



# Stikstofopname door akkerbouwgewassen

Een bureaustudie naar de totale N-opname en het opnamepatroon

Romke Postma

Noud van Dam



## Referaat

Postma, R., van Dam, A.M., 2025, Stikstofopname door akkerbouwgewassen; een bureaustudie naar de totale N-opname en het opnamepatroon, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 2061.N.24, pp 29.

## Rapport in het kort

Voor de belangrijkste akkerbouwgewassen in Nederland is de stikstofopname onderzocht in een bureaustudie. De totale N-opname en de verdeling over oogstproduct en gewasresten (boven- en ondergronds) is gekwantificeerd, evenals het opnamepatroon gedurende het groeiseizoen. De stikstofopname houdt sterk verband met het opbrengstniveau van het gewas. Het N-opnamepatroon van de gewassen is op verschillende manier gekwantificeerd, voor zaaiuien en aardappelen op basis van een relatie met T-som en voor andere gewassen op basis van de dag in het jaar. Deze informatie kan worden gebruikt om de benutting van toegediende stikstof door gewassen te verhogen.

---

© 2025 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

## Disclaimer

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

---

## Verspreiding

Brancheorganisatie Akkerbouw

digitaal

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting en conclusies</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2 N-opname akkerbouwgewassen</b>	<b>5</b>
2.1 <b>Totale N-opname door akkerbouwgewassen</b>	<b>5</b>
2.1.1 N-opname door afgevoerde oogstproducten	5
2.1.2 Opname in gewasresten	7
2.1.3 N-opname hele gewas bij gangbare opbrengsten	10
2.2 <b>N-opnamepatroon</b>	<b>12</b>
2.2.1 N-opnamecurve van aardappelen	12
2.2.2 N-opnamecurve van uien	15
2.2.3 N-opnamecurve van granen	16
2.2.4 N-opnamecurve van suikerbieten	17
<b>3 Discussie</b>	<b>19</b>
3.1 <b>Opbrengst en consequentie voor N-opname</b>	<b>19</b>
3.2 <b>Totale N-opname en N-opnamepatroon</b>	<b>20</b>
3.2.1 Totale N-opname	20
3.2.2 Opnamepatroon van stikstof	20
3.3 <b>Bredere context</b>	<b>22</b>
3.4 <b>Oplossingsrichtingen</b>	<b>24</b>
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>26</b>
<b>Literatuur</b>	<b>29</b>

# Samenvatting en conclusies

BO Akkerbouw heeft de Sectoraanpak Nitraat ontwikkeld om te voldoen aan de maximale norm van 50 mg NO<sub>3</sub>/l in grondwater volgens de Nitraatrichtlijn. Om een hoge stikstofbenutting te realiseren (om zodoende nitraatuitspoeling te beperken) en telers te helpen de juiste keuzes te maken ten aanzien van de juiste gift, het optimale toedieningstijdstip en de beste meststofkeuze is informatie over de totale stikstofbehoefte en het opnamepatroon van de geteelde gewassen noodzakelijk. BO Akkerbouw heeft NMI gevraagd de kennis hierover te actualiseren op basis van een bureaustudie.

Uit de literatuur blijkt dat de totale N-opname van gewassen sterk is gecorreleerd aan de opbrengst. Voor zaauien, suikerbieten en wintertarwe geldt dat er sprake is van een lichte daling van het N-gehalte in het gewas naarmate de opbrengst stijgt. Het gevolg hiervan is dat de N-opname bij wintertarwe, zaaui en suikerbieten (licht) afbuigt bij hoger wordende opbrengsten. Voor andere gewassen zijn lineaire verbanden waargenomen tussen het opbrengstniveau en de N-opname.

De opbrengsten van suikerbieten en wintergerst zijn in de afgelopen drie decennia (sterk) gestegen, terwijl dat bij de andere gewassen niet of nauwelijks het geval is en bij sommige gewassen (b.v. zaauien en triticale) lijkt zelfs sprake te zijn van een dalende tendens. Dit heeft bij suikerbieten geleid tot een hogere N-opname en N-afvoer met het oogstproduct, maar die toename is niet proportioneel meegestegen met de wortelopbrengst doordat het N-gehalte in de wortels licht is afgenomen.

De hoeveelheid N in gewasresten is bij sommige gewassen aanzienlijk. Voor de totale gewasbehoefte is dit een belangrijke component, waarbij men zich dient te realiseren dat de maximale N-inhoud van het gewas vaak enkele weken of maanden vóór de eind oogst van het gewas wordt bereikt. De gewasresten blijven na de oogst vrijwel steeds op het land achter, met uitzondering van stro. In Tabel 4-1 is de totale stikstofopname met onderverdeling naar het oogstproduct en gewasrest (boven- en ondergronds) en de corresponderende gewasopbrengsten van de belangrijkste akkerbouwgewassen weergegeven.

Tabel 1-1. Stikstofopname in het oogstproduct en gewasresten (boven- en ondergrond) van een aantal akkerbouwgewassen bij gemiddelde opbrengsten bij de eind oogst. Alle eenheden zijn in kg/ha tenzij anders aangegeven.

Gewas	Oogst-product	Bovengrondse gewasresten	Stro	Ondergrondse gewasresten	Totale N-opname	Gewas-opbrengst (ton/ha)
Tarwe, winter	151	19	16	20	206	9,3
Tarwe, zomer	112	10	32	21	175	6,7
Gerst, winter	137	18	14	13	182	8,6
Gerst, zomer	78	13	18	10	119	6,4
Mais, korrelmais	138	69		16	223	12,0
Mais, snijmais	186	5		21	211	45
Cons.aardappelen	156	34		10	200	47
Pootaardappelen	88	74		5	167	35
Zetmeelaardappelen	161	60		9	231	40
Suikerbieten	97	115		5	217	84
Zaai-uien (totaal)	86	33		1	120	48

De hoeveelheid N in gewasresten is indicatief, omdat de beschikbare metingen niet in alle gevallen bij de eindoogst zijn verricht, maar soms (ruim) daarvoor. Daarnaast is soms sprake van grote verschillen tussen rassen en grondsoorten. Dit is onder andere het geval bij zetmeelaardappelen, waarbij de N-inhoud in gewasresten eind augustus/begin september uiteenliep van 45 tot 130 kg N/ha, afhankelijk van ras en grondsoort (zand- en dalgrond). Naar verwachting zal de N-inhoud in gewasresten na eind augustus/begin september afnemen, zodat die hoeveelheid bij de eindoogst die veelal in oktober of november plaatsheeft, aanzienlijk lager zal zijn. Dit wordt bevestigd door Avebe, bij wie dit is nagevraagd. We hebben hierover echter geen informatie gevonden in de vorm van onderzoeksrapporten, wetenschappelijke artikelen en/of andere publicaties. Daarom is in de tabel een indicatieve N-inhoud van 60 kg N/ha in bovengrondse gewasresten van zetmeelaardappelen vermeld.

Informatie over het N-opnamepatroon bleek schaars en niet van recente datum te zijn. Het N-opnamepatroon van de gewassen is op verschillende manier gekwantificeerd. Voor zaaiuien en consumptie- en zetmeelaardappelen is de N-opname beschreven op basis van een relatie tussen temperatuursom (T-som) en het N-opnamepatroon, wat het voordeel heeft dat de opnamecurve verandert met een verandering van het klimaat en/of het weer. Bij wintertarwe en suikerbieten zijn relaties afgeleid tussen de dag in het jaar en het N-opnamepatroon en bij zomergerst is dat type relatie gebruikt voor het toetsen van modelberekeningen die het N-opnamepatroon inzichtelijk maken.

## Aanbevelingen

Om informatie over de totale N-opname en het opnamepatroon van gewassen te gebruiken voor doelsturing via een optimalisering van het N-management, het verhogen van de N-benutting en het beperken van het risico van nitraatuitspoeling, is een verdere actualisatie van de benodigde kennis van belang. Een verbetering van bemestingsadviezen via een verdere ontwikkeling van de N-balansmethode lijkt daarvoor goede mogelijkheden te bieden. Daarnaast is sprake van een aantal witte vlekken, zoals:

- Het effect van de bemestingshistorie op de N-opname: op veel onderzoekslocaties wordt niet of nauwelijks dierlijke mest gebruikt, terwijl dat op veel praktijkpercelen wel gebruikelijk is. Vraag is wat het effect daarvan is op verschillen in de N-mineralisatie, de N-opname van gewassen en de resulterende N-benutting (en dus ook op de hoeveelheid N<sub>min</sub> na de oogst). Aanbevolen wordt om na te gaan hoe groot die effecten zijn en hoe daarop met de bemesting is te sturen door optimaal gebruik te maken van de juistheden van bemesting.
- Er zijn aanwijzingen dat het effect van grondsoort (zand-, dal- en/of kleigrond) op de (dynamiek van de) N-opname groot is, maar dat is niet goed onderzocht. Ook hiervoor wordt aanbevolen na te gaan hoe groot die effecten zijn en hoe daarop met de bemesting kan worden gestuurd.
- Vooral bij aardappelen (tafel-, frites- en zetmeelaardappelen) kunnen de verschillen tussen rassen in (het verloop van) de N-opname, de optimale N-gift en de (haalbare) N-benutting groot zijn. Het lijkt dan ook zinvol meer aandacht te besteden aan rassenkeuze, een daarop aangepaste bemesting en verbeteringen in de N-benutting die daarmee mogelijk zijn.

Een bijzondere vorm van de balansmethode, is het N-bijmeststelsel, waarbij niet alleen het N-aanbod wordt afgestemd op de N-behoefte van het gewas, maar waarbij ook rekening wordt gehouden met de dynamiek. Dit biedt mogelijkheden om in te spelen op onvoorziene gebeurtenissen in het begin van het groeiseizoen veroorzaakt door het weer en moeilijk te voorspellen bodemprocessen, zoals N-mineralisatie, maar informatie over het N-opnamepatroon van gewassen is verouderd. Vooral bij gewassen met een relatief lage N-benutting, zoals uien en aardappelen biedt dit goede mogelijkheden voor een optimalisatie. Voor uien is een N-bijmeststelsel nog niet beschikbaar en wordt aanbevolen dat te ontwikkelen. Bij aardappelen kan dat worden verbeterd, door o.a. actuele informatie te verzamelen over de rasverschillen, een verbeterde inschatting van de N-mineralisatie, hoe daarop kan worden ingespeeld met bemesting en de mate waarin de N-benutting daarmee kan worden verbeterd. Door gebruik te maken van een relatie tussen temperatuursom en N-opname kan beter worden ingespeeld op weersverschillen tussen jaren.

# 1 Inleiding

De nitraatconcentratie in het bovenste grondwater voldoet nog niet overal in Nederland aan het, in de EU-nitraatrichtlijn, gestelde doel van maximaal 50 mg NO<sub>3</sub> /liter (11,3 mg NO<sub>3</sub>-N/l). Ook in de akkerbouw moeten in veel gebieden nog stappen gezet worden om de doelen te halen. De leden van BO Akkerbouw hebben een sectoraanpak ontwikkeld met als doel de normen voor grondwaterkwaliteit (nitraat) te halen op basis van doelsturing.

Om een hoge stikstofbenutting te realiseren en telers te helpen de juiste keuzes te maken ten aanzien van de juiste gift, het optimale toedieningstijdstip en de beste meststofkeuze (zowel organisch als mineraal) is informatie over de totale stikstofbehoefte en het opnamepatroon van de geteelde gewassen noodzakelijk.

Door toepassing van de genoemde juistheden van bemesting kan de hoogte van de gift worden afgestemd op de totale stikstofbehoefte van het gewas en de meststofkeuze op de periode en het verloop van de stikstofopname (patroon). Daarmee wordt het risico van hoge voorraden N-mineraal (Nmin) in de bodem in het najaar en een hoge nitraatuitspoeling geminimaliseerd.

Bij communicatie over de stikstofopname van gewassen wordt vaak gerefereerd aan proefresultaten van 30 jaar of ouder met rassen die tegenwoordig vaak niet meer geteeld worden. Niet zelden werd bij de uitvoering van die proeven gekozen voor bemesting met uitsluitend minerale meststoffen terwijl tegenwoordig een basisbemesting met organische meststoffen op veel plekken standaard is. Daarom heeft BO Akkerbouw aan NMI gevraagd om een studie uit te voeren die is gericht op actualisatie van die kennis.

Het doel van het project is om de kennis over de N-opname van akkerbouwgewassen te actualiseren. Daartoe zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

- Hoeveel stikstof nemen gewassen in totaal op, hoeveel wordt met de oogst van het land afgevoerd en wat blijft er met gewasresten op het land achter?
- In welke periode vindt de stikstofopname plaats? En wat is er bekend van de stikstofopnamepatronen van de belangrijke akkerbouwgewassen onder de huidige (klimatologische) omstandigheden?

## 2 N-opname akkerbouwgewassen

### 2.1 Totale N-opname door akkerbouwgewassen

#### 2.1.1 N-opname door afgevoerde oogstproducten

De Ruijter et al. (2020) hebben op basis van een databestand met gegevens uit de periode 1990-2019 N- en P-gehalten van akkerbouwgewassen met een groot areaal verzameld. Het doel van die studie was om geactualiseerde gegevens over de N- en P-afvoer met oogstproducten van akkerbouwgewassen vast te stellen, aangezien het gat tussen aan- en afvoer niet te groot moet zijn om verliezen naar water en lucht te beperken. Dit betekent dat er met name informatie verzameld is over de N- en P-gehalten in oogstproducten, aangezien die worden afgevoerd (tabel 2.1). Er is niet of nauwelijks gekeken naar de N- en P-gehalten in gewasresten (uitsluitend graanstro).

Tabel 2-1. Geselecteerde mediane waarden voor het N-gehalte in vers product. Een \* bij de gewasnaam betekent een significant effect van opbrengstniveau op het N-gehalte. N-range 'smal' betekent dat de verhouding tussen N-beschikbaar / N-advies ligt tussen 0,75-1,25 en bij N-range 'breed' ligt die tussen 0,5-1,5 (bron: De Ruijter et al., 2020).

Gewas	Code	N-range	P-klasse	Grondsoort <sup>1</sup>	N-gehalte (%)
Consumptieaardappel	CA	smal	midden	klei en zand	0,33
Pootaardappel	PA	smal	midden	klei en zand	0,25
Zetmeelaardappel	ZA	smal	midden	zand	0,40
Suikerbiet *	SB	smal	midden	klei en zand	0,115
Zaaiuien *	UI	smal	midden	klei	0,18
Wintertarwe *	WT	smal	alle data	klei	1,62
				zand	1,71
Wintertarwe-stro	WTs	smal	verbreed	klei	0,37
Zomertarwe	ZT	smal	verbreed	klei	1,66
Zomertarwe-stro	ZTs	breed	alle data	klei en zand	0,56
Wintergerst	WG	smal	alle data	klei en zand	1,60
Zomergerst	ZG	smal	verbreed	klei	1,23
				zand	1,38
Zomergerst-stro	ZGs	breed	alle data	klei en zand	0,56
Peen	PE	breed	alle data	klei	0,11
				zand	0,13
Snijmais *	SM	smal	midden	klei en zand	0,41
Korrelmais *	KM	breed	alle data	zand	1,15
Korrelmais-stro	KMs	breed	alle data	zand	0,22

<sup>1</sup> 'klei en zand' betekent dat er geen statisch significant verschil is tussen deze grondsoorten.

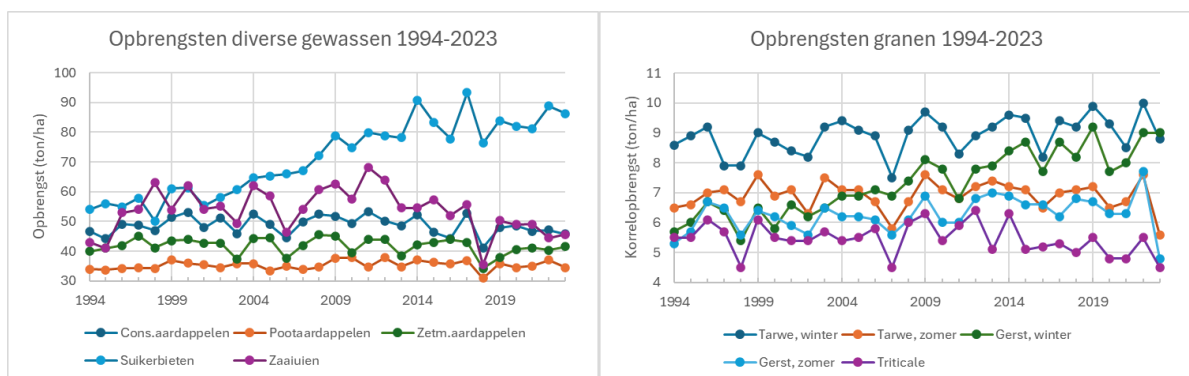
Om de N-afvoer met oogstproducten te kunnen berekenen is informatie nodig over N-gehalten en over de gerealiseerde opbrengsten. Informatie over de N-gehalten is beschreven in de studie van de Ruijter et al. (2020), waarbij is ingegaan op eventuele verschillen tussen grondsoorten en het effect van het opbrengstniveau op het N-gehalte. Bij suikerbieten, zaaiuien en wintertarwe (en ook bij snijmais en korrelmais) is sprake van een significant effect van het opbrengstniveau op het N-gehalte, waarbij het N-gehalte afneemt met een toenemende opbrengst (tabel 2.2). Het is van belang om bij deze gewassen

met een opbrengstafhankelijk N-gehalte te werken, omdat de N-afvoer en N-opname anders bij hoge opbrengsten wordt overschat (De Ruijter et al., 2020). De opbrengsten kunnen verschillen tussen grondsoorten en regio's, maar dat aspect is in de studie van de Ruijter niet uitgebreid meegenomen.

Tabel 2-2. Relatie tussen opbrengstniveau en het N-gehalte volgens:  $\text{gehalte} = \text{constante} + (\text{helling} \times \text{opbrengst})$ . Getoonde waarden voor N en opbrengst (ton/ha) betreffen mediane waarden. (Bron: De Ruijter et al., 2020).

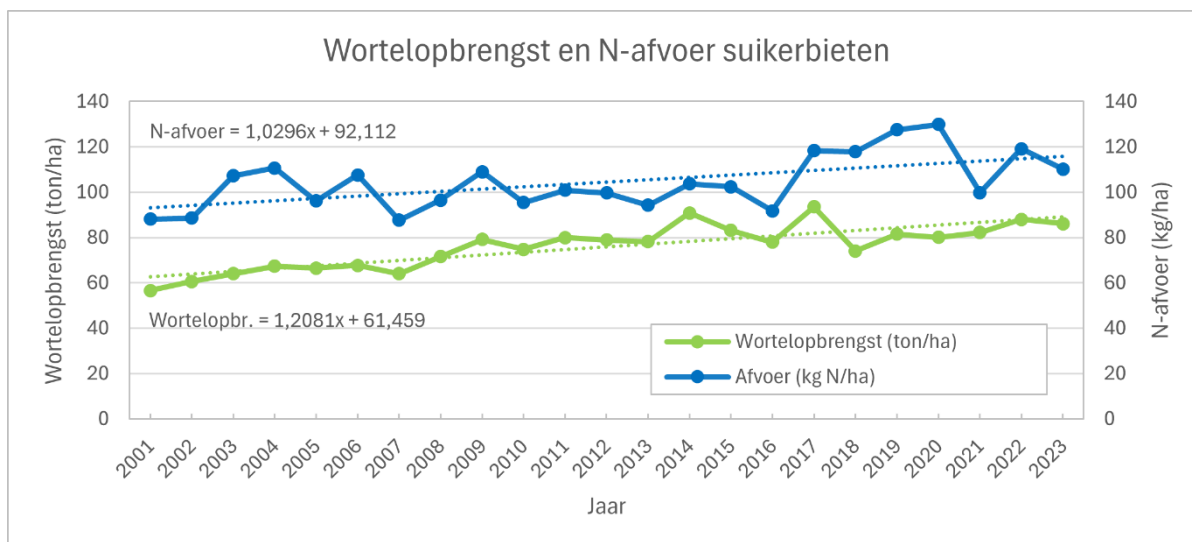
Gewas	Code	N-range	P-klasse	Grondsoort	N (%)	Opbrengst	Constante	Helling	R <sup>2</sup>
Suikerbiet	SB	smal	midden	klei en zand	0,115	80,4	0,1747	-0,000649	0,23
Zaaiui	UI	smal	midden	klei	0,18	70,4	0,299	-0,001571	0,44
Wintertarwe	WT	smal	alle data	klei	1,62	11,1	2,147	-0,04617	0,21
				zand	1,71	6,4	2,0476	-0,04617	0,21
Snijmais	SM	smal	midden	klei	0,41	47,7	0,4792	-0,001789	0,09
				zand	0,41	44,3	0,50559	-0,001789	0,09
Korrelmais	KM	breed	alle data	zand	1,15	10,8	1,394	-0,02164	0,27

De aanleiding voor de hier beschreven studie was dat gehanteerde gegevens over de N-opname van gewassen gebaseerd is op oude proeven die wellicht niet meer relevant en actueel zijn omdat er met andere rassen wordt gewerkt en opbrengstniveaus in sommige gevallen gestegen kunnen zijn. Nagegaan is hoe de gemiddelde opbrengsten van gewassen zich in de afgelopen decennia hebben ontwikkeld. Dit is op landelijk niveau weergegeven in Figuur 2-1.



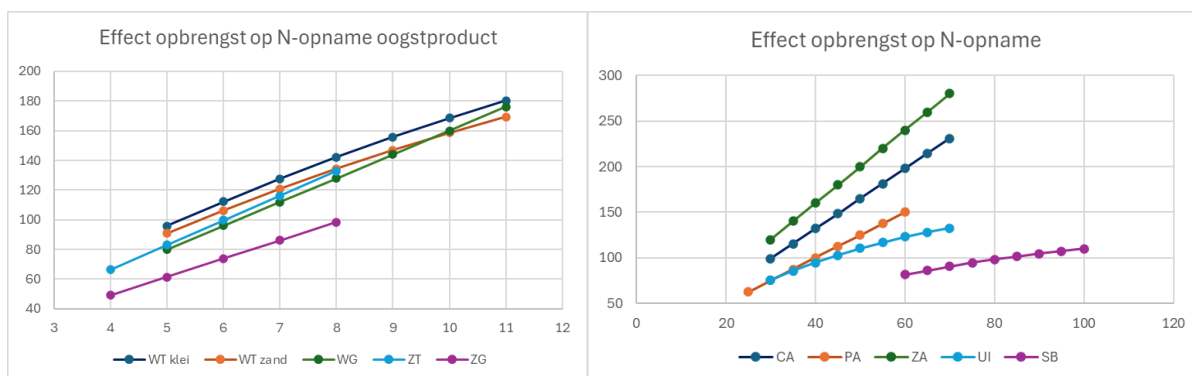
Figuur 2-1. Ontwikkeling van gemiddelde opbrengsten van gewassen (landelijk) in de periode 1994-2023. Bron: CBS.

Uit Figuur 2-1 blijkt dat met name de opbrengsten van suikerbieten en wintergerst (sterk) zijn gestegen in de afgelopen drie decennia, terwijl dat bij de andere gewassen niet of nauwelijks het geval is en er bij sommige gewassen (b.v. zaaiuien en triticale) zelfs sprake lijkt te zijn van een dalende tendens. Een vervolgvraag is of de gestegen opbrengsten ook hebben geleid tot een hogere N-opname en of daarmee de N-behoefte ook toe is genomen. Dit blijkt bij suikerbieten wel het geval te zijn, aangezien uit gegevens van IRS naar voren komt dat de N-afvoer is meegestegen met de wortelopbrengst (Figuur 2-2). De N-afvoer is echter niet proportioneel meegestegen met de wortelopbrengst, dus gemiddeld is het N-gehalte in de wortels licht afgenomen. Daarnaast moet voor een inschatting van de totale N-behoefte ook rekening worden gehouden met de hoeveelheid N in gewasresten die het gewas wel op dient te nemen voor een goede groei, maar die meestal niet van het land wordt afgevoerd. In de volgende paragraaf (2.1.2 Opname in gewasresten) wordt daar op ingegaan.



Figuur 2-2. Ontwikkeling van de gemiddelde wortelopbrengst en de N-afvoer van suikerbieten in de periode 2001-2023. Gemiddeld genomen is de wortelopbrengst met 45% gestegen in die periode en is de N-afvoer gestegen met 25%. Beide waarden zijn afgeleid van een trendlijn waarvan de formule is weergegeven in de grafiek. Bron: IRS (2024a).

Hiervoor is aangegeven dat er bij suikerbieten, zaaiuien en wintertarwe sprake is van een significant effect van het opbrengstniveau op het N-gehalte, waarbij het N-gehalte afneemt met een toenemende opbrengst. Bij de andere gewassen is dat niet het geval en kan met een vast N-gehalte worden gewerkt om de N-opname van het oogstproduct (= N-afvoer) bij uiteenlopende opbrengsten te berekenen. De relatie tussen het opbrengstniveau en de N-opname door (en dus ook N-afvoer met) oogstproducten is voor de belangrijkste gewassen visueel weergegeven in Figuur 2-3, waarbij de N-opname bij wintertarwe, zaaiui en suikerbieten (licht) afbuigt bij hoger wordende opbrengsten, terwijl er bij de andere gewassen sprake is van een lineair verband tussen opbrengst en N-opname in het oogstproduct.



Figuur 2-3. Relatie tussen opbrengstniveau en N-opname voor uiteenlopende gewassen. In de linker figuur zijn wintertarwe (WT) op klei en zand, wintergerst (WG), zomertarwe (ZT) en zomergerst (ZG) weergegeven. Rechts zijn consumptieaardappelen (CA), pootaardappelen (PA), zetmeelaardappelen (ZA), zaaiuien (UI) en suikerbieten (SB) weergegeven. Bron: De Ruijter et al. (2020).

## 2.1.2 Opname in gewasresten

### Overzicht N-opname in gewasresten

Hiervoor is de N-opname in oogstproducten beschreven, maar daarnaast is het voor het in beeld brengen van de totale N-behoefte van gewassen van belang om na te gaan hoeveel N er wordt opgenomen in andere gewasdelen. Voor die kwantificering is gebruik gemaakt van een recent uitgevoerde studie naar de hoeveelheid organische stof en C/N-ratio's in gewasresten door Selin Norén et al. (2022a). In dat kader zijn literatuurgegevens gecombineerd met veldmetingen aan ondergrondse

en bovengrondse gewasresten. Een overzicht van de hoeveelheid organische stof, koolstof (C), de C/N-ratio (gewogen over boven- en ondergrondse gewasresten) en de daaruit berekende hoeveelheid N in ondergrondse en bovengrondse gewasresten samen is weergegeven in Tabel 2-3.

Het beeld dat uit Tabel 2-3 naar voren komt is opmerkelijk, aangezien de berekende hoeveelheid N in gewasresten voor een aantal gewassen hoger is dan verwacht. Dit betreft met name de graangewassen waarbij stro op het land achterblijft, maar ook de N-inhoud van gewasresten van zetmeelaardappelen en pootaardappelen zijn (veel) hoger dan verwacht op basis van eerdere publicaties (o.a. Smit et al., 1992). In die oude bron werd voor wintertarwe een hoeveelheid van 45 kg N/ha vermeld (onduidelijk is of daarbij uitgegaan is van het afvoeren of achterlaten van stro) en voor aardappelen (er werd geen onderscheid gemaakt naar teeltdoel en ras) is aangegeven dat er 20 kg N/ha achterblijft in oogstresten. Bij zetmeelaardappelen is het relatief hoge getal te verklaren door het moment van meten (eind augustus; zie verder). Uit navraag bij Avebe werd aangegeven dat de oogst veelal plaatsvindt tussen half oktober en half november en de verwachting is dat de N-inhoud dan aanzienlijk lager is.

Daarentegen werd er voor suikerbieten een hoeveelheid van 120 kg N/ha vermeld door Smit et al. (1992), wat hoger is dan de 90 kg N/ha op basis van de nieuwe gegevens uit Selin Norén et al. (2022a). Een mogelijke verklaring daarvoor is dat er bij nieuwe bietenrassen sprake is van een geringere hoeveelheid loofmassa en dat daarnaast de oogstmethode enigszins is veranderd, waardoor een minder groot deel van de kop achterblijft op het land. Uit een omvangrijk onderzoek op 11 proefvelden in Duitsland bleek echter dat de gemiddelde N-inhoud van het loof 114 kg N/ha bedroeg (Bürcky et al., 2017). De gegevens van Selin Norén lijken voor suikerbieten dus relatief (te) laag te zijn en we hebben daarom voor de benodigde N-opname door het hele gewas voor het loof 115 kg N/ha aangehouden (zie 2.1.3).

Tabel 2-3. De hoeveelheid organische stof, koolstof (C), de C/N-ratio (boven- en ondergrondse gewasresten) en de daaruit berekende hoeveelheid N in ondergrondse en bovengrondse gewasresten, waarbij voor granen onderscheid is gemaakt tussen stoppel en stro (op basis van Selin Norén et al., 2022a; zie verder).

Gewas	lot stro	gewasresten		OS, kg/ha	kg C/ha	C/N-ratio	kg N/ha	
		bovengronds stoppel	stro					
Zomertarwe	afgevoerd	1330		2570	3900	1950	66	30
	ingewerkt	1330	5700	2570	9600	4800	69	70
Wintertarwe	afgevoerd	2560		2490	5050	2525	80	32
	ingewerkt	2560	4230	2490	9280	4640	75	62
Zomergerst	afgevoerd	1770		1320	3090	1545	70	22
	ingewerkt	1770	3200	1320	6290	3145	63	50
Wintergerst	afgevoerd	2680		1780	4460	2230	75	30
	ingewerkt	2680	3840	1780	8300	4150	80	52
Suikerbieten		3590		420	4010	2005	22	91
Zetmeelaardappelen		3260		440	3700	1850	16	116
pootaardappelen		2650		360	3010	1505	20	75
Cons.aardappelen		1400		690	2090	1045	24	44
Snijmais		950		1470	2420	1210	58	21
Korrelmais		6510		1370	7880	3940	47	84
Zaaiuien		1350		30	1380	690	20	35
graszaad 1e jaar		1230		2070	3300	1650	27	61
graszaad 2e jaar		1140		2730	3870	1935	28	69

## N-opname in gewasresten van granen

De C/N ratio's van graangewassen (excl. mais) die zijn weergegeven in tabel 2.3 zijn berekend op basis van een selectie van de data uit Selin Norén et al. (2022b). Alleen proefdata van tarwe en gerst waar zowel OS-opbrengst en N-gehalten zijn gemeten van alle gewasresten (stro, stoppel en ondergrondse gewasresten) zijn gebruikt. Details van de onderliggende data van deze proeven zijn opgenomen in Tabel 2-4. De C/N ratio's die voor de gewasresten van granen zijn opgenomen in Tabel 2.3 zijn gebaseerd op de data die voor stoppel, stro en wortels zijn weergegeven in tabel 2.4, waarbij tevens rekening is gehouden met de hoeveelheid organische stof per onderdeel. De totale N-opname in de gewasresten is berekend door voor ieder gewasrest-onderdeel de hoeveelheid C te delen door de C/N ratio en de hieruit voortkomende N-opname van de verschillende gewasdelen bij elkaar op te tellen.

Tabel 2-4. Gegevens van de C/N-ratio van granen van de veldproeven met wintertarwe, zomertarwe, wintergerst en zomergeerst die zijn uitgevoerd in de jaren 2020 en 2021. N geeft het aantal herhalingen van de proef op een jaar-locatie combinatie aan. Bon: Selin Norén et al, 2022b.

Gewas	Ras	Locatie	Jaar	C/N stoppel	C/N stro	C/N wortels	n
wintertarwe	Graham	Valthermond	2020	64	66	77	2
	Bennington	Valthermond	2020	71	66	78	2
	Informer	Valthermond	2020	76	77	90	2
	Graham	Lelystad	2021	107	73	59	4
zomertarwe	Tybalt	Valthermond	2020	82	82	66	2
	KWS Starlight	Valthermond	2020	94	94	69	2
	Kapitol	Valthermond	2020	105	105	74	2
	Tybalt	Lelystad	2021	62	29	43	4
wintergerst	Cassiopée	Valthermond	2020	75	52	56	3
	Rafaëla	Valthermond	2020	81	53	56	3
	Pixel	Lelystad	2021	96	136	56	4
zomergeerst	KWS Irina	Valthermond	2020	66	66	60	2
	Laureate	Valthermond	2020	58	58	60	2
	KWS Irina	Lelystad	2021	94	57	58	4

## N-opname in gewasresten bij aardappelen

Uit Tabel 2-3 blijkt dat er bij aardappelen verschillen zijn in N-opname van het loof, afhankelijk van het teeltdoel. Zetmeelaardappelen hebben een hogere N-inhoud in de bovengrondse gewasdelen (loof) dan consumptieaardappelen. Echter, dit heeft zoals hierboven reeds aangegeven te maken met het moment van monstername (eind augustus). Bij de oogst eind oktober is dit (naar alle waarschijnlijkheid) veel lager. Bij pootaardappelen is dit verschil tussen zetmeelrassen en consumptierassen ook zichtbaar (Tabel 2.5), wat voor een deel ook kan zijn veroorzaakt door een verschil in grondsoort. De zetmeelrassen zijn geteeld op dalgrond en de consumptierassen op klei.

In tabel 2.5 is de datum van monstername opgenomen omdat bekend is dat het moment van monstername een grote invloed heeft op de N-inhoud en het N-gehalte van het loof. Voor zetmeelaardappelen is rond 1 augustus de hoeveelheid N in het loof maximaal. Na deze datum daalt de N-inhoud in het loof gestaag maar stijgt het N-gehalte in de knol nog (Van Geel et al., 2003). In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de N-dynamiek van het aardappelgewas gedurende het seizoen, inclusief het verloop van de totale N-opname en de verdeling van N over loof en knol.

De N-inhoud van het loof van 5 rassen zetmeelaardappelen die zijn geteeld op dalgrond te Valthermond varieerde eind augustus tussen de 75 en 129 kg N ha<sup>-1</sup>. Op basis van de gegevens van Van Geel et al. (2003; zie volgende hoofdstuk) is te verwachten dat dit daarna nog daalt. In een veldproef met de rassen Seresta en Mercator op zandgrond te Rolde in 2002 bleek dat de N-inhoud in het loof op 9 september gelijk was aan 45-60 kg N/ha (Van Geel et al., 2003). Daarom zijn we voor de berekening van de totale N-opname door het hele gewas (zie verder) uitgegaan van opname van 60 kg N/ha in het loof. Het moge duidelijk zijn dat dit indicatief is en dat het oogsttijdstip (eind oktober tot half november), ras en grondsoort een grote rol spelen bij de uiteindelijke N-inhoud in het loof.

Bij 7 rassen consumptieaardappelen die op klei- en zandgrond op uiteenlopende locaties zijn geteeld lag de N-inhoud in het loof met waarden tussen de 13 en 47 kg N ha<sup>-1</sup> een stuk lager dan bij zetmeelaardappelen. De hoeveelheid N in het loof van consumptieaardappelen lijkt op zand gemiddeld lager te zijn dan op klei, maar de cijfers laten zich moeilijk vergelijken doordat alleen Agria's zijn geteeld op zand- én kleigrond.

Tabel 2-5. N-opname van het loof van verschillende aardappelrassen zoals gemeten in veldproeven in Nederland in 2020 en 2021 (Selin Norén et al., 2022b). De rassen Melody, Agria en Fontane zijn te Vredepeel, Lelystad en Westmaas zowel in 2020 als 2021 geteeld. Alle andere combinaties van ras en locatie zijn eenmalig uitgevoerd.

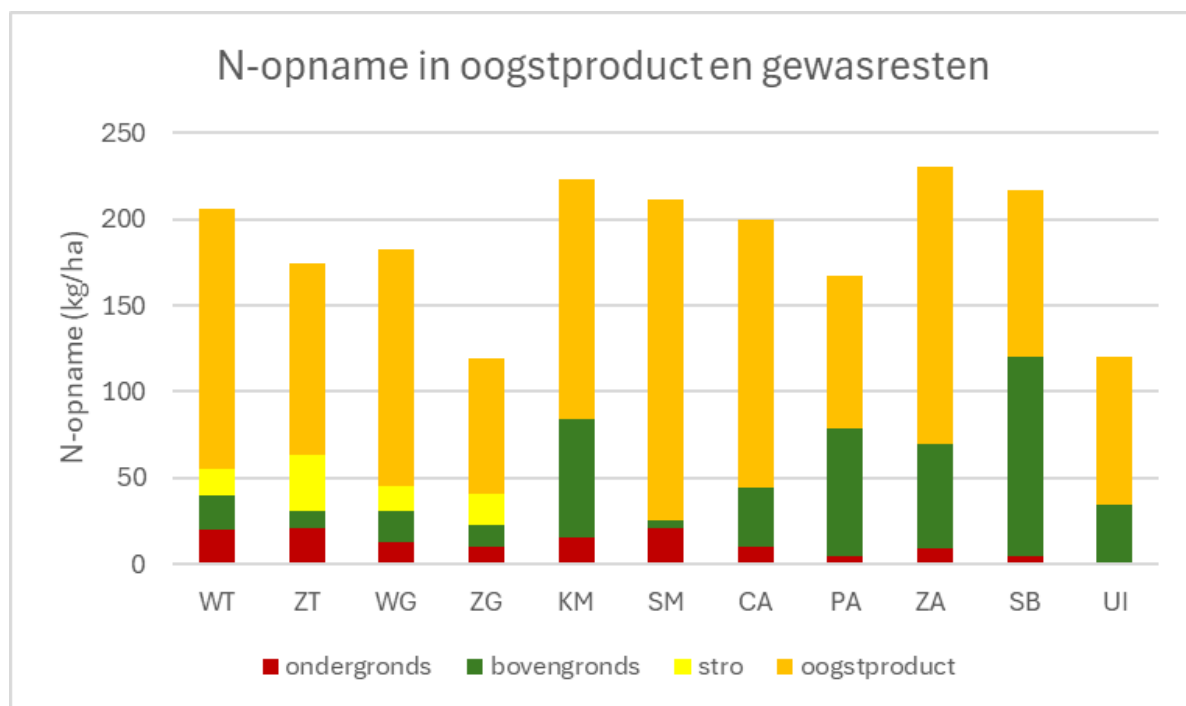
Gewas	Ras	Locatie	grondsoort	Datum monstername	N-opname loof N (kg/ha)	N
Poot-aardappel	Innovator	Lelystad	klei	10 aug 2021	32	2
	Fontane	Lelystad	klei	10 aug 2021	45	2
	Festien	Valthermond	dalgrond	8 aug 2021	115	2
	Altus	Valthermond	dalgrond	8 aug 2021	73	2
Zetmeel-aardappel	Seresta	Valthermond	dalgrond	27 aug 2021	112	4
	Altus	Valthermond	dalgrond	27 aug 2021	129	4
	Supporter	Valthermond	dalgrond	27 aug 2021	129	4
	BMC	Valthermond	dalgrond	27 aug 2021	84	4
	Festien	Valthermond	dalgrond	27 aug 2021	75	4
Consumptie-aardappel	Agria	Vredepeel	zand	17 aug 2020	24	4
	Agria	Westmaas	klei	31 aug 2020	30	4
	Agria	Lelystad	klei	31 aug 2020	29	4
	Agria	Lelystad	klei	19, 20 aug 2021	13	2
	Innovator	Lelystad	klei	31 aug 2020	41	4
	Innovator	Westmaas	klei	31 aug 2020	43	4
	Milva	Lelystad	klei	31 aug 2020	47	4
	Markies	Lelystad	klei	31 aug 2020	43	4
	Lady anna	Westmaas	klei	31 aug 2020	35	4
	Melody	Westmaas	klei	31 aug 2020	39	4
	Melody	Westmaas	klei	30 aug 2021	36	2
	Fontane	Vredepeel	zand	17 aug 2020	32	4
	Fontane	Vredepeel	zand	9, 10 okt 2021	19	2

### 2.1.3 N-opname hele gewas bij gangbare opbrengsten

De informatie uit het voorgaande is gebruikt om de N-opname door het hele gewas (dus in oogstproduct + in overige gewasdelen) te berekenen bij gangbare opbrengsten. Daarbij is uitgegaan van de

gemiddelde opbrengsten van de oogstproducten die gedurende de periode 2019-2023 op landelijk niveau zijn gerealiseerd (CBS, 2024). Voor de hoeveelheid N in gewasresten is geen informatie gevonden over de relatie met opbrengst, dus daar is uitgegaan van een vaste hoeveelheid.

Door Selin Norén et al. (2022) is er onderscheid gemaakt naar de C/N-ratio's van boven- en ondergrondse gewasresten. De bovengrondse gewasresten (stro en stoppel) zijn samengevoegd tot een gemiddelde. Overigens is voor de berekende hoeveelheid N in graanstro uitgegaan van de gegevens van De Ruijter et al. (2020), omdat die wat preciezer naar het stro hebben gekeken. Dit resulteert in wat lagere hoeveelheden N in stro dan die berekend op basis van de gegevens van Selin Norén et al. (2022). Zoals in de voorgaande paragraaf is aangegeven is voor zetmeelaardappelen uitgegaan van een lagere N-inhoud in het loof dan die gerapporteerd door Selin Norén et al. (2022a+b), omdat de eindoogst grotendeels plaatsvindt vanaf eind oktober tot half november en daarmee dus veel later valt dan eind augustus (meetmoment N-inhoud loof) en de N-inhoud bij de eindoogst dan een stuk lager zal zijn (o.a. Van Geel et al., 2003). Verder is voor suikerbieten een wat grotere hoeveelheid N in het loof aangehouden dan die gerapporteerd door Selin Norén et al. (2022a+b), aangezien literatuurgegevens uit Duitsland grotere hoeveelheden uitwijzen (Bürcky et al., 2017).

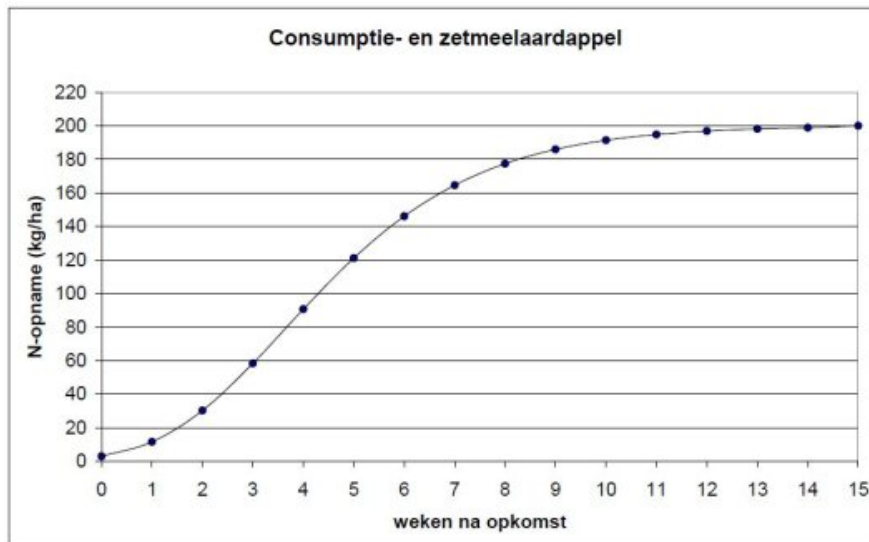


Figuur 2-4. Gemiddelde N-opname per gewas, waarbij onderscheid is gemaakt naar het oogstproduct (dat komt overeen met de N-afvoer) en de gewasresten, waarbij vervolgens onderscheid is gemaakt tussen onder- en bovengrondse gewasresten en stro. Figuur is samengesteld o.b.v. data van CBS, Selin Norén (2022a+b), De Ruijter et al. (2020), Van Geel et al. (2003) & Bürcky et al. (2017).

## 2.2 N-opnamepatroon

### 2.2.1 N-opnamecurve van aardappelen

Het N-opnamepatroon van gewassen gedurende het seizoen wordt gebruikt voor adviezen voor gewassen waarvoor een N-bijmeststelsel beschikbaar is. Van de akkerbouwgewassen is dit type advies alleen beschikbaar voor consumptieaardappelen en zetmeelaardappelen<sup>1</sup>. Hiervoor wordt één opnamecurve gehanteerd, die is afgeleid van een relatie tussen de temperatuursom vanaf het moment van poten en de totale N-opname door het hele gewas (Figuur 2-5; zie verder).



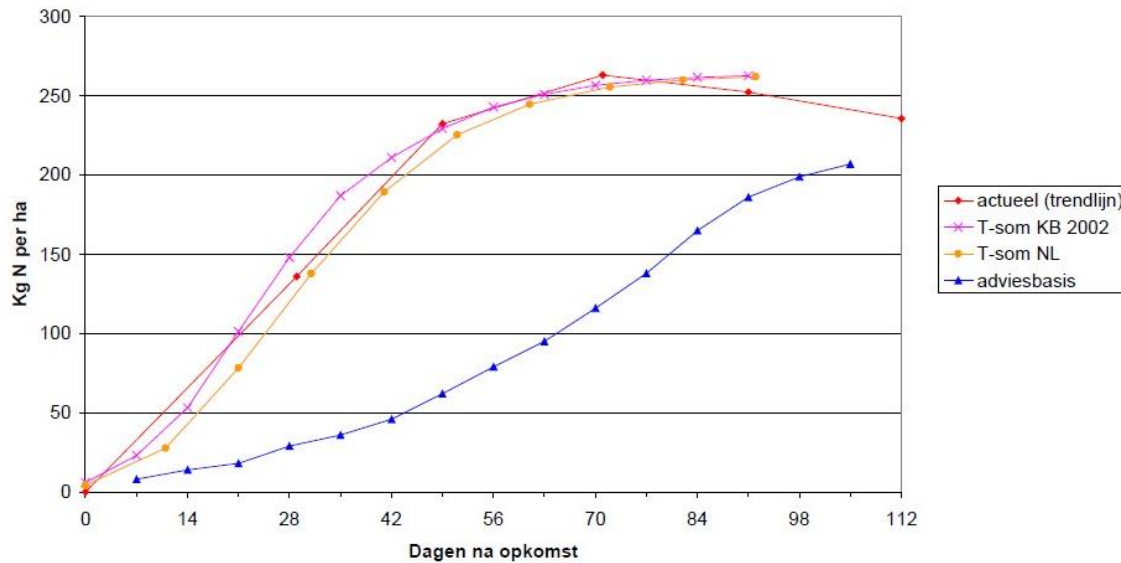
Figuur 2-5. N-opnamecurve voor consumptie- en zetmeelaardappelen, uitgaande van een knolopbrengst van 50 ton per ha voor consumptieaardappelen en 45 ton per ha voor zetmeelaardappelen.

De opnamecurve voor aardappelen in het NBS-bodem is enige jaren geleden door de Commissie voor Bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen (CBAV) aangepast op basis van een relatie tussen temperatuursom (T-som; som van de gemiddelde etmaaltemperatuur vanaf het moment van poten) en de N-opname (Steltenpool & Van Erp, 1995) en enkele recentere veldproeven waarin het opnameverloop is gemeten (Van Geel et al., 2003). In Figuur 2-6 is weergegeven dat de oude opnamecurve een heel ander beeld gaf dan de gemeten N-opname in de veldproef uit 2022 en de berekende opnamecurve op basis van de T-som. Laatstgenoemde berekening kwam goed overeen met de werkelijk gemeten opname.

1

<https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Stikstof/Stikstofbijmestsystemen/Stikstofbijmeststelsel-Aardappel.htm>

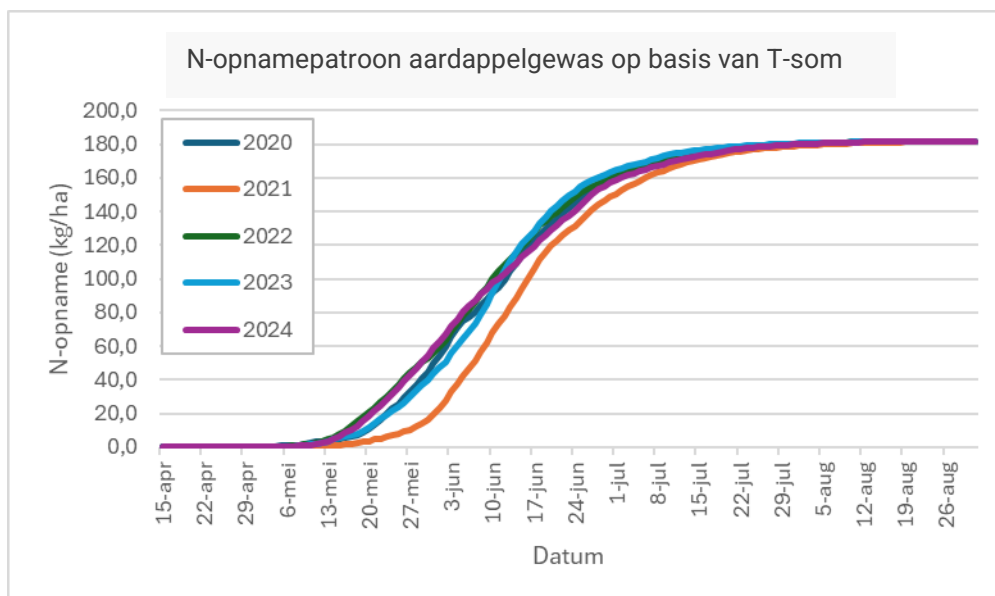
Figuur 2-5



Figuur 2-6. Verloop van de N-opname door zetsmeelaardappelen in een veldproef te Rolde in 2002 (rode lijn; gemiddeld voor rassen Seresta en Mercator) in vergelijking met de oude opnamecurve die tot 2002 werd gehanteerd voor NBS-bodem (blauwe lijn). Bron: Van Geel et al., 2003.

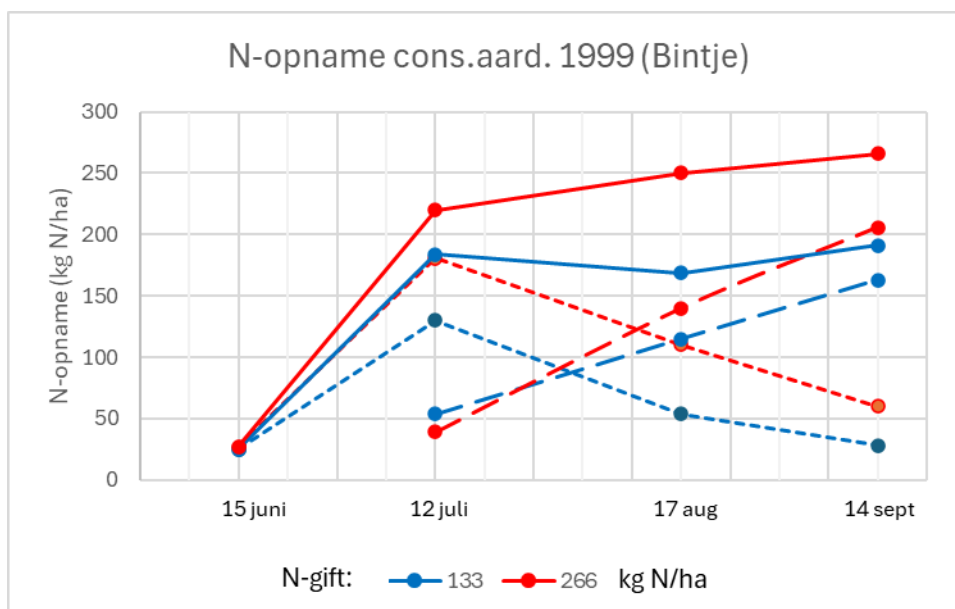
Steltenpool en Van Erp (1995) hebben de N-opnamecurve afgeleid ( $R^2 = 0,71$ ) van 30 veldproeven waarin de N-opname van consumptie- en zetsmeelaardappelen is bijgehouden gedurende het seizoen en gerelateerd aan de T-som vanaf poten, waarbij een basistemperatuur van  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  is gehanteerd. Dit houdt in dat voor het berekenen van de T-som is uitgegaan van de temperatuur boven de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Van het totaal aantal proeven van 30 zijn 19 proeven uitgevoerd met het ras Bintje van 1961 t/m 1981. Van 1991 t/m 1993 zijn er 11 proeven uitgevoerd met de rassen Elles (2), Elkana (2), Astarte (1) en Vebece (6). De drie laatstgenoemde rassen zijn zetsmeelaardappelen. De spreiding in maximale N-opname tussen rassen en jaren varieert van 150 tot 225 kg N/ha (Figuur 3 in Steltenpool & Van Erp, 1995). Dat is dus lager dan de maximale opname  $> 250\text{ kg N/ha}$  die voor zetsmeelaardappelen werd gevonden door Van Geel et al. (2003).

De relatie tussen N-opname en de temperatuursom impliceert dat beslissingen over het tijdstip en de hoogte van de N-bijmesting afhankelijk zijn van het temperatuurverloop gerekend vanaf het moment van poten. Vanaf het moment van poten neemt de N-opname exponentieel toe tot een T-som van  $550\text{ }^{\circ}\text{Cd}$ , vanwaar de opname lineair is tot  $700\text{ }^{\circ}\text{Cd}$ . Na  $700\text{ }^{\circ}\text{Cd}$  vlakt de curve af om te eindigen bij een maximale opname van  $182\text{ N kg/ha}$ . Dat niveau hangt af van de opbrengst. Een koud voorjaar zal leiden tot een langzamere N-opname en het bijmestadvies moet daarvoor worden gecorrigeerd. In Figuur 2-7 is te zien dat 2021 een relatief koud voorjaar kende en dat het traject waarin de N-opname lineair is – als zo'n  $80\text{ kg N/ha}$  is opgenomen – een week later valt dan de andere jaren.



Figuur 2-7. Het berekende N-opnamepatroon (loof en knol) voor de jaren 2020 t/m 2024 op basis van het verloop van T-som (> 2 °C), zoals afgeleid door Steltenpool & Van Erp (1995).

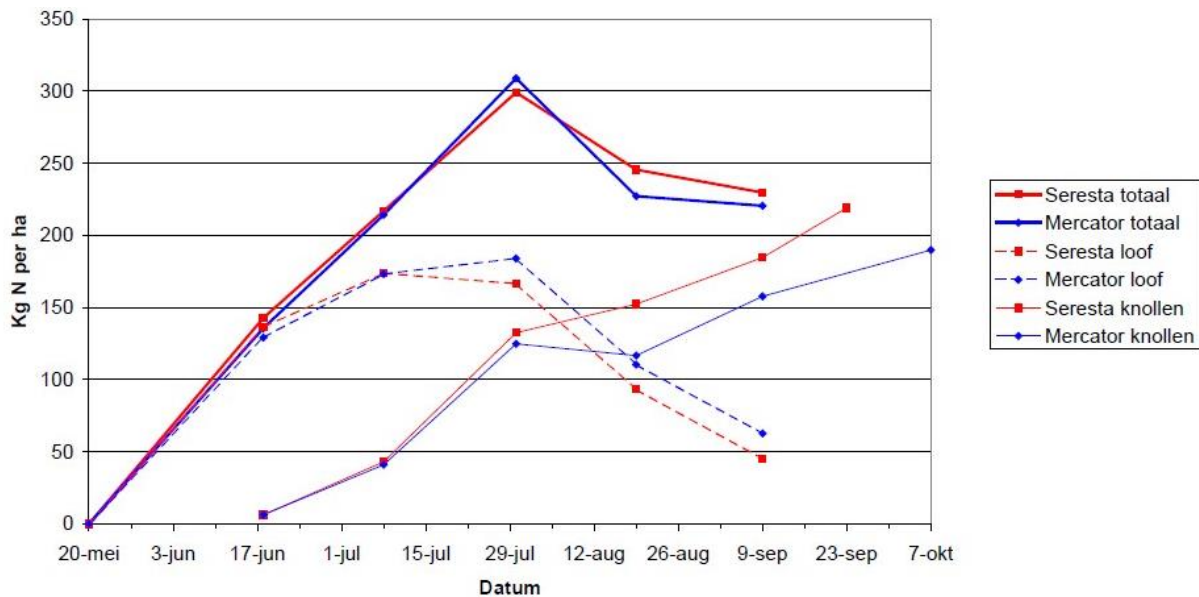
Postma en Van Erp (2000) hebben het opnamepatroon en de verdeling van de N-inhoud over loof en knol bij consumptieaardappelen (ras Bintje) bij uiteenlopende N-giften in veldproeven in 1998 en 1999 op lichte klei te Lelystad beschreven. Voor twee behandelingen (N-gift van 133 en 266 kg N/ha én berekening) in de proef uit 1999 (gepoot op 4 mei) zijn de resultaten weergegeven in figuur 2-8. Na half juli nam de hoeveelheid N in het loof af tot een niveau van 60 kg N/ha bij de eindogst rond half september bij een N-jaargift van 266 kg N/ha. De totale N-inhoud van het gewas was het hoogst bij de eindogst.



Figuur 2-8. Verloop van de N-opname van consumptieaardappelen (ras Bintje) bij twee N-niveaus (133 en 266 kg N/ha) met berekening in een veldproef uit 1999 op lichte kleigrond te Lelystad (Postma & van Erp, 2000). Onderscheid tussen de N-inhoud in loof (stippellijn), knol (onderbroken lijnen) en totaal (doorgetrokken lijnen).

Door Van Geel et al. (2003) is ook het opnamepatroon en de verdeling van de N-inhoud over loof en knol voor twee zetmeelaardappelrassen op basis van een veldproef in 2002 op zandgrond te Rolde

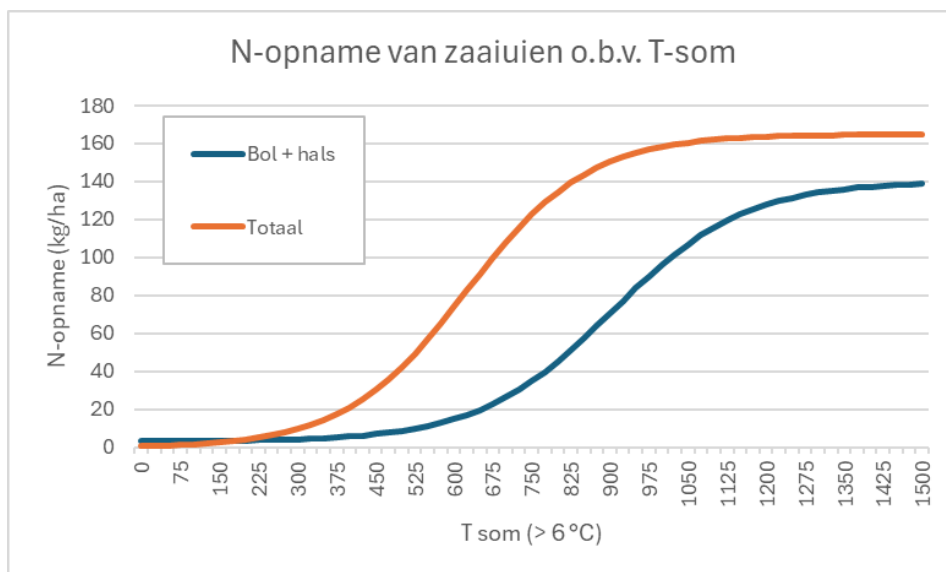
weergegeven (Figuur 2-9). Het ras Seresta heeft een N-gift van 225 kg N/ha bij poten gekregen en het ras Mercator 180 kg N/ha. Hieruit blijkt dat het maximum van de N-opname door het hele gewas voor beide rassen rond 1 augustus werd bereikt (300 kg N/ha) en dat daarna een daling optrad tot een niveau van 220-230 kg N/ha door een sterke afname van de hoeveelheid N in het loof. De afname van de hoeveelheid N in het loof werd veroorzaakt door een beperkte afname van de hoeveelheid drogestof en een relatief sterke daling van het N-gehalte. De verschillen in het opnameverloop tussen rassen waren vrij klein, maar bij het ras Seresta (vroeg ras; vroegrijpheidscijfer 5) nam de hoeveelheid N in het loof eerder af (na begin/half juli) dan bij het ras Mercator (vanaf eind juli; laat ras; vroegrijpheidscijfer niet vermeld). De knolopbrengst in de veldproef was voor beide rassen gemiddeld bijna 60 ton/ha, wat werd beoordeeld als relatief laag.



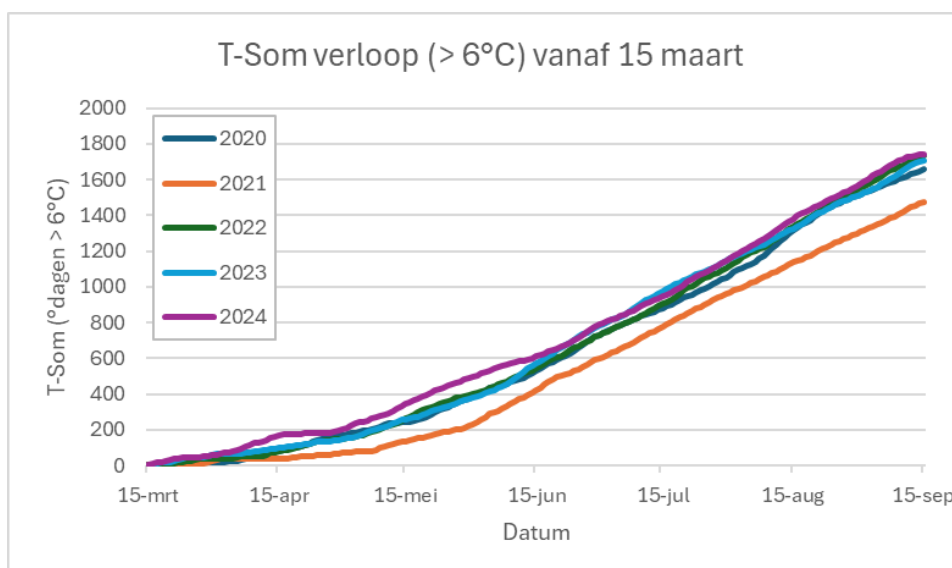
Figuur 2-9. Verloop van de N-opname door twee zetmeelaardappelryassen in een veldproef op zandgrond te Rolde in 2002, waarbij onderscheid gemaakt is naar de opname in het loof en in de knollen. Bron: Van Geel et al., 2003.

## 2.2.2 N-opnamecurve van uien

Bij zaaiuien is evenals bij aardappelen een verband afgeleid tussen de N-opname en de temperatuursom op basis van een veldproef op lichte kleigrond te Lelystad (De Visser, 1996; Figuur 2-10). Het verschil met de curve uit Figuur 2-7 is dat de basistemperatuur voor het berekenen van de T-som bij uien bij 6°C lag. Bij deze hogere drempelwaarde valt de lagere en latere N-opname bij een koud voorjaar des te meer op. In het warme voorjaar van 2024 zou de helft van alle stikstof op 15 juni al zijn opgenomen, terwijl dit voor het koude voorjaar van 2021 pas rond 1 juli zou zijn geweest. De N-opname is maximaal in het lineaire bereik tussen 550 en 750 °Cd, als ongeveer de helft van alle stikstof is opgenomen. De curve in Figuur 2-11 is gebaseerd op een veldproef uitgevoerd in 1988 op lichte klei te Lelystad, met het ras Robusta. Afwijkende omstandigheden die kunnen zijn gelegen in het geteelde ras, de grondsoort en het gebruik van dierlijke mest, kunnen effect hebben op het N-opnamepatroon, maar daarover hebben we geen informatie gevonden. Aangezien er de laatste jaren meer uien worden verbouwd op zandgrond, is het zinvol na te gaan of het opnamepatroon op zand afwijkt van de opname op kleigrond.



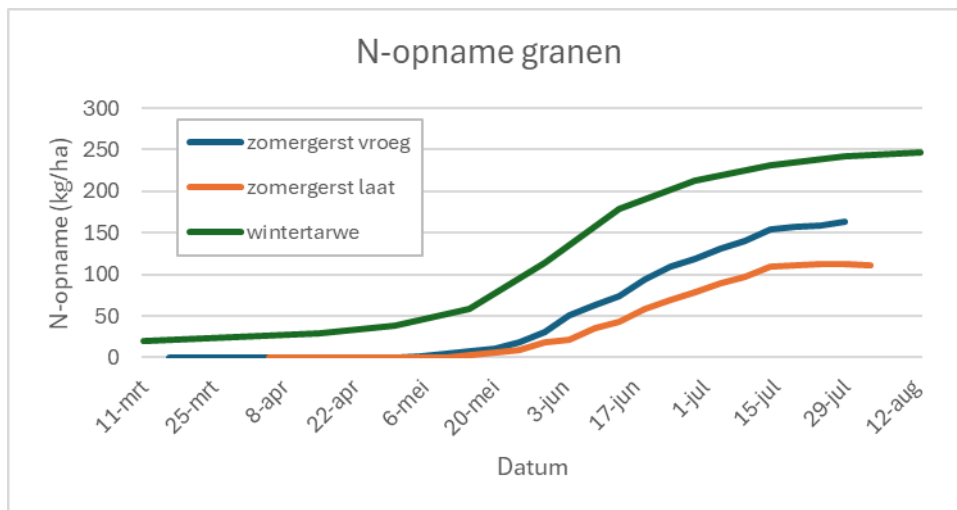
Figuur 2-10. Berekende N-opname in relatie tot temperatuursom boven 6°C voor zaaiuien.



Figuur 2-8. T-som verloop (boven 6°C) vanaf de zaaidatum (15 maart) voor de jaren 2020-2024.

### 2.2.3 N-opnamecurve van granen

Pronk en Groenwold (2003) hebben voor zomergerst de N-opname gemodelleerd (Figuur 2-92). Ze gaven aan dat deze gemodelleerde N-opname zeer sterk overeenkwam met de gemeten N-opname in twee proefvelden te Vredepeel die waren ingezaaid op 16 maart en 2 april. Het opmerkelijke is dat de laat ingezaaide gerst ook bij een latere oogstdatum niet dezelfde N-opname bereikte als de vroeg-ingezaaide gerst. Het was echter niet te achterhalen welke andere factoren hierbij een rol hebben gespeeld.



Figuur 2-92. Gemodelleerde N-opname van de bovengrondse delen van zomergerst (vroeg en laat ingezaaid; uit Pronk en Groenewold (2003)) en wintertarwe (Darwinkel, 1997).

De N-opname van wintertarwe komt uit de teelthandleiding voor wintertarwe (Darwinkel, 1997). De N-opname ligt een stuk hoger dan die van zomergerst en kan zo'n 250 kg N/ha zijn op het moment van oogsten. Tussen de zaaidatum en half mei neemt wintertarwe zo'n 40-50 kg N/ha op. Vanaf eind mei/begin juni begint de N-opname sterk toe te nemen ten behoeve van de blad- en stengelgroei. Tijdens de korrelvulling is veel stikstof als eiwit nodig voor de groeiende korrels. Aanvankelijk wordt deze stikstof uit de bodem gehaald maar later is er sprake van herverdeling en wordt er ook stikstof onttrokken uit de bladeren en stengel (Darwinkel, 1997).

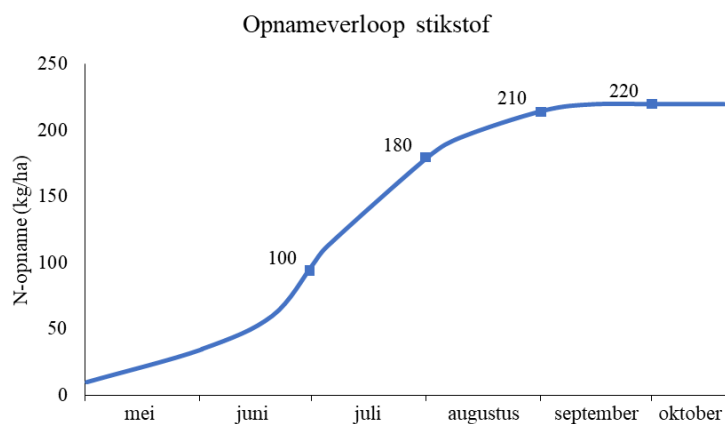
Het getal van 250 kg N/ha is afgeleid van gegevens van veldproeven in 1996 te Lelystad en Westmaas (Tabel 13; Darwinkel, 1997). Gemiddeld was de N-opname 250 kg/ha bij N-giften variërend van 135 tot 295 kg N/ha. De gemiddelde maximale N-opname was 292 kg/ha bij een bemesting van 295 kg N/ha.

In veldproeven op verschillende locaties in Nederland van 1983 tot 1991 zijn N-opnamen van de bovengrondse delen van 189 tot 235 kg N/ha gemeten<sup>2</sup> (Darwinkel, 1995). Gemiddeld over deze periode was de opname 206 kg N/ha in de bovengrondse delen. Darwinkel maakt ook nog onderscheid tussen laag- en hoogproductieve rassen. De laag- en hoogproductieve rassen hebben een N-opname van respectievelijk gemiddeld 209 en 217 kg/ha.

## 2.2.4 N-opnamecurve van suikerbieten

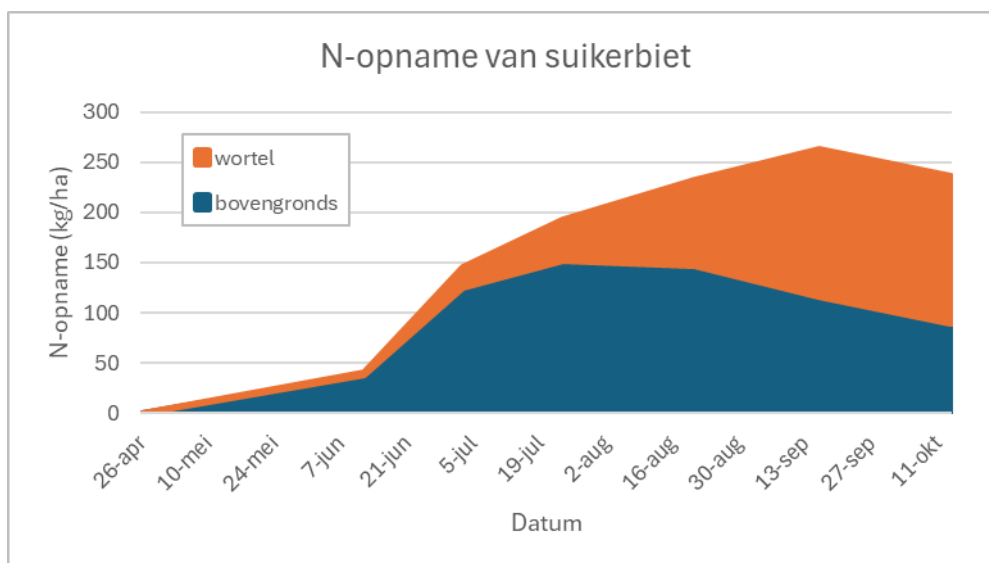
Voor wat betreft de N-opname van suikerbieten zijn er twee bronnen die een vergelijkbaar verloop tonen. In de jaren '80 zijn veldproeven uitgevoerd waarin de N-opname van suikerbieten gedurende het groeiseizoen is gemeten (Figuur 2-103). IRS geeft op de website aan dat de opbrengsten en wellicht ook de opname van stikstof door het gewas in de tachtiger jaren lager waren dan nu, maar dat het verloop van de stikstofopname desondanks niet veel zal afwijken. Dit omdat de N-opname door bieten (veel) minder sterk is gestegen dan de wortelopbrengsten (zie hiervoor).

<sup>2</sup> Dit waren in totaal 61 proeven. In 26 proeven is de N-opname in de verschillende plantdelen gemeten. Voor 35 proeven is de totale N-opname berekend o.b.v. een geschatte N-index.



Figuur 2-103. N-opnamepatroon van suikerbieten (loof en wortel). De N-opname is het gemiddelde van 16 proefvelden verspreid over Nederland, uitgevoerd in de tachtiger jaren. De gemiddelde Nmin voorraad (0-60 cm) was 56 kg N/ha en de gemiddelde N-gift 140 kg N/ha. Bron: IRS (2024b).

Door IRS zijn gegevens verstrekt van de N-opname van suikerbieten in een veldproef uit 2024 te Vredepeel (Figuur 2-114). In deze proef is de N-opname van het loof en van de wortel apart gemeten. De opname van stikstof in de wortel begint pas anderhalve maand na het zaaien. Ongeveer halverwege het groeiseizoen, vanaf eind juli, wordt stikstof onttrokken aan de bladeren en herverdeeld naar de wortel. De N-opname van het gewas liep lang door, tot half september. Na dit moment nam de totale hoeveelheid N in de plant tot half oktober af. Opgemerkt moet worden dat er in deze proef sprake was van een forse schimmelaantasting van het loof, waardoor de omstandigheden in deze proef niet representatief waren (persoonlijke mededeling A. van Valen, 2025).



Figuur 2-114. N-opname van suikerbieten in een veldproef te Vredepeel. Bron: IRS, 2024a.

Figuur 2-10 en Figuur 2-11 hebben een redelijk vergelijkbare vorm, en hebben beide een scherpe knik rond half juni. De N-opname te Vredepeel is zo'n 40 kg hoger, maar het betreft hier slechts één proef op één locatie in één jaar, waardoor daaraan geen grote waarde gegeven dient te worden.

## 3 Discussie

De discussie is opgedeeld in vier gedeelten. In de eerste twee gedeelten worden de resultaten van de bureaustudie besproken. Eerst wordt het verband tussen N-opname en gewasopbrengsten besproken, gevolgd door een beschouwing van de gevonden data over N-opnamepatronen. In het derde gedeelte bespreken we wat de resultaten betekenen voor de agronomische- en milieudoelen die aan het begin van de studie zijn geformuleerd. Tot slot werpen we licht op mogelijke oplossingsrichtingen om deze doelen te behalen.

### 3.1 Opbrengst en consequentie voor N-opname

De hoeveelheid N die door gewassen wordt opgenomen hangt sterk samen met de opbrengst. De afgelopen 30 jaar zijn de opbrengstniveaus voor de meeste gewassen gemiddeld genomen niet of weinig veranderd, maar de opbrengsten van wintergerst en suikerbieten zijn sterk gestegen. Een zeer gematigde stijging is waarneembaar bij wintertarwe, zomergeest en snijmaïs. Een lichte daling is te zien bij triticale en zaaiuien.

Tabel 3-1. Opbrengsten en N-opnames van de belangrijkste akkerbouwgewassen voor de periode 2019-'23 (CBS, 2024). Opbrengstontwikkelingen zijn geëclassificeerd als licht negatief (-), gelijk gebleven (0), licht positief (+) en sterk positief (++) . N-opname is afgerond op vijftallen. N-opnamen o.b.v. opnamecurven zijn gerapporteerd in sectie 2.2

Gewas	Gem. opbrengst 2019-2023 (ton/ha)	Opbrengsttrend ('93-'23)	N-opname (kg/ha)	N-opname o.b.v. opnamecurven (kg/ha)
Wintertarwe	9,3	+	205	250 <sup>1</sup> , 205 <sup>2</sup>
Zomertarwe	6,7	0	175	
Wintergerst	8,6	++	180	
Zomergeest	6,4	+	120	140 <sup>3</sup>
Triticale	5,0	-		
Korrelmaïs	12,0	0	225	
Snijmaïs	45,3	+	210	
Aardappelen, consumptie-	47,2	0	200	180-266
Aardappelen, zetmeel-	40,3	0	230	220-300
Aardappelen, poot-	35,4	0	165	
Zaaiuien	47,7	-	120	160
Suikerbieten	84,5	++	215	220-260

<sup>1</sup> Darwinkel (1997); <sup>2</sup> Darwinkel (1995); <sup>3</sup> Opbrengst van zomergeest is het gemiddelde van de twee proeven te Vredepeel (Pronk en Groenwold, 2003).

Voor de gewassen waarbij sprake is van een sterke opbrengststijging in de afgelopen decennia is nagegaan wat de consequenties daarvan zijn voor de N-opname door na te gaan hoe de N-gehalten in

de plant / het oogstproduct is veranderd in de loop van de jaren. Hieruit blijkt dat de totale N-opname van suikerbieten minder sterk is gestegen dan de wortelopbrengst doordat het N-gehalte in de wortel enigszins is gedaald. Voor wintergerst is er sprake van een lineair verband tussen de korrelopbrengst en de N-opname en zal de toename van de opbrengst dus gepaard zijn gegaan met een evenredig hogere N-opname.

Er kan redelijkerwijs van uit worden gegaan dat de N-opname voor de andere gewassen min of meer gelijk is gebleven aangezien de opbrengsten in de praktijk weinig zijn veranderd in de afgelopen 30 jaar. Uiteraard kunnen er verschillen zijn in N-opname tussen rassen die voor hetzelfde teeltdoel worden ingezet. Daar is echter beperkt informatie over gevonden.

Voor alle gewassen geldt dat de N-opname afhangt van het opbrengstniveau, maar de wijze waarop dat het geval is hangt af van het gewas. Daarbij is bij de meeste akkerbouwgewassen sprake van een lineair verband tussen opbrengst en N-opname, maar buigt de toename van de N-opname bij wintertarwe, zaaiui en suikerbieten (licht) af bij hoger wordende opbrengsten.

## 3.2 Totale N-opname en N-opnamepatroon

### 3.2.1 Totale N-opname

In paragraaf 2.1 is de N-opname berekend op basis van de landelijke gemiddelde opbrengsten van oogstproducten in de periode 2019-2023 (CBS) en gewasresten (Selin Norén et al., 2022) en de N-gehalten van gewasproducten en gewasresten (De Ruijter et al., 2020 en Selin Nóren et al., 2022). Daarnaast zijn er voor aardappels, zaaiuien, suikerbieten wintertarwe en zomergerst gegevens bekend over het N-opnamepatroon gedurende het seizoen. De gegevens over het N-opnamepatroon die gebaseerd zijn op (soms een beperkt aantal) gewasproeven, weerspiegelen niet noodzakelijkerwijs de gemiddelde N-opname zoals berekend in sectie 2.1.3.

De N-opname van suikerbieten, wintertarwe en zaaiuien zoals gerapporteerd in de diverse bronnen in sectie 2.2 (gebaseerd op proeven, waarin het N-opnamepatroon is bepaald), wijkt af van de data van de totale N-opname zoals berekend aan de hand van CBS data i.c.m. de gegevens van De Ruijter et al. (2020) en Selin Nóren (2022). De N-opname die is gemeten in de proeven waaruit het N-opnamepatroon is afgeleid, was voor zomertarwe, zaaiuien en suikerbieten respectievelijk 22, 33 en 33% hoger dan de berekening op basis van gemiddelde opbrengsten aan oogstproducten en gewasresten, gecombineerd met N-gehalten in oogstproducten en gewasresten. Dit is veelal te verklaren door verschillen in opbrengst, maar kunnen ook zijn veroorzaakt doordat de maximale N-inhoud van gewassen in de tweede helft van de groeiperiode wordt gerealiseerd, waarna vaak sprake is van een afname van de N-inhoud van gewassen. Daardoor is de N-inhoud van het gehele gewas in ieder geval bij aardappelen bij de eind oogst vaak lager dan enkele weken of maanden daarvoor.

### 3.2.2 Opnamepatroon van stikstof

#### Suikerbieten

Er was voor suikerbieten slechts één recente veldproef op één locatie in één jaar (2024) beschikbaar waarin het N-opnamepatroon is bepaald. Wel is er een opnamecurve beschikbaar op basis van 16 oude veldproeven uit de tachtiger jaren. Het tijdstip van bemonsteren is van invloed op de totale N-inhoud van het gewas en de verdeling tussen wortel en blad (persoonlijk mededeling, A. van Valen, 2025). In Figuur 2-11 is te zien hoe de totale N-inhoud in het bietengewas in de veldproef op zandgrond te Vredepeel in 2024 half oktober met 10% is gedaald ten opzichte van de situatie op het moment dat de N-opname maximaal was (half september). Dit verschil van 10% wordt veroorzaakt door afsterving van het loof, waarbij in de betrokken proef meespeelde dat er sprake was van een schimmelaantasting. Een

bemonstering op het moment van de eind oogst kan tot een (fors) lagere schatting van de N-opname leiden dan op het moment waarop de N-opname maximaal is. Zodoende is het verschil tussen de generieke benadering (215 kg N/ha) en de resultaten uit de veldproeven (220-260 kg N/ha) te verklaren. IRS gaat als vuistregel uit van een opname van 100 kg N/ha in de wortel en 120 kg N/ha in het loof (totaal 220 kg N/ha). Gegevens uit (oude) veldproeven van IRS tonen een totale N-opname die varieert van 150 tot 275 kg N/ha (Wilting, 2012). Het is evenwel mogelijk dat de N-opname in de praktijk lager ligt dan op proefvelden, die over het algemeen intensief worden verzorgd en waarbij geen sprake is van verliezen door randrijen, kopakkers, etc. hebben. Anderzijds is op praktijkpercelen vaak sprake van meer gebruik van organische mest, waardoor de N-levering van de bodem en daardoor ook de N-opname op een hoger niveau kan liggen.

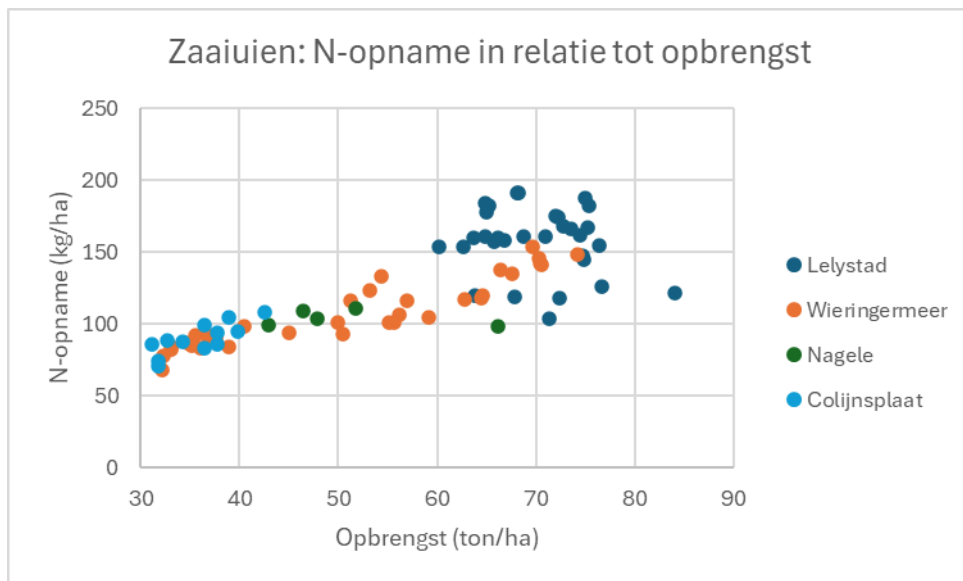
### **Aardappelen**

Het N-opnamepatroon van aardappelen is onderzocht voor consumptieaardappelen op lichte klei in 1998-1999 te Lelystad (Postma & van Erp, 2000), in zetmeelaardappelen in een proef op zandgrond in 2002 (Van Geel et al., 2003) en in een groot aantal oude proeven met consumptie- en zetmeelaardappelen (Steltenpool & Van Erp, 1995). De totale N-opname in deze proeven kwam goed overeen met de berekening van de gemiddelde totale N-opname van aardappelen op basis van CBS-data in de periode 2019-'23 (Figuur 2-4). Steltenpool & Van Erp maken geen melding van afsterving van het loof en de gevolgen die dit heeft voor de N-inhoud van het gewas en Postma & van Erp (2000) stelden vast dat de N-inhoud van consumptieaardappelen op klei tot de eind oogst toe bleef nemen. In de veldproef van Van Geel et al. uit 2022 bleek dat de N-inhoud van zetmeelaardappelen bij de eind oogst gemiddeld 25% lager lag dan rond 1 augustus (van 300 kg N/ha naar 225 kg N/ha), waarbij het de vraag is hoe representatief dat is voor andere situaties (andere grondsoorten, jaren, rassen). Hoewel het loof aanvankelijk dus veel N bevatte, daalde dit aanzienlijk tot het moment van oogsten door een herverdeling naar de knol en afsterving (Figuur 2-). Bij het ras Seresta werd in deze proef meer N van het loof naar de knollen herverdeeld dan bij Mercator.

### **Uien**

De Visser (1996) gaf aan dat de stikstofopnamecurve voor zaaiuien op basis van de temperatuursom een opnameplafond weergeeft dat correspondeert met de hoogst behaalde opbrengsten in veldproeven.

De proeven in Lelystad hadden een gemiddelde opbrengst van 70 ton/ha en een N-opname van 156 kg N/ha (Figuur 3-1). De opbrengsten op de andere locaties waren aanzienlijk lager (36 ton/ha te Colijnsplaat en 51 ton/ha te Wieringermeer), waardoor de N-opname ook lager was (gemiddeld 90 kg N/ha te Colijnsplaat en 109 kg N/ha te Wieringermeer).



Figuur 3-1. N-opname bij de eind oogst in relatie tot opbrengst van zaaiuien in de veldproeven uit De Visser (1996).

### Wintertarwe

Darwinkel gaf verschillende waarden voor de N-opname van wintertarwe. In de teelthandleiding (1997) wordt een N-opname geschetst van 250 kg N/ha in de bovengrondse delen. Deze waarde is gebaseerd op de vuistregel dat er 25 kg N/ha wordt opgenomen per ton korrelopbrengst met een eiwitgehalte van 12,5 tot 13% in de korrel. Bij een streefopbrengst van 10 ton/ha bedraagt de opname dan 250 kg N/ha. De waarde van 250 kg N/ha is gebaseerd op de gemiddelde N-opname in veldproeven met hoogproductieve rassen in Lelystad en Westmaas in 1995.

De berekende N-opname van boven- en ondergrondse delen op basis van de gemiddelde gewasopbrengsten in de periode 2019-'23 viel lager uit (205 kg N/ha). Dit is te verklaren door de zeer hoge opbrengsten in de veldproeven uit 1995 (gemiddeld 12.3 ton/ha), dat 32% hoger was dan het gemiddelde van 9,3 ton/ha over 2019-'23. Het verschil in N-opname is 22%. Dit is in lijn met de eerdere observatie dat de N-opname licht afbuigt naarmate de opbrengst toeneemt.

## 3.3 Breder context

In de voorgaande twee secties is aandacht besteed aan de N-opname en het N-opnamepatroon van akkerbouwgewassen. Daarbij is in het bijzonder aandacht besteed aan de consequentie van opbrengstverhogingen voor de N-opname. In dit gedeelte besteden we aandacht aan de bredere context en doelen die gerelateerd zijn aan de N-opname van akkerbouwgewassen.

### Doelen

Elke akkerbouwer streeft ernaar om een hoge gewasopbrengst te behalen waarvan de kwaliteit goed is. Om dat doel te bereiken is een voldoende aanbod van stikstof op het moment dat het gewas het nodig heeft een randvoorwaarde. Te weinig beschikbare stikstof kan leiden tot opbrengstderving of een beperkte kwaliteit. Het is daarom zaak om de N-bemesting af te stemmen op de (dynamiek van de) N-behoefte van het gewas (bij een vooraf ingeschatte opbrengst) en de N-levering uit de bodem.

Het bedrijven van landbouw gaat onvermijdelijk samen met stikstofverliezen naar de lucht, diepere bodemlagen en het grond- en oppervlaktewater, maar die dienen zoveel mogelijk te worden beperkt. Dit kan worden gerealiseerd door het aanbod zo goed mogelijk af te stemmen op de gewasbehoefte in tijd (synchronisatie) en ruimte (synlocalisatie), een te hoog aanbod te voorkomen en te zorgen voor een

hoge benutting van de aangeboden stikstof door het gewas. De leden van BO Akkerbouw zijn zich daarvan bewust en hebben een sectoraanpak ontwikkeld om de normen van grondwaterkwaliteit op basis van de EU-Nitraatrichtlijn te halen op basis van doelsturing. Daarnaast zijn er ook nog doelen voor behoud van bodemkwaliteit (organische stof), het beperken broeikasgasemissies (waaronder N<sub>2</sub>O) en het beperken van de gasvormige stikstofverliezen (ammoniakemissie).

## Uitdagingen

Het behalen van zowel hoge en kwalitatief goede gewasopbrengsten als de waterkwaliteitsdoelen (van de Nitraatrichtlijn en de Kaderrichtlijn Water), doel uit het klimaatakkoord (beperken van broeikasgasemissies) en biodiversiteit (o.a. verlagen ammoniakvervluchtiging), gaat gepaard met meerdere uitdagingen.

De voornaamste uitdaging voor het realiseren van het doel van de Nitraatrichtlijn (maximaal 50 mg NO<sub>3</sub>/l in grondwater) zit in het verhogen van de N-benutting door gewassen en het beperken van nitraatuitspoeling in het najaar en de winterperiode. Daartoe moeten nitraatresiduen aan het einde van het teeltseizoen zo laag mogelijk zijn en moet worden voorkomen dat N in gewasresten uitspoelt. Het nitraat dat na de oogst en aan het begin van de herfst/winter in het bodemprofiel zit, spoelt op droge zandgronden grotendeels uit naar het grondwater, kan deels verloren gaan door denitrificatie en kan (vooral op kleigrond) verloren gaan naar het oppervlaktewater. Het beperken van de nitraatresiduen in het bodemprofiel zal de nitraatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater doen dalen. Dit is echter niet altijd eenvoudig te realiseren in verband met:

- De **relatief lage N-benutting** van de aangeboden N in de bodem door sommige gewassen (dit is met name het geval bij uien, aardappelen en vollegrondsgroenten, zoals sla, spinazie en prei; o.a. Smit, 1994), wat voor een deel samenhangt met de beworteling en voor een deel met de opnamedynamiek van de gewassen. Dit is niet eenvoudig te verbeteren.
- **De relatief grote hoeveelheid N** die bij de oogst van sommige gewassen in de vorm van gemakkelijk afbreekbare gewasresten op het land achterblijft (bijv. bieten- of aardappelloof) en in het najaar en de winterperiode kan bijdragen aan nitraatuitspoeling. Deze bron van stikstof wordt niet of nauwelijks teruggevonden in een N<sub>min</sub>-meting in de herfst, maar door geleidelijke mineralisatie kan deze wel degelijk bijdragen aan de uitspoeling van nitraat in de herfst en winter;
- Omstandigheden kunnen het moeilijk maken om een laag nitraatresidu te realiseren, bv. als sprake is van een **hoge achtergrondmineralisatie**, doordat er akkerbouwgewassen worden verbouwd op gescheurd grasland of doordat jaarlijks organische mest wordt toegediend. Op veel praktijkpercelen wordt regelmatig organische mest toegepast, terwijl dat in de veldproeven op de onderzoekslocaties niet altijd het geval is. Vooral als bij de N-gift onvoldoende rekening wordt gehouden met de N-nalevering van organische mest en bij gewassen die relatief **vroeg in het seizoen stoppen met N-opname** (zoals de N-opname bij aardappelen en mais in het algemeen stopt rond 1 augustus) kan dit tot hoge nitraatresiduen leiden;
- Weersextremen: een **droge zomer** betekent in situaties waar niet kan worden berekend een lagere gewasgroei en dus een lagere N-opname. Als niet kan worden berekend en/of als hier met de bemesting niet op is geanticipeerd (b.v. door achterwege laten van een N-bijmestgift) kan er aan het einde van het groeiseizoen meer stikstof in de bodem achterblijven. Een zeer **nat voorjaar of extreme buien in de zomer** kan ervoor zorgen dat stikstof uitspoelt voordat het opgenomen kan worden. Dit kan daarnaast ook voor opbrengstderving zorgen.

## 3.4 Oplossingsrichtingen

### Mogelijke maatregelen

Met verschillende maatregelen kan men werken aan het verhogen van de N-benutting, het verlagen van de nitraatuitspoeling en daarmee aan het behalen van het doel van de Nitraatrichtlijn. De juistheden van bemesting (juiste gift, juiste tijdstip, juiste meststof, juiste plaats) dienen daarbij zo goed mogelijk te worden geïmplementeerd en daarnaast kan nog worden gedacht aan verbeteringen van gewassen / rassen (veredeling) en door maatregelen op bouwplanniveau (onderzaai en/of tijdig zaaien van vanggewassen; werken aan een goede bodemkwaliteit).

- Verbetering van de huidige bemestingsadviezen is mogelijk door ze meer locatie- en weerspecifiek te maken, bijvoorbeeld via het toepassen van de balansmethode. Met de balansmethode kan beter worden ingespeeld op perceelsspecifieke omstandigheden en kan op perceelsniveau meer maatwerk worden geleverd dan met de oude adviesregels. Zodoende kan de **juiste gift** in alle situaties beter worden vastgesteld. In de balansmethode wordt het N-advies afgestemd op de N-levering vanuit de bodem (Nmin-voorraad + N-mineralisatie) en de N-opname/behoefte van het gewas, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de gewasspecifieke N-benutting. Dit is anders dan de gangbare benadering waarin adviezen zijn gebaseerd op dosis-responsproeven (vaak van tientallen jaren geleden), waarbij weinig aandacht wordt besteed aan verschillen tussen percelen in de N-levering vanuit de bodem gedurende het seizoen. NMI heeft een aantal jaar geleden in opdracht van BO Akkerbouw een rapport geschreven over de ontwikkeling en toepassing van de balansmethode (Postma et al., 2018). Momenteel wordt in de PPS-BAAT gewerkt aan een vervolg.
- Een tweede oplossingsrichting is het implementeren en verbeteren van N-bijmestsystemen, die kunnen worden gezien als een bijzondere vorm van de balansmethode. Door de totale hoeveelheid stikstof te verdelen over meerdere giften over het seizoen, kan beter worden ingespeeld op weerseffecten op de gewasontwikkeling en stikstofmineralisatie, waardoor de kans op verliezen wordt verminderd (zie wederom Postma et al., 2018). Hiermee wordt de **juiste gift en het juiste tijdstip** van de N-toediening geoptimaliseerd. Er zijn perspectieven voor een betere beschrijving van de N-opname door gewassen in afhankelijkheid van het weer (o.a. door de relaties met T-som) en ook door de N-mineralisatie beter in te schatten op basis van de perceelshistorie en het weer. In de PPS-BAAT is men met deze ontwikkeling gestopt, omdat de bottleneck niet is gelegen in de kwaliteit van N-bijmeststelsysteem, maar in de toepassing ervan in de praktijk.
- Door veredeling kan worden gezocht naar **rassen met een hogere N-benutting**. Bij zetmeel- en consumptieaardappelen zijn de laatste jaren op dit terrein stappen gezet en zijn rassen beschikbaar gekomen met een aanzienlijk hogere N-benutting dan de oude rassen. Daarbij moet wel worden bedacht dat N-benutting slechts één van de eigenschappen is die voor een teler van belang is. Daarnaast zijn opbrengst, kwaliteit en resistentie tegen ziekten en plagen zijn tevens van groot belang voor de rassenkeuze.
- De meststofkeuze, waarbij vooral de dynamiek waarbij N uit organische meststoffen beschikbaar komt voor het gewas een belangrijke eigenschap is. Hiermee wordt ingezet op de **juiste meststof**.
- Met **rijenbemesting** kan een goede plaatsing van meststoffen vooral bij de begingroei van gewassen met een grotere rij-afstand tot een betere benutting leiden. Dit lijkt vooral perspectief te hebben bij een gewas als zaai-uien, waarbij de gevoeligheid voor zout wel een aandachtspunt is. Ook plaatsspecifieke bemesting, waarbij wordt ingespeeld op variaties in de bodemomstandigheden binnen een perceel, kan leiden tot een hogere N-benutting. Tenslotte is het voor meststoffen met een groot risico voor ammoniakemissie (b.v. dunne

fracties en drijfmest) van belang dat ze zo snel en goed mogelijk worden ingewerkt. Met deze werkwijzen wordt gewerkt aan de **juiste plaatsing** van meststoffen.

- Tot slot is het tijdig inzaaien van een vanggewas na de oogst of als onderzaai effectief in het verminderen van nitraatuitspoeling. Nalevering van stikstof in het volgende teeltseizoen uit ondergewerkte groenbemesters is uiteengezet op de website van het Handboek Bodem en Bemesting (geen datum).

Zoals aangegeven wordt in de PPS-BAAT gewerkt aan een uitwerking van de balansmethode, waarbij in het bijzonder aandacht wordt besteed aan de N-benutting van gewassen en de N-levering (N-mineralisatie) vanuit de bodem gedurende het groeiseizoen. De N-benutting van gewassen is grotendeels afhankelijk van de beworteling en het N-opnamepatroon. Tabel 3-2 geeft een (wat gedateerd) overzicht van de N-benuttingsindex van enkele akkerbouwgewassen. Door middel van precisiebemesting (bijmesting kan worden gestuurd op het zoveel mogelijk verhogen van de N-benutting).

*Tabel 3-2. Stikstofbenuttingsindex van veelvoorkomende akkerbouwgewassen. De index is berekend als de verhouding tussen opgenomen en de voor het gewas beschikbare stikstof. Bron: p.12 in Smit (1994).*

Gewas	N-benuttingsindex
Aardappel	0,55
Suikerbiet	0,74
Uien	0,44
Wintertarwe	0,86
Snijmais	0,62

Om daadwerkelijk tot een hogere N-benutting en lagere nitraatresiduen aan het einde van het teeltseizoen te komen, moet aan bepaalde randvoorwaarden worden voldaan. Met name de biologische en fysische bodemkwaliteit dient op orde te zijn. Gewasgroei wordt beperkt als de beluchting en bewortelbaarheid van de bodem onvoldoende is. Ook de aanwezigheid van (te veel) pathogenen in de bodem kan de opbrengst reduceren. De intensiteit van het bouwplan speelt hier een belangrijke rol in en daarom is een voldoende ruime vruchtwisseling van groot belang voor een goede bodemgezondheid en hoge N-benutting.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

In deze bureaustudie is onderzocht wat de stikstofopname is van akkerbouwgewassen en hoe het verloop van de N-opname van gewassen eruit ziet gedurende het groeiseizoen. De conclusies zijn als volgt:

### Totale N-opname

De laatste jaren zijn hiernaar enkele vrij uitgebreide studies verricht, waarvan we hier gebruik konden maken. Het opbrengstniveau is een belangrijke factor voor de totale N-opname door akkerbouwgewassen. Voor zaaiui, wintertarwe en suikerbieten is geconstateerd dat het N-gehalte in het gewas (oogstproduct) licht daalt bij hogere opbrengsten. Voor de andere akkerbouwgewassen is dat niet het geval en neemt de N-opname evenredig toe met de opbrengst. De hoeveelheid N in gewasresten is bij sommige gewassen aanzienlijk. Voor de totale gewasbehoefte is dit een belangrijke component die niet tot uitdrukking komt in de afvoer, omdat de gewasresten na de oogst vrijwel steeds op het land achterblijven, met uitzondering van stro. Daarbij dient men zich te realiseren dat de maximale N-inhoud van het gewas vaak enkele weken of maanden vóór de eindoogst van het gewas wordt bereikt (zie verder). In Tabel 4-1 is de totale stikstofopname bij gemiddelde opbrengsten weergegeven, met onderverdeling naar het oogstproduct en gewasrest (boven- en ondergrond) en de corresponderende gewasopbrengsten van de belangrijkste akkerbouwgewassen in Nederland. De getallen (op de gewasopbrengst na) zijn ook visueel weergegeven in Figuur 2-4.

*Tabel 4-1. Stikstofopname in het oogstproduct en gewasresten (boven- en ondergrond) van een aantal akkerbouwgewassen bij gemiddelde opbrengsten bij de eindoogst. De hoeveelheden zijn sterk afhankelijk van het opbrengstniveau. Alle eenheden zijn in kg/ha tenzij anders aangegeven.*

Gewas	Oogst-product	Bovengrondse gewasresten	Stro	Ondergrondse gewasresten	Totale N-opname	Gewas-opbrengst (ton/ha)
Tarwe, winter	151	19	16	20	206	9,3
Tarwe, zomer	112	10	32	21	175	6,7
Gerst, winter	137	18	14	13	182	8,6
Gerst, zomer	78	13	18	10	119	6,4
Mais, korrelmais	138	69		16	223	12,0
Maïs, snijmaïs	186	5		21	211	45
Cons.aardappelen	156	34		10	200	47
Pootaardappelen	88	74		5	167	35
Zetmeelaardappelen	161	60		9	231	40
Suikerbieten	97	115		5	217	84
Zaai-uien (totaal)	86	33		1	120	48

De hoeveelheid N in gewasresten is indicatief, omdat de beschikbare metingen niet in alle gevallen bij de eindoogst zijn verricht, maar soms (ruim) daarvoor. Daarnaast is soms sprake van grote verschillen tussen rassen en grondsoorten. Dit is onder andere het geval bij zetmeelaardappelen, waarbij de N-inhoud in gewasresten eind augustus/begin september uiteenliep van 45 tot 130 kg N/ha, afhankelijk van ras en grondsoort (zand- en dalgrond). Naar verwachting zal de N-inhoud in gewasresten na eind augustus/begin september afnemen, zodat die hoeveelheid bij de eindoogst die veelal in oktober of november plaatsheeft, aanzienlijk lager zijn. Daarover hebben we echter geen informatie gevonden. Daarom is in de tabel een indicatieve N-inhoud van 60 kg N/ha in bovengrondse gewasresten van zetmeelaardappelen vermeld.

## **N-opnamepatroon**

Informatie over het verloop van de N-opname in de tijd bleek schaars en niet van recente datum te zijn. N-opnamecurven zijn gevonden voor consumptie- en zetmeelaardappelen, suikerbieten, wintertarwe, zomergerst en uien. Deze informatie is vooral van belang voor eventuele N-bijmestsystemen, waarbij de totale hoeveelheid stikstof worden verdeeld over meerdere giften in het seizoen, zodat beter kan worden ingespeeld op weereffecten, de actuele gewasontwikkeling en de stikstofmineralisatie, waardoor de kans op verliezen wordt verminderd. Voor aardappelen (Steltenpool en Van Erp, 1995) en uien (De Visser, 1996) is een relatie vastgesteld tussen de cumulatieve temperatuur (T-som) vanaf het moment van zaaien of poten en de N-opname, waardoor rekening kan worden gehouden met verschillen in 'vroegheid' van het voorjaar. De T-som curves kunnen worden beschreven met een sigmoïdaal verband en houden geen rekening met afsterving van het loof en de daaruit voorkomende daling van de N-inhoud in het gewas, zoals dat in proeven met zetmeelaardappelen op zandgrond is vastgesteld.

N-opname van wintertarwe kent een ander verloop, aangezien wintertarwe in de herfst / winter wordt gezaaid. Tot half mei wordt 40-50 kg N/ha opgenomen, waarna de opname sterk begint toe te nemen. De N-opname van zomergerst kan net als bij aardappelen en zaaiuien vrij goed worden beschreven met een S-vormige curve, waarbij de opname vanaf eind mei sterk toeneemt en vanaf half juli afvlakt.

De opnamecurves die zijn gevonden voor suikerbieten tonen onderling een vergelijkbaar patroon. De N-opname is gematigd tot half juni, maar neemt daarna snel toe door de groei van het loof. Rond 1 augustus is de N-opname van het loof maximaal. Na dit moment wordt stikstof vanuit het loof herverdeeld naar de wortels. In een veldproef uit 2024 op zandgrond daalde de totale N-inhoud in het gewas tussen half september en half oktober, maar het is onduidelijk of dit beeld representatief is.

## **Aanbevelingen**

Om informatie over de totale N-opname en het opnamepatroon van gewassen te gebruiken voor doelsturing via een optimalisering van het N-management, het verhogen van de N-benutting en het beperken van het risico van nitraatuitspoeling, is een verdere actualisatie van de benodigde kennis van belang. Een verbetering van bemestingsadviezen via een verdere ontwikkeling van de N-balansmethode lijkt hiervoor goede mogelijkheden te bieden. Daarnaast is sprake van een aantal witte vlekken, zoals:

- Het effect van de bemestingshistorie op de N-opname: op veel onderzoekslocaties wordt niet of nauwelijks dierlijke mest gebruikt, terwijl dat op veel praktijkpercelen wel gebruikelijk is. Vraag is wat het effect daarvan is op verschillen in de N-mineralisatie, de N-opname van gewassen en de resulterende N-benutting (en dus ook op de hoeveelheid N<sub>min</sub> na de oogst). Aanbevolen wordt om na te gaan hoe groot die effecten zijn en hoe daarop met de bemesting kan worden gestuurd door optimaal gebruik te maken van de juistheden van bemesting.
- Er zijn aanwijzingen dat het effect van grondsoort (zand-, dal- en/of kleigrond) op de (dynamiek van de) N-opname groot is, maar dat is niet goed onderzocht. Hier weer dezelfde aanbeveling: hoe groot zijn die effecten en hoe kan daarop met de bemesting worden gestuurd?

- Vooral bij aardappelen (tafel-, frites- en zetmeelaardappelen) kunnen de verschillen tussen rassen in (het verloop van) de N-opname, de optimale N-gift en de (haalbare) N-benutting groot zijn. Het lijkt dan ook zinvol meer aandacht te besteden aan rassenkeuze, een daarop aangepaste bemesting en verbeteringen in de N-benutting die daarmee mogelijk zijn.

Een bijzondere vorm van de balansmethode, is het N-bijmeststelsel, waarbij niet alleen het N-aanbod wordt afgestemd op de N-behoefte van het gewas, maar waarbij ook rekening wordt gehouden met de dynamiek. Dit biedt mogelijkheden om in te spelen op onvoorziene gebeurtenissen in het begin van het groeiseizoen veroorzaakt door het weer en moeilijk te voorspellen bodemprocessen, zoals N-mineralisatie, maar informatie over het N-opnamepatroon van gewassen is verouderd. Vooral bij gewassen met een relatief lage N-benutting, zoals uien en aardappelen biedt dit goede mogelijkheden voor een optimalisatie. Voor uien is een N-bijmeststelsel nog niet beschikbaar en wordt aanbevolen dat te ontwikkelen. Bij aardappelen kan dat worden verbeterd, door o.a. actuele informatie te verzamelen over de rasverschillen, een verbeterde inschatting van de N-mineralisatie, hoe daarop kan worden ingespeeld met bemesting en de mate waarin de N-benutting daarmee kan worden verbeterd. Door gebruik te maken van een relatie tussen temperatuursom en N-opname kan beter worden ingespeeld op de 'vroegheid' van het voorjaar.

# Literatuur

- CBS StatLine. (2024). *Akkerbouwgewassen: opbrengsten en arealen*. Online geraadpleegd op 10-12-2024.
- Bürcky K, Hetterich T, Heyn J, Horn D & Koch D (2017) *Nährstoffaufnahme der Zuckerrübe; Teil 1. Rübe und Blatt*. Sugar Industry 142, 162-167.
- Darwinkel, A. (1995). *Aanbod en opname van stikstof bij hoge produktieniveaus van wintertarwe op klei- en zavelgrond*. Lelystad: Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond.
- Darwinkel, A. (1997). *Teelthandleiding Wintertarwe, nr. 76* (p. 53). Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt.
- Van Geel, W. C. A., & Wijnholds, K. H. (2003). *Ontwikkeling van geleide bemestingssystemen bij de teelt van zetmeelaardappelen* (No. 510.168). Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
- Handboek Bodem en Bemesting. (n.d.). *Groenbemesters*. URL: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/ingangen/handeling/bemesting/stikstof/n-korting-na-onderwerken-van-groenbemesters-en-oogstresten/groenbemesters.htm> Geraadpleegd op 13-12-2024.
- IRS, & Van Valen, A. (2024a). *N-opname van suikerbieten in een veldproef te Vredepeel*. persoonlijke communicatie.
- IRS (2024b). *Teelthandleiding/ Bemesting/ Opname van Nutriënten*. URL: <https://www.irs.nl/interessegebieden/alle-interessegebieden/teelthandleiding/4-2-opname-van-nutrienten/> Geraadpleegd op 12-12-2024. Laatst bijgewerkt op 14-11-2024.
- Postma R. & Van Erp P.J. (2000) *Stikstofbemesting van consumptieaardappelen via druppelfertigatie*. Meststoffen 2000, 37 – 45.
- Postma, R., van Geel, W., de Haan, J. (2018). *Ontwikkeling nieuwe systematiek voor opstellen N-bemestingsrichtlijnen*. Nutriënten Management Instituut NMI B.V. Rapport 1640.N.16.
- De Ruijter, F. J., Van Dijk, W., Van Geel, W. C. A., Holshof, G., Postma, R., & Wilting, P. (2020). *Actualisatie van stikstof- en fosfaatgehalten van akkerbouwgewassen met een groot areaal*. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Agrosysteemkunde. <https://doi.org/10.18174/520624>
- Selin Norén, I., Kooistra, K., Van Geel, W., & De Haan, J. (2022a). *Reference values for arable crop residues: Organic matter and C:N ratio*. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten. <https://doi.org/10.18174/566378>
- Selin Norén, I., Van Geel, W., De Haan, J., Harms, I. & Postma R. (2022b): *Data from: Reference values for arable crop residues: organic matter and C:N ratio. Version 1*. 4TU.ResearchData. dataset. <https://doi.org/10.4121/21717965.v1>.
- Smit AL (1994) *Stikstofbenutting*. In: Haverkort et al. (eds.) Themadag stikstofstromen in de vollegrondsgroenteteelt. Themaboekje nr. 8.
- Smit AL & van der Werf A (1992) *Fysiologie van stikstofopname en -benutting: gewas- en bewortelingskarakteristieken*. In: Van der Meer HG & Spiertz JHJ (eds.) Stikstofstromen in agroecosystemen. CABO-DLO.
- Steltenpool, J. A. N., & Van Erp, P. J. (1995). *Schatting van de actuele N-opname door aardappelen*. 45-50.
- Visser, C. L. M. de. (1996). *Toepassing van het stikstofbijmeststelsel in zaaiuien* (No. 220; p. 116). Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond.
- Wilting, P. (2012). *Stikstofonderzoek 2010 en 2011: Verslag over drie stikstofhoeveelhedenproefvelden* (p. 30). Stichting IRS.



Nutriënten Management Instituut BV  
Nieuwe Kanaal 7c  
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03  
e-mail: [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)  
website: [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)