omdat (met uitzondering van bloemkool) een hogere teeltbeschikbare N-hoeveelheid (tussen 17 voor spinazie en 52 kg  $NO_3^-$ -N  $ha^{-1}$  voor spruitkool) in een hogere N-opname resulteerde bij het breekpunt (tussen 10 voor spinazie en 48 kg  $NO_3^-$ -N  $ha^{-1}$  hoger bij spruitkool) en het  $NO_3^-$ -N-residu bij de oogst slechts beperkt toenam. Het grootste surplus werd berekend voor spinazie, wat gedeeltelijk verklaard kan worden door de toename van de  $NO_3^-$ -N-hoeveelheid in de 30-60 cm bodemlaag.

De gemiddelde N-bemestingsdosis bij 95 % van de vermarktbaar opbrengst werd berekend als het verschil tussen de teeltbeschikbare N-hoeveelheid, de  $N_{\min}$ -hoeveelheid bij zaai of planten, N-depositie en N-mineralisatie (Tabel 10). De gemiddeld laagste en hoogste N-bemestingsdosis werd respectievelijk voor lichte sla en spruitkool berekend, wat gelinkt is aan de laagste en hoogste N-opname van deze teelten. Vergelijkbaar met onze resultaten maten AHDB (2014) in Engeland geen opbrengsttoename wanneer meer dan 40 tot 80 kg N  $ha^{-1}$  werd toegediend bij lichte alternatieve sla. Bij verschillende experimenten in Wallonië lag de optimale N-bemestingsdosis bij spinazie tussen 120 en 160 kg toegediende werkzame N  $ha^{-1}$ , wat overeenkomt met onze data (Renard *et al.*, 2007; Fonder *et al.*, 2010). Vergelijkbaar met onze resultaten vonden Van Geel *et al.* (2006) en De Rooster & Bes (2013) een toename in vermarktbaar prei tot ongeveer 100 kg toegediende werkzame N  $ha^{-1}$ . In tegenstelling tot onze resultaten stelden de meeste onderzoekers geen of een beperkt effect van onbemeste versus bemeste plots vast bij wortelen (Salo, 1996; Westerveld *et al.*, 2006a & b; Smólen & Sady, 2008; Fonder *et al.*, 2010; Seljåsen *et al.*, 2012; Abras *et al.*, 2013a). In de literatuur werden verschillende effecten van de N-bemesting op de opbrengst van bloemkool vastgesteld. Lachapelle (2010) vond in Quebec (Canada – 1995 - 2003) dat een N-bemestingsdosis tussen 0 en 240 kg werkzame N  $ha^{-1}$  geen effect had op de bloemkoolhoofdopbrengst op drie locaties en een lineair plateau model vergelijkbaar met ons model, een lineaire relatie en kwadratische relatie op respectievelijk 11, 8 en 2 locaties (Lachapelle, 2010). Het samenvoegen van de resultaten van 5 Deense proefpercelen met een N-bemestingsdosis tussen 130 en 370 kg toegediende werkzame N  $ha^{-1}$  had enkel een effect op de totale opbrengst, maar niet de bloemkoolhoofdopbrengst (van den Boogaard, 1996). De gemiddelde optimale N-bemestingsdosis van 193 kg werkzame N  $ha^{-1}$  voor spruitkool komt overeen met de resultaten van Booij & Biemond (1994) en Vandendriessche *et al.* (1995).





Voor alle groenten (uitzondering bloemkool) is de gemiddelde berekende N-bemestingsdosis bij 95 % van de maximale vermarktbaar en economische opbrengst lager dan de wettelijke maximale N-bemestingsnormen (Tabel 11). Algemeen zijn de N-bemestingsnormen het hoogst voor Vlaanderen en Nederland en lager voor Denemarken en Ierland. De verschillen zijn het grootst voor alternatieve sla en prei. Zodoende kan een aanpassing van de maximale N-bemestingsnormen in zowel Vlaanderen en Nederland voor sommige groenteteelten overwogen worden. Er zijn echter nog andere slatypes vb. ijsbergsla die meer N opnemen en zodoende een hogere N-bemestingsdosis nodig hebben dan deze van Tabel 11. Bij alle groenten in Vlaanderen en sla en spinazie in Nederland wordt er bij een tweede teelt rekening gehouden met de N die vrijkomt uit de oogstresten van de voorgaande teelt en zijn de N-bemestingsnormen lager.

## 4 BESLUIT

Om een economisch en ecologisch optimum te vinden, moet er rekening worden gehouden met zowel de opbrengsthoeveelheid en gewaskwaliteit als het  $\text{NO}_3^-$ -N-residu bij de oogst. Aangezien de totale opbrengst en de N-opname beperkt blijven toenemen als de maximale vermarktbaar opbrengst reeds bereikt is, moeten N-bemestingsadviezen gebaseerd zijn op de noodzakelijke N-hoeveelheid van het ganse gewas bij 95 procent van de maximale vermarktbaar opbrengst. In tegenstelling tot het gevoel van sommige groenteteelers kan een laag  $\text{NO}_3^-$ -N-residu verkregen worden bij de oogst zonder een lage score voor bladkleur of uniformiteit, met uitzondering van de on- en onderbemeste plots. Enkel bloemkool blijkt een probleemgroente. Bloemkool met een korte teeltperiode en lage plantdichtheid kan het bodemprofiel niet adequaat benutten. Een mogelijke oplossing is punt- of bandbemesting in plaats van breedwerpige bemesting of de onderzaai van een vanggewas (Agneessens *et al.*, 2014a). De praktische uitvoering van dergelijke praktijken moet echter nog verbeterd worden.

De resultaten geven aan dat N-bemestingsadviezen en N-bemestingsnormen voor sommige groenteteelten zonder een risico op daling van de vermarktbaar opbrengst of de kwaliteit (bladkleur en uniformiteit) verlaagd kunnen worden. Om wetenschappelijk gebaseerde N-bemestingsadviezen te berekenen, is er naast een meting van de  $N_{\min}$ -hoeveelheid bij zaai of planten en een  $N_{\min}$ - of plantmeting bij bijbemesting een zo correct mogelijke inschatting van de N-mineralisatiesnelheid noodzakelijk (Abrás *et al.*, 2013b; Rahn *et al.*, 2015; Lazicki & Geisseler, 2016). Echter, bij een late teelt van groenten met een ondiep wortelstelsel kan een lage  $N_{\min}$ -hoeveelheid in de bewortelingsdiepte bij zaai of planten leiden tot een hoge  $N_{\min}$ -hoeveelheid tot 90 cm bij de oogst indien de  $N_{\min}$ -hoeveelheid in de diepere lagen bij zaai of planten hoog was. Zodoende kan het risico op  $\text{NO}_3^-$ -uitloging groot zijn.

Uit de cijfers blijkt dat er een grote verscheidenheid bestaat in de P-export van groenten terwijl er slechts 1 P-bemestingsnorm is voor alle groenten. Zodoende kan een diversifiëring van de P-bemestingsnorm voor groenten overwogen worden.



Tabel 11: Vergelijking van de berekende gemiddelde stikstof- (N) bemestingsdosis (kg werkzame N ha<sup>-1</sup>) (met standaardafwijking) bij 95 % van de maximale vermarktbare en economische opbrengst met de maximale N-bemestingsnormen in Vlaanderen en andere West-Europese landen of regio's (Gebaseerd op D'Haene *et al.*, 2018).

| Teelt                   | Berekende gemiddelde N-bemestingsdosis bij 95 % max. |                        | Maximale N-bemestingsnormen* |                         |                          |                       |                         |                                |
|-------------------------|--|------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|
|                         | vermarktbaar   | economisch             | Vlaanderen <sup>††</sup>     | Nederland <sup>††</sup> | Denemarken <sup>††</sup> | Ierland <sup>††</sup> | Duitsland <sup>††</sup> | Wallonië                       |
| Lichte alternatieve sla | 50** ± 42  | 25** ± 21              | 160 - 180                    | 132 - 180               | 140 - 165                | 120 - 150             | 115 - 130               |                                |
| Zware alternatieve sla  | 78 ± 37  | 109 ± 52               | 160 - 180                    | 132 - 180               | 140 - 165                | 120 - 150             | 140 - 150               |                                |
| Spinazie                | 149 ± 91   | 149 ± 91               | 160 - 180                    | 152 - 260               | 95 - 120                 | 190 - 240             | 190 - 205               |                                |
| Prei                    | 104 ± 33   | 84 ± 27                | 225 - 250                    | 180 - 245               | 200 - 225                | 170 - 200             | 250                     | 250 totale N op bedrijfsniveau |
| Wortelen                | 111 ± 42   | 101 ± 38               | 115 - 125                    | 110                     | 100 - 125 <sup>‡</sup>   | 40 - 90               | 115 - 165               |                                |
| Bloemkool               | 173 ± 145  | 254 ± 213 <sup>†</sup> | 225 - 250                    | 168 - 230               | 230 - 255                | 120 - 240             | 300                     |                                |
| Spruitkool              | 193 ± 81   | 193 ± 81               | 225 - 250                    | 212 - 290               | 215 - 240                | 280 - 300             | 310                     |                                |

\*: Vlaanderen: Anonymus (2015a), Nederland: Anonymus (2016); Denemarken: Hofman *et al.* (2013); Ierland: Anonymus (2014b); Wallonië: Anonymus (2014a); Duitsland: Anonymus (2017).

\*\* : de gemiddelde berekende N-bemestingsdosis werd met 20 kg N ha<sup>-1</sup> verhoogd om rekening te houden met het feit dat de nodige N-bemestingsdosis bij een tweede teelt lager was omwille van de N-vrijstelling uit de oogstresten.

† : de balans bij 95 % van de maximale economische opbrengst bij bloemkool moet voorzichtig geïnterpreteerd worden omdat industriebloemkool op basis van kwaliteitseisen van de versmarkt geëvalueerd werd.

†† : maximum N-bemestingsdosis is afhankelijk van de bodemtextuur in Vlaanderen en Nederland, bodemtextuur en irrigatie in Denemarken en N-index in Ierland

‡ : N-bemestingsdosis is voor een opbrengst van 40 Mg versmassa ha<sup>-1</sup> en mag verhoogd worden met 0.1 kg N per 100 kg ha<sup>-1</sup> extra opbrengst.

†† : N<sub>min</sub>-streefwaarden worden gegeven. De N-bemestingsdosissen worden berekend door van de streefwaarden, de gemeten minerale N in de bodem en ingeschatte N-vrijzetting door mineralisatie van oogstresten en toegediend bodemorganisch materiaal.



## 5 REFERENTIES

- Abras, M., Baeten, V., Goffart, J.-P., 2013a. Management of nitrogen fertilization of fresh vegetable crops at field scale in Wallonia (Belgium) - Combination of soil or crop nitrogen status evaluation and splitting of nitrogen fertilizer application, in: D'Haene, K., Vandecasteele, B., De Vis, R., Crappé, S., Callens, D., Mechant, E., Hofman, G., De Neve, S. (Eds.), Rapport 'NutriHort: Nutrient management, innovative techniques and nutrient legislation in intensive horticulture for an improved water quality'. Gent, p. 30-37.
- Abras, M., Goffart, J.-P., Destain, J.-P., 2013b. Perspectives d'amélioration du conseil prévisionnel de fertilisation azotée à la parcelle en Wallonie par l'utilisation du logiciel AzoFert®. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(S1), 215-220.
- 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., 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 (MAP4): Deel 1. Alternatieve beheeropties van oogstresten van groenten. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 54 p.
- AHDB, 2011. Nitrogen requirements of leek. Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), Warwickshire, 43 p.
- AHDB, 2013. Wild rocket and spinach: the impact of nitrogen and phosphorus fertiliser application on field grown crops. Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), Warwickshire, 62 p.
- AHDB, 2014. Baby leaf lettuce: N response studies to maximise yield and manage nitrate levels. Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), Warwickshire, 30 p.
- AHDB, 2017. Nutrient management Guide. Section 6: vegetables and bulbs (RB209). Agriculture and Horticulture Development Board (AHDB), Warwickshire, 47 p.
- Albornoz, F., 2016. Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. *Sci. Hortic.* 205, 79-83.
- Alt, C., Kage, H., Stützel, H., 2000. Modelling nitrogen content and distribution in cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*). *Ann. Bot.* 86, 963-973.
- Anonymus, 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal of the European Communities L373, 0001-0008.
- Anonymus, 2011a. Commission Regulation (EU) No 1258/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for nitrates in foodstuffs. Official Journal of the European Communities L320, 15-17.
- Anonymus, 2011b. Decreet houdende wijziging van het Mestdecreet van 22 december van 2006. *Belgisch Staatsblad*, 27876-27894.
- Anonymus, 2014a. Arrêté du Gouvernement wallon modifiant le Livre II du Code de l'Environnement, contenant le Code de l'Eau en ce qui concerne la gestion durable de l'azote en agriculture. *Belgisch Staatsblad* 27234, 72057-72105.
- Anonymus, 2014b. S.I. No. 31 of 2014. European union (good agricultural practice for protection of waters) regulations 2014. Stationery Office. Dublin.
- Anonymus, 2015a. Decreet tot wijziging van het decreet van 22 december 2006 houdende de bescherming van water tegen de verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen. *Belgisch Staatsblad* 35963, 47994-48029.
- Anonymus, 2015b. EIP-AGRI focus group on fertiliser efficiency - Focus on horticulture in open field: Eindrapport. EIP-AGRI focus groep, Brussel, 38 p. <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/node/2314>.
- Anonymus, 2016. Mest en grond. <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen-2017.pdf>.
- Anonymus, 2017. Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen. *Bundesgesetzblatt* 32, 1305-1348.
- Båth, B., 2001. Nitrogen mineralization and uptake in leek after incorporation of red clover strips at different times during the growing period. *Biol. Agric. Hortic.* 18, 243-258.
- Båth, B., Kling, M., 2001. Root development of leek in a cropping system with red clover. *Biol. Agric. Hortic.* 19, 143-155.
- Beaudet, P., Tremblay, N., 2006. Bilan des éléments nutritifs de quelques cultures maraîchères. Direction de l'environnement et du Développement durable, Quebec, 44 p.



- Bernaerts, E., Demuyne, E., 2015. De productierekening van de Vlaamse land- en tuinbouw 2015. Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie (AMS), Brussel, 8 p.
- Bes, O., De Nies, J., 2014. Vergelijking systeem KNS met maximale dosis bij start. Proefstation voor de Groenteteelt (PSKW), Sint-Katelijne-Waver, 46 p.
- Bollons, H.M., Barraclough, P.B., 1999. Assessing the phosphorus status of winter wheat crops: inorganic orthophosphate in whole shoots. *J. Agric. Sci.* 133, 285-295.
- Booij, R., Biemond, H., 1994. Stikstofhuishouding bij de teelt van prei en spruitkool. Themadag Stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje 18, 23-36.
- Breimer, T., 1989. Stikstofbijmeststelsysteem (NBS) voor enige vollegrondsgroentegewassen. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Akkerbouw en Groenteteelt in de vollegrond, Lelystad, 58 p.
- Broadbent, F.E., Carlton, A.B., 1978. Field trials with isotopically labeled nitrogen, in: Nielsen, D.R., MacDonald, J.G. (Eds.), *Nitrogen in the Environment*. Academic Press, New York, p. 1- 41.
- Brock, K.H., 2004. Extended logistic model of crop response to applied nutrients. Doctoraat, University of California, Davis, 163 p.
- Chaves, B., De Neve, S., Boeckx, P., Van Cleemput, O., Hofman, G., 2007. Manipulating the N release from N-rich crop residues by using organic wastes under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 1240-1250.
- Chaves, B., De Neve, S., Hofman, G., Boeckx, P., Van Cleemput, O., 2004. Modelling the N mineralization of vegetable root residues and green manures using their (bio)chemical composition. *Eur. J. Agron.* 21, 161-170.
- Colomb, B., Debaeke, P., Jouany, C., Nolot, J.M., 2007. Phosphorus management in low input stockless cropping systems: Crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. *Eur. J. Agron.* 26, 154-165.
- Coopman, F., Van Nevel, B., Van de Sande, T., Verhaeghe, M., De Reyck, L., Crappé, S., De Nies, J., Goovaerts, E., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche, H., De Neve, S., Ameloot, N., Willekens, K., Van Haecke, D., Boonen, M., Druyts, N., Van Mechelen, M., 2014. Het documenteren en milieukundig bijstellen van het KNS en andere bemestingsadviesystemen in de tuinbouw met het oog op een ruimere toepassing in de tuinbouw zoals voorzien in het actieprogramma 2011–2014. Vlaamse Landmaatschappij (VLM), Brussel, 233 p.
- Coussens, T., Verlinden, G., Daemers, E., Vereecken, F., Debersaques, F., Baert, G., Haesaert, G., Hermans, I., Bries, J., 2009. Humine- en fulvazuren als tool voor optimalisatie van plantenvoeding. Hogeschool Gent, Gent, 172 p.
- de Haan, J., van Wijk, K., Wilms, J., 2011. Fertigatie en plantdichtheden in prei. Verslag onderzoek 2008, 2009 en 2010. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Wageningen, 47 p.
- Demyttenaere, P., Hofman, G., Vulsteke, G., 1990. The influence of available nitrate nitrogen in the soil profile on the nitrate contents of blanching celery, in: Van Beusichem, M.L. (Ed.), *Plant Nutrition – Physiology and Applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 747-751.
- Deneufbourg, M., Vandenberghe, Ch., Heens, B., Bernaerd, R., Fonder, N., Xanthoulis, D., Marcoen J.M., 2010. Adaptation des pratiques agricoles en fonction des exigences de la Directive Nitrates et validation des résultats via le suivi lysimétrique de la lixiviation de l'azote nitrique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(S1), 113-120.
- Deneufbourg, M., Vandenberghe, C., Heens, B., Marcoen, J.M., 2013. Suivi de la lixiviation du nitrate en plein champ par la technique lysimétrique : retour de huit années d'expérience. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(S1), 177-186.
- De Neve, S., 2017. Organic matter mineralization as a source of nitrogen, in: Tei, F., Nicola, S., Benincasa, P. (Eds.), *Advances in research on fertilization management of vegetable crops*. Springer, Torino, p. 65-83.
- De Reyck, L., Winnepeninckx, R., 2014. Prei voor industrie kent 2 productieve jaren. *Management & Techniek* 21, 22-24.
- De Rooster, L., Bes, O., 2013. Prei hoeft niet veel reststikstof in de bodem. *Proeftuinnieuws* 9, 30-33.
- de Ruijter, F.J., 2008. Bemesting in vroege winterprei – vergelijking van verschillende meststoffen. Resultaten van het project Telers Mineraal Paraat, seizoenen 2006/2007 en 2007/2008. *Plant Research International (PRI)*, Wageningen, 29 p.
- Deuninck, J., Vervloet, D., 2016. Rentabiliteits- en kostprijsanalyse groenten in openlucht op basis van het Landbouwmonitoringsnetwerk. Departement Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie (AMS), Brussel, 57 p.
- D'Haene, K., Hofman, G., 2019a. Concurrent evaluation of agronomic and environmental aspects of nitrogen fertilization in cauliflower production. *Acta Hort.*, 1253, 117-124. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1253.16>
- D'Haene, K., Hofman, G., 2019b. Marketable yield quantity and quality of leek and residual soil mineral nitrogen in relation to nitrogen fertilization. *Acta Hort.*, 1253, 109-116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1253.15>

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. *Agri. Ecosyst. Environ.* 192, 67-79.

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

do Rosário Cameira, M., Mota, M., 2017. Nitrogen related diffuse pollution from horticulture production—Mitigation practices and assessment strategies. *Horticulturae* 3(1) <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010025>.

Durrani, F., Subhan, M., Mehmood, S., Abbas, S., Chaudhary, F., 2010. Enhancement of growth and yield components through foliar application of naphthalene acetic acid (NAA) and bezylaminopurine (BAP) in spinach. *Sarhad J. Agric.* 26, 31-36.

Ehlert, P.A.I., Dekker, P.H.M., Schoot, J.R, Visschers, R., Middelkoop, J.C, Maas, M.P, Pronk, A.A. & Dam, A.M., 2009. Fosforgehalten en fosfaatvoercijfers van landbouwgewassen: eindrapportage. Alterra, Wageningen.

Ekart, K., Hmelak Gorenjal, A., Madorran, E., Lapajne, S., Langerholc, T., 2013. Study on the influence of food processing on nitrate levels in vegetables. EFSA Supporting Publications EN-514, Parma, 150 p.

Europese Commissie, 2018. Report from the commission to the council and the European parliament on the implementation of council directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012-2015. COM(2018) 246 final. Europese Commissie, Brussel, 13 p. [http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/nitrates\\_directive\\_implementation\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/nitrates_directive_implementation_report.pdf).

Eurostat, 2018. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/main-tables>.

Everaarts, A.P., 2000. Nitrogen balance during growth of cauliflower. *Sci. Hortic.* 83, 173-186.

Everaarts, A.P., De Moel, C.P., Van Noordwijk, M., 1996. The effect of nitrogen and the method of application on nitrogen uptake of cauliflower and on nitrogen in crop residues and soil at harvest. *Neth. J. Agric. Sci.* 44, 43-55.

Everaarts, A.P., Van den Berg, W., 1995. A comparison of three nitrogen response models for cauliflower. *Acta Hortic.* 428, 171-179.

Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P.-J., Scharpf, H.-C., Schlaghecken, J., Strohmeier, K., Weier, U., Ziegler, J., 2011. Düngung Im Freilandgemüsebau. Leibniz-Institut für Gemüse- Und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren, 265 p.

Fertilizer Institute, 2017. <http://www.nutrientstewardship.com/>.

Fiedler, K., Stützel, H., 2012. Nitrogen efficiency of Brussels sprouts under different organic N fertilization rates. *Sci. Hortic.* 134, 7–12.

Flandria, 2019. <http://flandria.be/nl/assortiment/>

Fonder, N., Heens, B., Xanthoulis, D., 2010. Optimisation de la fertilisation azotée de cultures industrielles légumières sous irrigation. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(S1), 103-111.

Forti, R., 2017. *Agriculture, forestry and fishery statistics 2017 edition.* Eurostat, Luxemburg, 165 p.

Frankinet, M., Renard, S., Dautrebande, S., Casse, C., 2001. Gestion intégrée de l'azote en cultures arables et normes nitriques. Rapport d'activité final. Centre de Recherche Agronomique (CRA) de Gembloux, Département Production Végétale, Gembloux, 44 p.

Geisseler, D., Horwath, W.R., Pettygrove, S., 2007. Final report: practical soil test methods for predicting net N mineralization. University of California, Davis, 62 p.

Gellynck, X., De Pelsmaeker, S., Lambrecht, E., Vandenhaute, H., 2017. De impact van cosmetische kwaliteitseisen op voedselverlies: casestudie Vlaamse sector groenten en fruit. Departement Landbouw en Visserij, Brussel, 43 p.

Giri, A., Armstrong, B., Rajashekar, C.B., 2016. Elevated carbon dioxide level suppresses nutritional quality of lettuce and spinach. *Am. J. Plant Sci.* 7, 246-258.

Hartz, T.K., 2006. Vegetable production best management practices to minimize nutrient losses. *HortTechnology* 16(3), 398-403.

Hartz, T.K., Bendixen, W.E., Wierdsma, L., 2000. The value of presidedress soil nitrate testing as a nitrogen management tool in irrigated vegetable production. *HortScience* 35(4), 651-656.

Hedman, K., 2003. Pooling data from similar randomized clinical trials comparing latanoprost with timolol; medical results and statistical aspects. *Doctoraat, Uppsala*, 54 p. ISBN 91-554-5570-0.

Heumann, S., Fier, A., Haßdenteufel, M., Höper, H., Schäfer, W., Eiler, T., Böttcher, J., 2013. Minimizing nitrate leaching while maintaining crop yields: insights by simulating net N mineralization. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 95, 395-408.

Hochmuth, G.J., 1999. Response of mulched cauliflower, lettuce, and squash to radifarm biostimulant. University of Florida, UF/IFAS Extension, Gainesville, 5 p. <http://svaec.ifas.ufl.edu/sv-reports-fertilizer.shtml>



- Hochmuth, G., Hanlon, E., Overman, A., 2014. Fertilizer experimentation, data analyses, and interpretation for developing fertilization recommendations—Examples with vegetable crop research. University of Florida, UF/IFAS Extension, Gainesville, 9 p. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/SS/SS54800.pdf>.
- Hofman, G., De Vis, R., Crappé, S., Van de Sande, T., Mechant, E., D’Haene, K., Amery, F., Vandecasteele, B., Willekens, K., De Neve, S., 2013. Benchmark study on nutrient legislation for horticultural crops in some European countries, in: D’Haene, K., Vandecasteele, B., De Vis, R., Crappé, S., Callens, D., Mechant, E., Hofman, G., De Neve, S. (Eds.), Rapport ‘Nutrihort: Nutrient management, innovative techniques and nutrient legislation in intensive horticulture for an improved water quality’. Gent, p. 211-228.
- Hofman, G., Van Ruymbek, M., Ossemerct, C., Ide, G., 1981. Residual nitrate nitrogen in sandy loam soils in a moderate marine climate. *Pedologie* 31, 329-346.
- Hoque, M.M., Ajwa, H., Othman, M., Smith, R., Cahn, M., 2010. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. *HortScience* 45(10), 1539–1544.
- Inagro, 2010. Kwaliteitsnormen vollegrondsgroenten voor de industrie. Aanbevelingen voor het opmaken van teelt- en aankoopcontracten. Inagro, Beitem, 56 p. [https://www.inagro.be/DNN\\_DropZone/Publicaties/454/kwaliteitsnormen\\_2010.pdf](https://www.inagro.be/DNN_DropZone/Publicaties/454/kwaliteitsnormen_2010.pdf)
- Inagro, 2013. Bemesting in spinazie: scherp maar voldoende bemesten bij inzaai of corrigeren tijdens de teelt via bladbespuiting? Inagro, Beitem. <http://www.inagro.be/blogs/professioneel/Lists/Berichten/Post.aspx?ID=252>.
- Inagro, 2014. ADLO-demonstratieproject ‘Optimaal bemesten met innovatieve bemestingstechnieken’: verslag van de aangelegde proeven. Inagro, Beitem, 59 p.
- Kage, H., Kochler, M., Stützel, H., 2000. Root growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. *botrytis*) under unstressed conditions: Measurement and modelling. *Plant Soil* 223, 131–145.
- Kerbiriou, P.J., Stomph, T.J., Lammerts van Bueren, E.T., Struik, P.C., 2013. Influence of transplant size on the above- and below-ground performance of four contrasting field grown lettuce cultivars. *Frontiers in Plant Sci.* 4, artikel 379, doi: 10.3389/fpls.2013.00379.
- Kodithuwakku, D.P., Kirthisinghe, J.P., 2009. The effect of different rates of nitrogen fertilizer application on the growth, yield and postharvest life of cauliflower. *Trop. Agric. Res.* 21(1), 110-114.
- Kołota, E., Adamczewska-Sowińska, K., 2013. Living mulches in vegetable crops production: perspectives and limitations (a review). *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 12, 127-142.
- Lachapelle, J.-M., 2010. Réévaluation des besoins en azote, phosphore et potassium des cultures de brocoli, de chou et de chou-fleur en soils minéraux au Québec. Université Laval, Québec, 113 p.
- Lazicki, P.A., Geisseler, D., 2016. Soil nitrate testing supports nitrogen management in irrigated annual crops. *California Agriculture*, 6 p. [HTTPS://DOI.ORG/10.3733/ca.2016a0027](https://doi.org/10.3733/ca.2016a0027)
- Maier, N.A., Dahlenburg, A.P., Twigden, T.K., 1990. Effect of nitrogen on the yield and quality of irrigated onions (*Allium cepa* L.) cv. Cream Gold grown on siliceous sands. *Aust. J. Exp. Agric.* 30(6), 845-851.
- Murakami, T., Yamada, K., Yoshida, S., 2002. Root distribution of field-grown crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different fertilizer and mulch treatment. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48 (3), 347-355.
- Neeteson, J.J., 1995. Nitrogen management for intensively grown arable crops and field vegetables, in: Bacon, P.E. (Ed.), Nitrogen fertilization in the environment. Marcel Dekker, New York, p. 295-325.
- Neeteson, J.J., Whitmore, A.P., 1999. Sustainable nitrogen management in intensive vegetable production. *Acta Hort.* 506, 1-9.
- Oosterbaan, R.J., Sharma, D.P., Singh, K.N., 1990. Crop production and soil salinity: evaluation of field data from India by segmented linear regression. Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions. Cairo 3, 373–382.
- Overeem, R., 2015. Physiology and genetic variation of nitrogen use efficiency in spinach (*Spinacia oleracea* L.). Wageningen University, Wageningen, 86 p.
- Overman, A.R., Scholtz III, R.V., Martin, F.G., 2003. In defense of the extended logistic model of crop production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34(5–6), 851–864.
- PCG, 2014a. Groeicurve van een tweede vrucht bloemkool. Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen (PCG), Kruishoutem, 10 p.
- PCG, 2014b. Groeicurve van een late teelt prei. Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen (PCG), Kruishoutem, 10 p.
- Pier, J.W., Doerge, T.A., 1995. Concurrent evaluation of agronomic, economic, and environmental aspects of trickle-irrigated watermelon production. *J. Environ. Qual.* 24(1), 79-86.

- Rahn, C., 2000. Nitrogen and field production of vegetable crops. *Acta Hort.* 533, 361-369.
- Rahn, C.R., Plunkett, M., Shaban, N., Garming, H., Brañas, J., Verhaeghe, M., 2015. Mini-paper Focus group fertiliser efficiency in horticulture - Fertiliser planning and simple recommendation systems. EIP-Agri focus group, Brussel, 20 p. <http://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/content/fertiliser-efficiency-focus-horticulture-open-field>.
- Ratkowsky, D.A., 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. Marcel Dekker, Inc., New York, 276 p.
- Renard, S., Goffart, J.-P., Frankinet, M., 2007. Optimisation de l'efficience de l'azote dans des rotations incluant des cultures de légumes industriels, coll. Centre wallon de Recherches agronomiques, Namur, 105 p.
- Ryan, S.E., Porth, L.S., 2007. A tutorial on the piecewise regression approach applied to bedload transport data. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-189. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain, 41 p.
- Saarela, I., Salo Y, Vuorinen, M., 2006. Effects of repeated phosphorus fertilisation on field crops in Finland I. Yield responses on clay and loam soils in relation to soil test P values. *Agr. Food Sci.* 15(2), 106-123.
- Salo, T., 1996. Nitrogen budget in cabbage, carrot and onion productions. Nordiska Jordbruksforskarens Förening 114. [http://www.vaxteko.nu/html/sil/njf/utredn\\_rapporter/NUR114/NUR114G.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sil/njf/utredn_rapporter/NUR114/NUR114G.HTM)
- Sánchez-Alcalá, I., del Campillo, M.C., Torrent, J., 2015. Critical Olsen P and CaCl<sub>2</sub>-P levels as related to soil properties: results from micropot experiments. *Soil Use Manage.* 31, 233-240.
- Sanderson, K. R., Sanderson, J.B., 2006. Prince Edward Island growers can reduce soil phosphorus buildup while maintaining carrot crop yield. *Can. J. Plant Sci.* 86, 1401-1403.
- Santamaria, P., 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 86, 10-17.
- Schenk, M.K., 2006. Nutrient efficiency of vegetable crops. *Acta Hort.* 700, 21-34.
- Scholberg, J., ter Berg, C., Staps, S., van Strien, J., 2010. Minder en anders Bemesten. Voordelen van maaimeststoffen voor teelt van najaarsspinazie: Resultaten veldproef Joost van Strien, in Ens, 2009. Louis Bolk Instituut (LBI), Driebergen, 51 p.
- Seljåsen, R., Lea, P., Torp, T., Riley, H., Berentsen, E., Thomsen, M., Bengtsson, G.B., 2012. Effects of genotype, soil type, year and fertilisation on sensory and morphological attributes of carrots (*Daucus carota* L.). *J. Sci. Food Agric.* 92, 1786-1799.
- Smoleń, S., Sady, W., 2008. Effect of various nitrogen fertilisation and foliar nutrition regimes on carrot (*Daucus carota* L.) yield. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 83(4), 427-43.
- Sorensen, J.N., Staugaitis, G., Cizauskas, A., 2006. Optimum nitrogen supply for leeks at two climatic conditions in the Baltic sea region. *Acta Hort.* 700, 149-152.
- Stat Soft Inc., 2012. Statistica (Data Analysis Software System) Version 11. Stat Soft Inc. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Tavernier, R., 1949. De ontwikkeling van de bodemkartering in België. *Natuurwet. Tijdsch.* 31, 75-80.
- Thompson, T.L., Doerge, T.A., Godink, R.E., 2002. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli: II. Agronomic, economic, and environmental outcomes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 178-185.
- Thompson, R.B., Padilla, F.M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, M.T., 2013. Improved nitrogen management practices for vegetable production, in: D'Haene, K., Vandecasteele, B., De Vis, R., Crappé, S., Callens, D., Mechant, E., Hofman, G., De Neve, S. (Eds.), Rapport 'NutriHort: Nutrient management, innovative techniques and nutrient legislation in intensive horticulture for an improved water quality'. Gent, p. 16-23.
- Thorup-Kristensen, K., 2002. Utilising differences in rooting depth to design vegetable crop rotations with high nitrogen use efficiency (NUE). *Acta Hort.* 571, 249-254.
- Thorup-Kristensen, K., Sørensen, J.N., 1999. Soil nitrogen depletion by vegetable crops with variable root growth. *Acta Agr. Scand. - Section B*, 49(2), 92-97.
- Thorup-Kristensen, K., van den Boogaard, R., 1998. Temporal and spatial root development of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.). *Plant Soil* 201, 37-47.
- Vancraeynest, L., 2016. Stikstofdepositie. <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/vermesting/vermestende-depositie/stikstofdepositie/>.
- van den Boogaard, R., 1996. Effects of nitrogen fertilization in cauliflower. NJF utredningar – rapporter 114. [http://www.vaxteko.nu/html/sil/njf/utredn\\_rapporter/NUR114/NUR114H.HTM](http://www.vaxteko.nu/html/sil/njf/utredn_rapporter/NUR114/NUR114H.HTM).
- van der Burgt, G.-J., Staps, S., 2010. Minder en anders bemesten; onderzoeksresultaat tuinbouw op zand, Van Lierop 2008-2010. Louis bolk Instituut (LBI), Driebergen, 49 p.

- Vandendriessche, H., Bries, J., Smeets, E., Vanongeval, L., Geypens, M., 1995. Onderzoek naar een zo hoog mogelijke correlerend N-monitoringsysteem in relatie tot kwaliteitsaspecten van de teelt en aanvaardbare N-residu's. Instituut tot Aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw in België (I.W.O.N.L.), Comité voor Toegepaste Bodemkunde, Heverlee, 184 p.
- van de Poll, W., 1998. Intercropping leek with celery; effects on yield, nitrogen uptake and root dynamics. Wageningen Universiteit, Wageningen, 60 p.
- Vandermoere, S., Tavernier, G., Lauwers, L., Van De Sande, T., Goovaerts, E., Lievens, B., De Neve, S., 2018. Actief beheer en uitmijning van fosfaat voor optimale P-efficiëntie en terugdringen van fosfaatverliezen op perceelsniveau. A\_Propeau. Vlaio, Gent, 39 p.
- van Geel, W.C.A., 2008. Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op de nitraatuitspoeling. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Wageningen, 70 p.
- van Geel, W.C.A., Radersma, S., Meurs E.J.J., Grashoff, C., 2006. Comparison of split nitrogen application strategies in leek (*Allium porrum*) to reduce N fertilization on sandy soils in the Netherlands. Acta Hort. 700, 241-246.
- van Geel, W.C.A., Wilms, J.A.M., 2008. Stikstofrijenbemesting in een late herfstteelt bloemkool op zandgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lelystad, 20 p.
- van Geel, W.C.A., Wilms, J.A.M., de Haan, J.J., 2009. Stikstofbemesting met Pulstec in een late herfstteelt bloemkool op zandgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lelystad, 24 p.
- van Grinsven, H.J.M., ten Berge, H.F.M., Dalgaard, T., Fraters, B., Durand, P., Hart, A., Hofman, G., Jacobsen, B.H., Lalor, S.T.J., Lesschen, J.P., Osterburg, B., Richards, K.G., Techen, A.-K., Vertès, F., Webb, J., Willems, W.J., 2012. Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. Biogeosciences 9, 5143–5160.
- Van Hoof, W., 2015. De veredeling van prei door de Mechelse tuinder. <http://www.oikos.be/component/k2/item/731-de-veredeling-van-prei-door-de-mechelse-tuinder>.
- van Wijk, K., de Haan, J., Wilms, J., 2010. Fertigatie en plantdichtheden in prei. Verslag onderzoek 2009. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lelystad, 29 p.
- Verma, V., Gagliardi, F., Ferretti, C., 2009. On pooling of data and measures. Working Paper n. 84, Siena, 16 p.
- Verlinden, G., Pycke, B., Debersaques, F., Baert, G., Mertens, J., Bries, J., Haesaert, G., 2007. Humine- en fulvozuren als tool voor optimalisatie van plantenvoeding. Hogeschool Gent, Gent, 226 p.
- VLM, 2018. Mestrapport 2018. [https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Mestrapport\\_2018.pdf](https://www.vlm.be/nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/mestbank/Mestrapport_2018.pdf)
- VMM, 2018. MAP - Nutriënten in landbouwgebied. <https://www.vmm.be/water/kwaliteit-waterlopen/chemie/map>.
- Weinbaum, S.A., Johnson, R.S., DeJong, T.M., 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. HortTechnology 2, 112–120.
- Welch, N.C., Tyler, K.B., Quick, J., 1970. Brussels sprouts: growth and nutrient absorption. California Agriculture July, 12-13.
- Westerveld, S.M., McKeown, A.W., McDonald, M.R., 2006a. Carrot yield, quality, and storability in relation to preplant and residual nitrogen on mineral and organic soils. HortTechnology 16, 286-293.
- Westerveld, S.M., McKeown, A.W., McDonald, M.R., 2006b. Seasonal nitrogen partitioning and nitrogen uptake of carrots as affected by nitrogen application in a mineral and organic soil. HortScience 41, 1332-1338.
- Westerveld, S.M., McKeown, A.W., McDonald, M.R., 2008. Relationship between nitrogen fertilization and *Cercospora* leaf spot and *Alternaria* leaf blight of carrot. HortScience 43, 1522-1527.
- Willekens, K., Vandecasteele, B., De Neve, S., 2014. Limited short-term effect of compost and reduced tillage on N dynamics in a vegetable cropping system. Sci. Hortic. 178, 79-83.
- Xie, Y., Tittarelli, F., von Fragstein, P., Bavec, M., Canali, S., Kristensen, H.L., 2017. Can living mulches in intercropping systems reduce the potential nitrate leaching? Studies of organic cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and leek (*Allium porrum* L.) production across European conditions. Renew. Agr. Food Syst. 32, 224-239.

