



Proefopzet, onderzoeksvragen en methodologie van de PPS Groenbemesters

Groenbemesters, de onmisbare schakel voor robuuste kringlooplandbouw

Auteurs | Dekkers, Maria-Franca¹; Molendijk, Leendert¹; Wesselink, Marie¹; Van de Voorde, Tess F.J.²; Vervuurt, Wieke¹; Selin Noren, Isabella¹; Stokkermans, Thierry³

¹ Wageningen University & Research | Field Crops

² Wageningen University & Research | Biointeractions & Plant Health

³ Wageningen University & Research | Agrosystems Research



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

WPR-OT-1046

Dekkers, Maria-Franca; Molendijk, Leendert; Wesselink, Marie; Van de Voorde, Tess F. J.; Vervuurt, Wieke; Selin Noren, Isabella; Stokkermans, Thierry. 2023. *Proefopzet, onderzoeksvragen en methodologie van de PPS Groenbemesters*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1046.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/640303>

Dit rapport beschrijft de proefopzet van de Publiek Private Samenwerking "Groenbemesters voor robuuste kringlooplandbouw", inclusief de gemaakte keuzes, onderzoeksvragen en meetmethoden. De opzet is voorlopig en kan worden aangepast op basis van praktijkervaring en nieuwe inzichten. Definitieve details worden gedeeld bij publicatie van de resultaten.

Trefwoorden: Groenbemesters, systeemproef, veldexperimenten, bodem biologie, chemie en fysiologie

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Edelhertweg 1, 8219PH Lelystad; www.wur.nl/plant-research

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

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

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

Rapport WPR-OT 1046

Foto omslag: Maria-Franca Dekkers

Inhoud

Woord vooraf	5
1 Aanzet en doel van het onderzoek	6
2 Financiering	6
3 Proefopzet	7
3.1 Objectkeuzes	7
3.1.1 Grondsoorten	7
3.1.2 Gewassen en zaaimomenten	10
3.1.3 Groenbemesters	11
3.1.4 Afbreekmomenten en inwerkmethoden	14
3.1.5 Teeltperiode van groenbemesters	16
3.1.6 Systeemproof	17
3.2 Proefveldontwerp	17
3.2.1 Omschrijving proefvelden	17
3.2.2 Indeling netto veldjes	20
3.2.3 Omschrijving proefopzet	22
3.3 Management	23
3.3.1 Gewasbescherming	23
3.3.2 Bemesting	23
4 Werkpakketindeling	25
5 Onderzoeksvragen en hypothesen	26
5.1 WP 1 – Veldexperimenten	26
5.1.1 Opkomst van de hoofdgewassen	26
5.1.2 Gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en groenbemesters	26
5.1.3 Gewasopbrengsten en gewaskwaliteit	26
5.2 WP 2 – Gezonde teeltsystemen	27
5.2.1 Opbouw van bodeminsectenplagen	27
5.2.2 Opbouw van plantenparasitaire en milieuaaltjes	27
5.2.3 Opbouw en detectie van pathogene bodemschimmels	27
5.2.4 Bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking	28
5.2.5 Onkruidbeheersing	28
5.3 WP 3 – Kringlooplandbouw m.b.t. koolstof en nutriënten	29
5.3.1 Recovery rate	29
5.3.2 Stikstof mineralisatie gedurende het seizoen	29
5.3.3 Nutriëntbalans	29
5.3.4 N opname	30
5.3.5 Stikstof mineraal	30
5.3.6 Koolstof	30
5.4 WP 4 – Robuuste bodem	31
5.4.1 Zaaibedkwaliteit en -bereiding	31
5.4.2 Vochthuishouding van de bodem in het hoofdgewas	31
5.4.3 Bodemstructuur	31
5.4.4 Ondergrondverdichting	31
6 Methoden	32
6.1 WP 1 – Veldexperimenten	32
6.1.1 Opkomst van de hoofdgewassen	32
6.1.2 Gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en groenbemesters	33

6.1.3	Gewasopbrengsten en gewaskwaliteit	34
6.2	WP 2 – Gezonde teeltsystemen	36
6.2.1	Opbouw van bodeminsectenplagen	36
6.2.2	Opbouw van plantenparasitaire en milieuaaltjes	37
6.2.3	Opbouw en detectie van pathogene bodemschimmels	39
6.2.4	Bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking	40
6.2.5	Onkruidbeheersing	41
6.3	WP 3 – Kringlooplandbouw m.b.t. koolstof en nutriënten	42
6.3.1	Recovery rate	42
6.3.2	Stikstofmineralisatie gedurende het seizoen	43
6.3.3	Nutriëntenbalans	45
6.3.4	Stikstof mineraal	47
6.3.5	Koolstof	48
6.4	WP 4 – Robuuste bodem	50
6.4.1	Aggregaatgrootteverdeling	50
6.4.2	Analyse van groenbemesterresten	51
6.4.3	Zuigspanningsensoren	52
6.4.4	Bodemvochtbepaling	52
6.4.5	Indringingsweerstand	53
6.4.6	Bulkdichtheid	55
6.4.7	Profielkuilbeoordeling	55
	Literatuur	57
	Bijlage 1 Partneroverzicht	59

Woord vooraf

In dit rapport wordt de proefopzet van de Publiek Private Samenwerking (PPS) 'Groenbemesters, de onmisbare schakel voor robuuste kringlooplandbouw' omschreven. De keuzes die gemaakt zijn, om tot deze proefopzet te komen worden toegelicht. Ook de onderzoeksvragen die aanleiding waren tot deze proef worden toegelicht. Daarbij worden de meetmethodes omschreven, die gekozen zijn om de juiste data te verzamelen om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. De keuzes die in dit rapport toegelicht worden zijn niet in steen gegoten zijn, maar kunnen aangepast kunnen worden als de praktijk en voortschrijdend inzicht hierom vragen. Daarom moet dit rapport gelezen worden als de wenselijke proefopzet en onderzoeksmethodologie bij de start van het project. De definitieve proefopzet en methodologie zullen later gedeeld worden, wanneer de resultaten van deze proef gepubliceerd worden.

In hoofdstuk één wordt de aanzet en het doel van dit onderzoek toegelicht. Hoofdstuk twee geeft een verantwoording voor de financiering van dit onderzoek. In hoofdstuk drie worden alle aspecten van de proefopzet en de keuzes die daarbij gemaakt zijn toegelicht, zoals de keuzes voor de verschillende objecten en het algemene management van de proef. In deze proef wordt met vier inhoudelijke werkpakketten gewerkt, waarin respectievelijk gefocuseerd wordt op de productie en algehele teelt, bodem biologische, bodem chemische en bodem fysische aspecten. Dit wordt in hoofdstuk vier verder toegelicht en deze structuur wordt in de hoofdstukken daarna aangehouden. In hoofdstuk vijf worden per werkpakket de gestelde onderzoeksvragen en bijbehorende hypothesen toegelicht. Vervolgens wordt in hoofdstuk zes verder uitgewerkt welke meetmethoden gebruik worden om deze onderzoeksvragen te gaan beantwoorden. In hoofdstuk zeven wordt er vooruit gekeken naar de analyses die met de verzamelde data gedaan kunnen worden.

1 Aanzet en doel van het onderzoek

Het doel van deze Publiek Private Samenwerking (PPS) is het ontwerpen van bouwstenen voor gezonde en weerbare teeltsystemen, door kennisontwikkeling binnen bouwplanverband over de interacties tussen type groenbemester, teeltperioden, afbreekmomenten en inwerkmethode van groenbemesters en de effecten op alle facetten van bodemkwaliteit (fysisch, chemisch, biologisch) met als resultante de productie van het hoofdgewas.

Dit project zorgt voor meer kennis over groenbemestermanagement en -teelt, zodat groenbemesters gerichter worden ingezet, waardoor hogere doelen, zoals de GLB vergroeningseisen, het reduceren van nutriënten uitspoeling, vastlegging van koolstof en het verminderen van inzet en emissies van gewasbeschermingsmiddelen gediend worden. Nederland gaat groener de winter door, met een optimalisatie van de voordelen en reductie van nadelen.

Om deze doelen te bereiken onderzoeken we in deze PPS integrale effecten van groenbemesterkeuze en groenbemestermanagement bij diverse open teeltsystemen en verschillende grondsoorten (klei en dekzand) op nutriënten management, organische stof opbouw/koolstof vastlegging, structuur, ondergrondverdichting, waterhuishouding, ziekten, plagen, onkruiden en bedrijfsresultaat. Het startpunt voor deze PPS is het kennis document Groenbemesters: een overzicht van kennisvragen (Dekkers & Haagsma, 2021). Hieruit komt naar voren dat bij alle doelen die een groenbemester kan hebben, kennis ontbreekt over de effecten van teeltperiode, inwerkmoment en inwerkmethode. Deze PPS voorziet in deze kennisleemte.

Het project levert als resultaat integrale beslisregels voor groenbemesterkeuze en -management voor het optimaliseren van teeltsystemen passend bij het handelingsperspectief van telers, kwekers en toeleveranciers. Ook kan de kennis die het project oplevert, over de verschillende facetten van groenbemesterteelt, gebruikt worden bij het ontwikkelen van beleid. De kennis en beslisregels sluiten aan bij bouwstenen of thema's genoemd in het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie Gewasbescherming 2030, Visie op Kringlooplandbouw, 7^e Actieprogramma Nitraatrichtlijn en het Deltaplan Biodiversiteitsherstel en worden verwerkt in de GroenbemesterKeuzeWijzer en een update van het Groenbemesterhandboek.

2 Financiering

Dit onderzoek wordt gefinancierd vanuit een PPS constructie. 50% van het budget komt van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). De andere 50% wordt in de vorm van *cash* en *inkind* bijdragen door private partners geleverd. Zie Bijlage 1 voor een overzicht van de betrokken partners.

3 Proefopzet

3.1 Objectkeuzes

3.1.1 Grondsoorten

Om de resultaten aan te laten sluiten bij de praktijk en de kennisvragen van de aangesloten partners, worden experimenten in bouwplanverband uitgevoerd gangbare percelen op een kleigrond in Lelystad (52°31'44.2"N 5°34'21.7"E) en een dekzandgrond in Vredepeel (51°33'08.1"N 5°51'55.5"E) (*Figuur 1*).

Proefopzet – locaties



Vredepeel | Zand

Lelystad | Klei

Groenbemers

Figuur 1. Open Teelten proeflocaties in Vredepeel en Lelystad.

Locatie Lelystad | Klei

Het gangbare proefperceel in Lelystad heeft een textuur bestaande uit 32% zand, 38% silt en 21% klei, en een organische stofgehalte van 2,4%. Deze gegevens zijn verkregen op basis van een bodemanalyse (Eurofins) van het perceel uit 2020. In het perceel zit, zover bekend, geen verloop van bodemkwaliteit of hoogte. **Tabel 1A** geeft de uitslagen van de indicatiebemonstering van de aaltjes op 16 augustus 2023. Zoals verwacht zijn er geen plantenparasitaire soorten op de kleilocatie waar rekening mee gehouden moet worden. Bij de indicatiebemonstering voor bodempathogene schimmels (zie 6.2.3) werd enkel *Rhizoctonia solani* AG2-1 in meetbare hoeveelheden geconstateerd (**Tabel 1B**). In **Tabel 2** wordt de voorgeschiedenis van gewassen en groenbemers op het proefperceel weergegeven. Het perceel heeft geen aardappelmoehheid.

Tabel 1. Indicatiebemonstering , 16 augustus 2023 op de kleilocatie (A) aaltjes (aantal nematoden per 100 ml grond) en (B) bodempathogene schimmels (pg schimmel per g grond; waarden van 2 herhalingen; NaN betekent niet waarneembaar/ onder detectielimiet). Voor de blokken zie **Figuur 7**.

Besmetting (N/100 ml grond)					
Blok	Meloidogyne spp.	Pratylenchus	Pratylenchus spp.	Trichodoridea	Tylenchorhynchus
1	0	5	0	0	40
2	0	5	0	0	10
3	0	0	0	0	0

Besmetting (pg schimmel / g grond)				
Blok	R. solani AG2-1	R. solani AG2-2	R. solani AG3-PT	V. dahliae
1	4.0 - 5.3	NaN	NaN	NaN - 0.4
2	NaN - 1.8	NaN	NaN	NaN
3	0.8 - 1.9	NaN	NaN	NaN

Tabel 2. Gewassen en groenbemesters op het proefperceel in Lelystad, in de jaren voorafgaand aan deze proef.

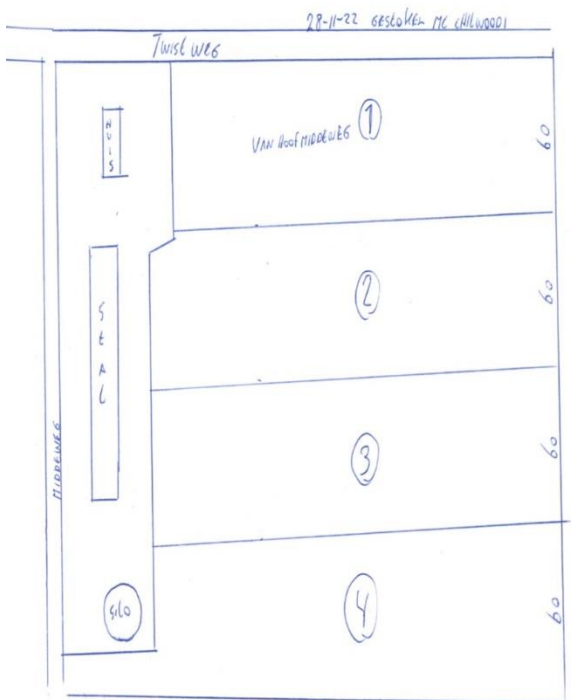
Jaar	Gewas	Groenbemester
2017	Snijmais	Wintertarwe
2018	Wintertarwe	-
2019	Tulp	Bladrammenas
2020	Zaaiui	-
2021	Suikerbiet	Wintertarwe
2022	Wintertarwe	Wintertarwe
2023	Wintertarwe	Start proef.

Locatie Vredepeel | Zand

Het gangbare proefperceel in Vredepeel heeft een textuur bestaande uit 85% zand, 10% silt en 1% klei, en een organische stof gehalte van 3,6%. Deze gegevens zijn verkregen op basis van een bodemanalyse (Eurofins) van het perceel uit 2019. In het perceel zit een hoogte verloop van noord naar zuid, waarbij het noorden wat lager ligt. Ook is er een verloop van oost naar west in organische stofgehalte, waarbij dit in het westen iets hoger is. Er is actief gezocht naar een perceel met een *Meloidogyne chitwoodi* besmetting. Deze quarantaine soort speelt een belangrijke rol op de dekzandgronden door zijn schadelijkheid voor aardappel en groentegewassen als peen en schorseneren. Een deel van de PPS financiering komt dan ook uit het actieplan Meloidogyne van de BO akkerbouw. Het perceel aan de Twistweg is geselecteerd omdat daar een sterk vermoeden was van een besmetting. De indicatiebemonstering van 28 november 2022 bevestigde dit (**Tabel 3**). Voor de inzaai van de groenbemesters is er op 8 augustus een nog startbemonstering uitgevoerd (**Tabel 4A**). Zoals verwacht zijn de dichtheden van *M. chitwoodi* na de gerst gedaald t.o.v. de situatie na aardappel in 2022. De uitgangssituatie is goed te noemen. Bij de indicatiebemonstering voor bodempathogene schimmels (zie 6.2.3) werd op de zandlocatie alle vier de getoetste pathogene bodemschimmels gedetecteerd, waarbij vooral *R. solani AG2-1* en *Verticillium dahliae* in hogere waarden werd aangetroffen. (**Tabel 4B**). In **Tabel 5** wordt een voorgeschiedenis van de gewassen en groenbemesters op het proefperceel weergegeven.

Tabel 3. Indicatiebemonstering aaltjes op de zandlocatie, 28 november 2022. Voor de blokken zie **Figuur 2**.

Besmetting (N/100 ml grond)						
Blok	M. chitwoodi	M. naasi	Pratylenchus	P. penetrans	P. crenatus	Trichodoridea (P. teres)
1	293		25	263	20	8
2	154	14	38	228		0
3	670		25	298		0
4	880	83	28	25		23



Figuur 2. Blokken waarin de nematoden indicatie bemonstering is uitgevoerd.

Tabel 4. Indicatiebemonstering, 8 augustus 2023 op de zandlocatie voor (A) aaltjes (aantal nematoden per 100 ml grond) en (B) bodempathogene schimmels (pg schimmel per g grond; waarden van 2 herhalingen; NaN betekent niet waarneembaar/ onder detectielimiet). Voor de blokken zie **Figuur 8**.

Blok	Besmetting (N/100 ml grond)					
	M. chitwoodi	M. naasi	Pratylenchus	P. penetrans	P. crenatus	Trichodoridea (P. teres)
1	10		0	105		30
2	5		10	124	41	35
3	0		33	132		10

Blok	Besmetting (pg schimmel / g grond)			
	R. solani AG2-1	R. solani AG2-2	R. solani AG3-PT	V. dahliae
1	2.0 - 19.1	NaN	1.2 - 5.2	14.1 - 14.5
2	1.9 - 10.6	2.1 - 2.6	NaN - 13.9	15.5 - 19.1
3	4.1 - 4.3	NaN	NaN	8.9 - 17.1

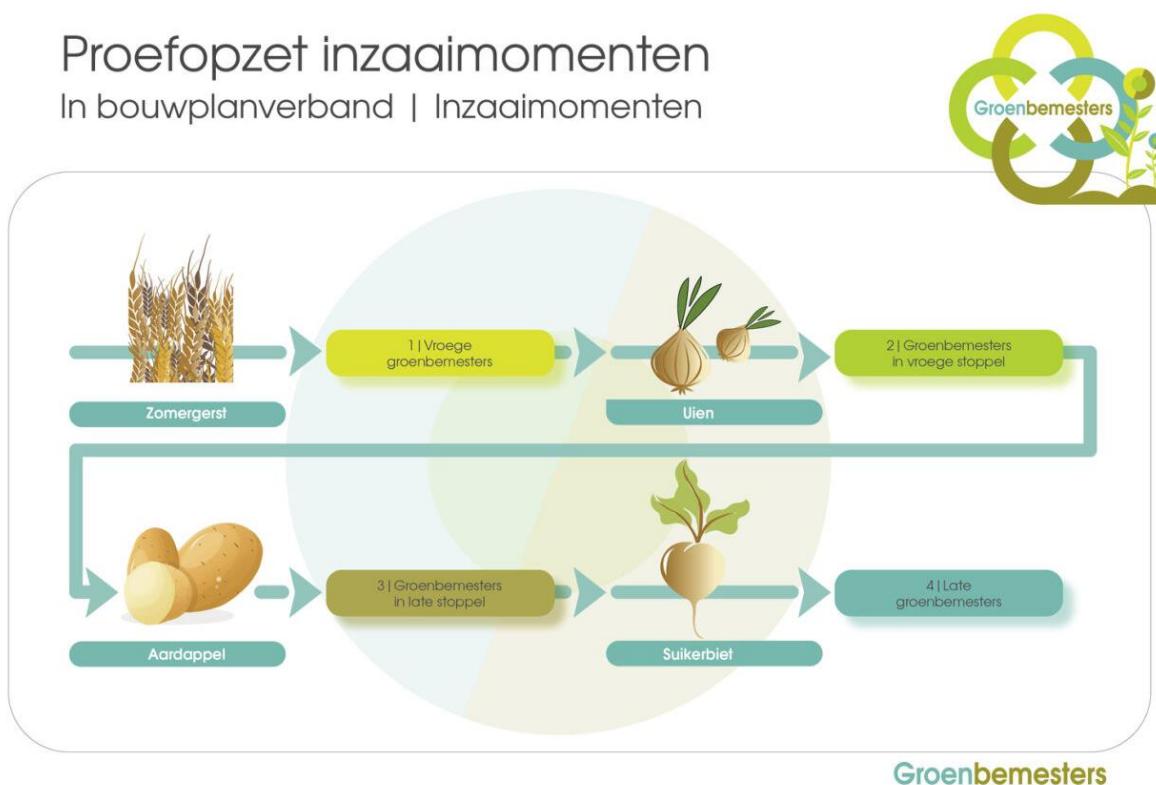
Tabel 5. Gewassen en groenbemesters op het proefperceel in Vredepeel, in de jaren voorafgaand aan deze proef.

Jaar	Gewas	Groenbemester
2017	Snijmais	-
2018	Erwt	-
2019	Ui	Bladrammenas
2020	Peen	-
2021	Snijmais	Wintergerst
2022	Aardappel	-
2023	Zomergerst	Start proef.

3.1.2 Gewassen en zaaimomenten

Om voor telers relevant onderzoek te doen, moeten de teeltperioden en methoden aansluiten op de gangbare landbouwpraktijk. Er wordt daarom gemeten aan groenbemesters die in bouwplanverband worden geteeld. De teelt van de hoofdgewassen staat in dit geval dus ten dienste van de groenbemesterperioden en dienen als 'biotoets' voor het uiteindelijke effect van het groenbemestermanagement. Simpel gezegd: bij een positief effect van de groenbemester zal de opbrengst en kwaliteit van het hoofdgewas hoger zijn.

De vruchtwisseling in beide onderzoekslocaties is een vierjarige rotatie met in Nederland relevante hoofdgewassen in de volgorde: zomergerst (*Hordeum vulgare*), zaaiui (*Allium cepa*), aardappel (*Solanum tuberosum*) en suikerbiet (*Beta vulgaris*). Deze gewassen zijn gekozen omdat ze verschillen in oogstmoment, waardoor er vier inzaaimomenten voor de groenbemesters zijn. Het inzaaimoment van de groenbemesters zal in dit experiment dus bepaald worden door het oogstmoment van de hoofdgewassen en afhangen van de omstandigheden (**Figuur 3**). Het inzaaimoment ligt dus niet vast, maar zal ongeveer als volgt zijn: inzaaimoment 1 in juli, inzaaimoment 2 in augustus, inzaaimoment 3 in september en inzaaimoment 4 in oktober.



Figuur 3. Vier jarig bouwplan met vier verschillende inzaaimomenten van de groenbemesters.

Voor de hoofdgewassen worden rassen gekozen die passen bij de praktijk. Daarnaast wordt in de rassenkeuze rekening gehouden met de onderzoeksvragen in dit project. Zo wordt er bijvoorbeeld niet altijd voor een resistent ras gekozen om effecten van de groenbemesterteelt op ziekten en plagen zichtbaar te maken.

3.1.3 Groenbemesters

In beide veldexperimenten worden, na de teelt en oogst van de hoofdgewassen, vier groenbemestertypes (grasachtige, kruisbloemige, vlinderbloemige en een breed mengsel) geteeld met braak als referentie (**Figuur 4**). Daarnaast is op de zandlocatie na de zomergerst gekozen voor een tagetes in plaats van een kruisbloemige als groenbemester. Deze groenbemestertypes zijn gekozen omdat ze de in Nederland meest gebruikte groenbemesters representeren en verschillen in hun doelen en effecten op bodemkwaliteit en volggewas.



Figuur 3. De verschillende groenbemestersoorten en het braak object.

De soorten die binnen deze families/groenbemestertypes worden gekozen hangen af het zaaimoment en de passendheid in het bouwplan. Na de bieten kan er binnen de kruisbloemigenfamilie bijvoorbeeld nog slechts bladkool als groenbemester geteeld worden, terwijl er na het graan binnen de kruisbloemige groenbemesters meer keuzes mogelijk zijn. Daarnaast is er vanuit een bodembioologisch, -chemisch en -fysisch perspectief gekeken welke groenbemestersoort en ras binnen de families/groenbemestertypes het meest passend is. Indien passend, wordt er op twee tijdstippen voor dezelfde groenbemestersoort gekozen, om de tijdstippen nog beter te kunnen vergelijken. Om de effecten van een mengsel goed weer te geven zijn passende mengsels met veel verschillende soorten uit elk van de groenbemesterfamilies gezocht. Ook wordt er in de keuze rekening gehouden met de grondbewerking (zie het **Hoofdstuk 3.1.4**). De gekozen groenbemester is wel hetzelfde binnen de verschillende inwerktijdstippen en -methoden.

In **Tabel 6** zijn de groenbemesterskeuzes voor de kleigrond in Lelystad weergegeven en in **Tabel 7** voor de zandgrond in Vredepeel.

Grasachtigen Lelystad

Op de kleigrond is als grasachtige Japanse haver gekozen om zijn vorstgevoeligheid voor de fijnzadige gewassen zaai en de suikerbiet, zodat er minder problemen met gewasresten zijn in de gereduceerde grondbewerking. Voor de aardappelen uit is een winterharde groenbemester minder een probleem en is er voor Italiaans raaigras gekozen vanwege de snelle begin ontwikkeling en potentie voor organisch stof productie en stikstofopname. Na de suikerbiet is voor winterrogge gekozen vanwege het late zaaitijdstip.

Kruisbloemigen Lelystad

Bij de kruisbloemige op de kleigrond is op de eerste twee zaaitijdstippen voor bladrammenas gekozen, vanwege de hoge biomassa productie en goede doorworteling. Op het derde zaaitijdstip na de aardappel is voor gele mosterd gekozen, omdat de potentie tot stikstofopname op dit zaaitijdstip beter is vergeleken met de bladrammenas. Op het laatste zaaitijdstip na de suikerbieten zijn er weinig opties over en is voor bladkool gekozen.

Vlinderbloemigen Lelystad

Als vlinderbloemige is op de kleigrond op het eerste zaaitijdstip voor voeder/zomerwikke gekozen, omdat deze een goede begin ontwikkeling heeft en op dit zaaitijdstip een hoger potentie voor stikstofopname in vergelijking met klavers. Op het tweede en derde zaaitijdstip is voor Incarnaatklaver gekozen, deze past goed bij het zaaitijdstip, kan mogelijk winterhard zijn en heeft een goede C/N verhouding. Op het laatste zaaitijdstip zijn de opties wederom beperkt en is voor wintererwt gekozen.

Tabel 6. Groenbemestersoort keuze binnen de verschillende groenbemestertypes en in bouwplan verband op de kleigrond in Lelystad.

Voorvrucht	Groenbemestertype	Groenbemestersoort	Nateelt
Zomergerst	Gras en granen	Japane haver	Zaaiui
	Kruisbloemige	Bladrammenas	
	Vlinderbloemige	Voeder/zomerwikke	
	Mengsel	Biodivers	
Zaaiui	Gras en granen	Italiaans raaigras	Aardappel
	Kruisbloemige	Bladrammenas	
	Vlinderbloemige	Incarnaatklaver	
	Mengsel	Biodivers	
Aardappel	Gras en granen	Japane haver	Suikerbiet
	Kruisbloemige	Gele mosterd	
	Vlinderbloemige	Incarnaatklaver	
	Mengsel	Vital Earth - Complex	
Suikerbiet	Gras en granen	Winterrogge	Zomergerst
	Kruisbloemige	Bladkool	
	Vlinderbloemige	Wintererwt	
	Mengsel	Eigen mengsel	

Grasachtigen Vredepeel

Op de zandgrond is voor de grasachtige op de eerste twee tijdstippen voor Japane haver gekozen, met als reden de vorstgevoeligheid voor de zaaiui en de waardplant status voor *Meloidogyne chitwoodi*. Op de laatste twee zaaimoment na de aardappel en de suikerbiet is in verband met het late zaaitijdstip voor winterrogge gekozen.

Kruisbloemigen Vredepeel

In plaats van een kruisbloemige wordt er op de zandgrond na de zomergerst gekozen voor tagetes vanwege bestrijding van het aaltje *Pratylenchus Penetrans*. Op het tweede en derde zaaimoment is voor bladrammenas gekozen omdat deze een hoge potentie voor biomassa productie heeft en de effecten op *Pratylenchus penetrans* zo verder onderzocht kunnen worden. Op het laatste zaaitijdstip na de suikerbieten zijn er weinig opties over en is voor bladkool gekozen.

Vlinderbloemigen Vredepeel

Als vlinderbloemige is op de zandgrond op het eerste en tweede zaaitijdstip voor Incarnaatklaver gekozen. Deze produceert niet te veel biomassa, wat goed past voor de zaaiui en de effecten op bodembiologie kunnen op deze twee zaaitijdstip goed vergeleken worden. Na de aardappel en de suikerbiet is, in verband met het late zaaimoment, voor winterwikke gekozen.

Mengsels in Lelystad en Vredepeel

Voor de mengsels is op beide locaties voor dezelfde strategie gekozen. Op het eerste en tweede zaaitijdstip is Biodivers van Agrifirm gekozen. Dit mengsel bevat 31% facelia, 24% Alexandrijnse klaver, 14% Incarnaatklaver, 14% vlas, 6% Serradelle, 6% Japanse haver, 3% wikke, 2% Tillage rammenas en 1% zonnebloem. Dit commerciële mengsel past goed bij het zaaitijdstip en is vorstgevoelig, wat passend is bij gereduceerde grondbewerking (zie het **Hoofdstuk 3.1.4**) voor de zaaiui. Op het derde zaaitijdstip na de aardappel is gekozen voor een commercieel mengsel van DLF, Vital Earth – Complex, een breed mengsel dat past bij het latere zaaitijdstip en toch een hoge potentie voor organisch stof productie heeft. Dit mengsel bevat 41% Alexandrijnse klaver, 21% Japanse haver, 15% gingellikruid, 13% facelia, 4% bladrap, 2% zomerwikke, 2% gele mosterd, 1% boekweit en 1% lupine. Voor het laatste zaaitijdstip na de suikerbieten zijn er geen passende commerciële mengsels meer beschikbaar. Er is daarom gekozen een eigen mengsel samen te stellen op basis van het late zaaitijdstip. Hierbij zijn van elke groenbemestertype twee groenbemestersoorten gekozen die nog laat gezaaid kunnen worden. Om het verder aan te vullen zijn vlas en facelia toegevoegd. Dit eigen mengsel bevat 34% wintererwt, 20% winterwikke, 17% winterrogge, 7% gele mosterd, 7% facelia, 7% vlas, 4% rietzwenkgras en 4% bladkool.

Tabel 7. Groenbemestersoort keuze binnen de verschillende groenbemestertypes en in bouwplanverband op de zandgrond in Vredepeel.

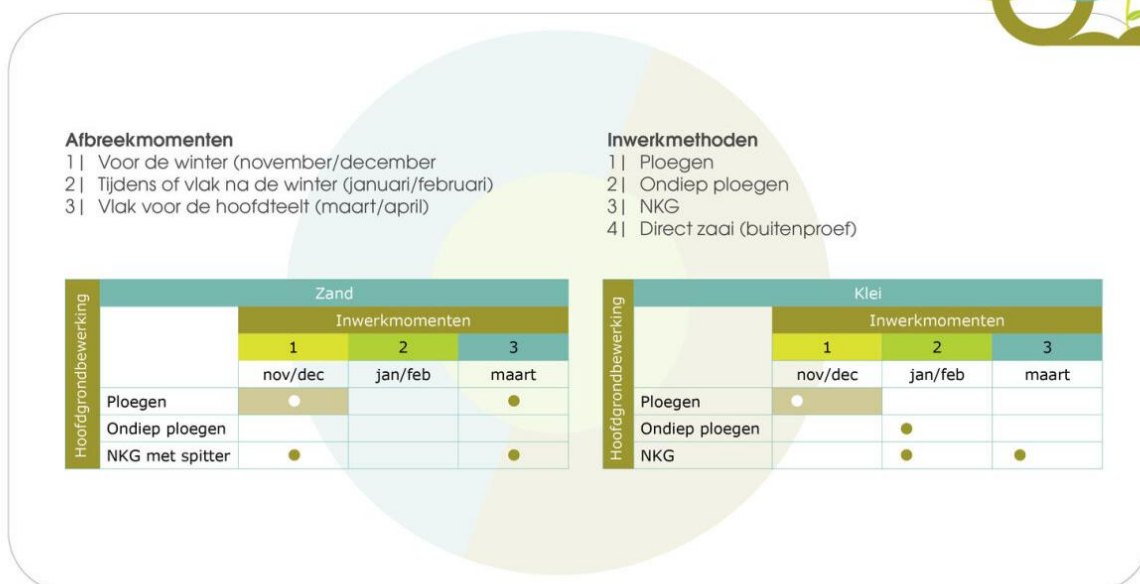
Voorvrucht	Groenbemesterfamilie	Groenbemestersoort	Nateelt
Zomergerst	Gras en granen	Japanse haver	Zaaiui
	Tagetes	Tagetes	
	Vlinderbloemige	Incarnaatklaver	
	Mengsel	Biodivers	
Zaaiui	Gras en granen	Japanse haver	Aardappel
	Kruisbloemige	Bladrammenas	
	Vlinderbloemige	Incarnaatklaver	
	Mengsel	Biodivers	
Aardappel	Gras en granen	Winterrogge	Suikerbiet
	Kruisbloemige	Bladrammenas	
	Vlinderbloemige	Winterwikke	
	Mengsel	Vital Earth – Complex	
Suikerbiet	Gras en granen	Winterrogge	Zomergerst
	Kruisbloemige	Bladkool	
	Vlinderbloemige	Winterwikke	
	Mengsel	Eigen mengsel	

3.1.4 Afbrekmomenten en inwerkmethoden

In de proefopzet kiezen we voor drie afbrekmomenten van de groenbemesters: voor de winter (1), vroeg na de winter (2) en zo kort mogelijk voor het volggewas (3). Daarnaast kiezen we ook voor drie verschillende inwerkmethoden voor de groenbemester (ploegen, ondiep ploegen en niet kerende grondbewerking). **Figuur 5** geeft een overzicht van de combinatie mogelijkheden die dan ontstaan. In verband met de omvang van de proef is ervoor gekozen om op beide locaties vier passende combinaties van afbrekmoment en inwerkmethode verder te onderzoeken.

In de praktijk zijn manier en timing van grondbewerking en andere werkzaamheden verschillend, afhankelijk van de grondsoort. Keuzes hiervoor zijn praktijk en toekomst gericht gemaakt. Gezien het gebruik van chemische middelen bij het afbreken van groenbemesters onder discussie staat en om te zorgen dat de resultaten van deze proef in de toekomst hun relevantie niet snel verliezen, is ervoor gekozen om de groenbemesters mechanisch af te breken. Anderzijds wordt er geen gebruik gemaakt van innovatieve afbrek technieken voor groenbemesters, zoals elektrocutie, die nog niet praktijkrijp zijn. Het goed slagen van de groenbemesterteelt en hoofdteelt heeft in deze proef prioriteit.

Proefopzet - afbrekmomenten en inwerkmethoden



Groenbemesters

Figuur 4. Verdeling van objecten over de combinaties van verschillende inwerkmethoden en afbrekmomenten. De punten zijn de objecten die in de proefopzet voorkomen per locatie. Het bruin gearceerde object is de referentie.

Op de kleigrond valt het afbrekmoment van de groenbemesters samen met de hoofdgrondbewerking. Op de kleigrond wordt ploegen op moment 1 als referentie genomen, dit is bij de start van dit project de meest gebruikte methode in de regio rondom Lelystad. Met een standaard ploeg op circa 25 cm diepte worden de groenbemesterresten onder gewerkt. Vervolgens is op de kleigrond voor een gradiënt naar later afbreken en minder intensieve grondbewerking na afbreken van de groenbemesters gekozen. Op moment 2 wordt ondiep ploegen gebruikt (werkdiepte tussen de 10 en 15 cm afhankelijk van het gewas en teeltsysteem). Ook hierbij worden de groenbemesterresten begraven. Daarnaast wordt op moment 2 en 3 niet-kerende grondbewerking (NKG) toegepast. Hierbij worden de groenbemester planten losgetrokken met een ondiepe grondbewerking en sterven ze af door uitdrogen door zon en wind. Voor het lostrekken kunnen verschillende machines gebruikt worden met schijven, tanden of draaiende messen of een combinatie hiervan. Deze machines kunnen ook extra functies bevatten, zoals de bodem vlak leggen, de groenbemesterstoppel klein snijden of de groenbemesterresten met de bodem mixen. De groenbemesterresten blijven in de bovenste laag en worden niet echt begraven. De bewerkingsdiepte zal tussen de 5 en 10 cm liggen. In deze proef kunnen verschillende machines ingezet worden, afhankelijk van de bodemomstandigheden (vocht) en groenbemesterstand (biomassa, verteerbaarheid).

Op de zandgrond vallen de afbreekmomenten niet per definitie samen met de hoofdgrondbewerking. Op het afbreekmoment wordt de groenbemesterteelt afgebroken door middel van een bewerking met bijvoorbeeld een klepelmaaier of een frees. Hiermee komt de teelt tot een eind, maar blijft de bouwvoor grotendeels onaangeroerd. In het geval van afbreekmoment 1 blijft de grond vervolgens zo liggen totdat de voorbereidingen voor de hoofdteelt (bemesten, grondbewerking, zaaibedbereiding) van start gaan. In de proef op zandgrond worden de twee extremen, afbreekmoment 1 en 3, met elkaar vergeleken, beide momenten gecombineerd met de grondbewerking ploegen en niet-kerende grondbewerking. In het voorjaar wordt de hoofdgrondbewerking uitgevoerd. Hierbij wordt ploegen op circa 20 cm diepte vergeleken met niet-kerende grondbewerking door middel van een spitmachine. In Vredepeel is er langjarige ervaring met verschillende vormen van niet kerende grondbewerking, zowel met een vaste tand cultivator, als met deze spitmachine. Bij gebruik van de vaste tand cultivator blijft de toplaag van de bodem relatief onberoerd, waardoor veel gewasresten en onkruiden aan het oppervlak blijven. Met de ecospitmachine kan er ondiep gewerkt worden, en tegelijkertijd wordt de toplaag wel intensief bewerkt, waardoor er in de hoofdteelt minder last is van gewasresten en onkruiden.

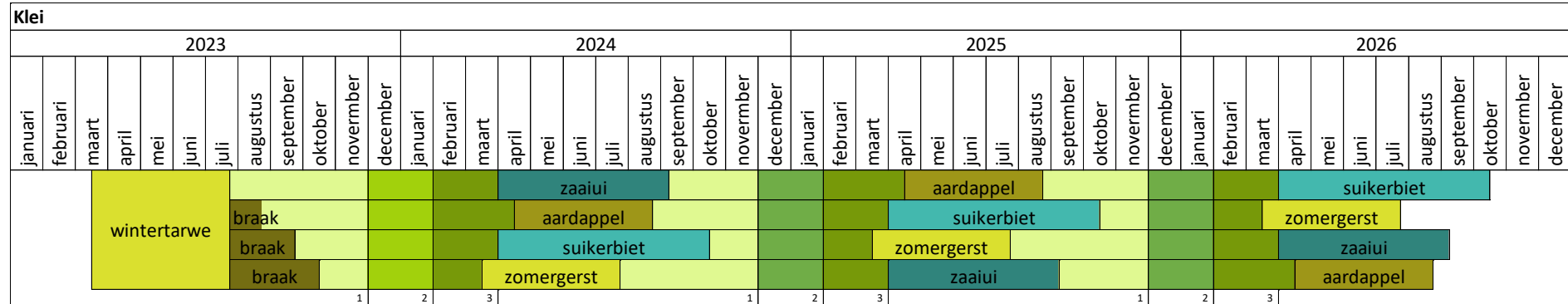
Omdat de verwachte verschillen van deze vormen van grondbewerking vergeleken met ondiep ploegen niet heel groot zijn, wordt op de zandgrond ondiep ploegen niet meegenomen. De referentie op de zandgrond is afbreekmoment 1 met ploegen als hoofdgrondbewerking, gezien dit bij de start van het project de meest gebruikte methode in de regio rondom Vredepeel is.

Wanneer de bovengrondse massa van de groenbemesters te groot is, kan er op beide locaties voor gekozen worden om de groenbemester voor afbreken/inwerken klein te snijden. Blad en stengel worden kleiner gemaakt, zodat het mengen van de groenbemesterresten met de grond gemakkelijker wordt. Dit kan uitgevoerd worden door gebruik van een snijrol of een klepelmachine. Als dit niet gebeurt bestaat de kans dat de groenbemesterresten ingekuild worden en een verstorende laag gaan vormen.

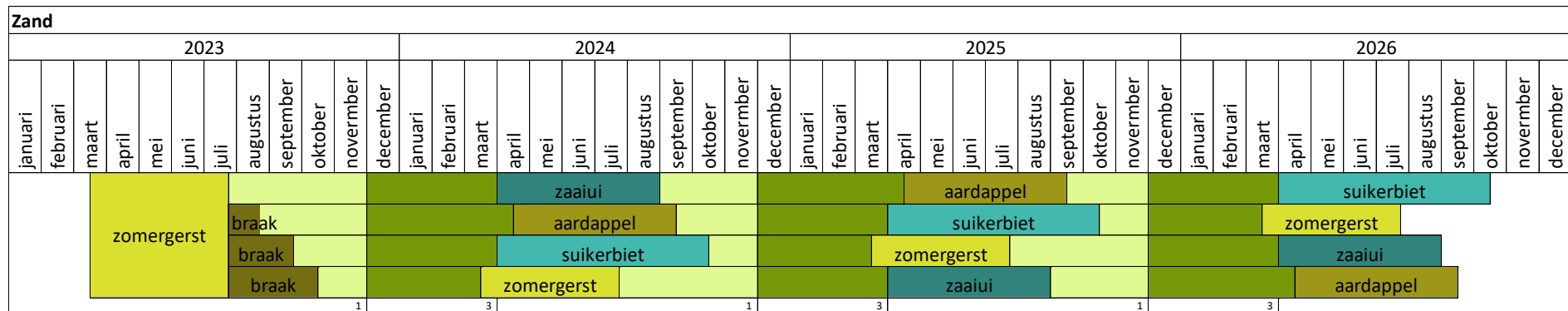
Tenslotte experimenteren we in deze proef op de kleigrond met het direct zaaien van de groenbemesters, zonder verdere bewerkingen, in de stoppel van het hoofdgewas. Hierdoor kunnen we kennis opdoen over deze relatief nieuwe zaaimethode, waarbij de bodem minimaal verstoord wordt. Het afbreken en inwerken van de groenbemesters en het zaaien van het hoofdgewas zal verder op vergelijkbare wijze plaats vinden.

3.1.5 Teeltperiode van groenbemesters

De combinatie van verschillende inzaai- en afbreekmomenten van de groenbemesters zorgt voor een gradiënt in teeltperiode en groeiduur van de groenbemesters. **Figuur 5** en **Figuur 7** geven dit weer in bouwplanverband voor de twee locaties. In de metingen wordt soms één rotatie ofwel meetperceel gevolgd, om bijvoorbeeld de meest lange en korte groeiperiode van de groenbemesters te vergelijken. In de figuren kan zo'n meetperceel van links naar rechts afgelezen worden.



Figuur 5. Teeltperiodes van de groenbemesters in bouwplanverband op de kleilocatie in Lelystad. De cijfers onder het bouwplan geven de afbreekmomenten van de groenbemesters aan.



Figuur 6. Teeltperiodes van de groenbemesters in bouwplanverband op de zandlocatie in Vredepeel. De cijfers onder het bouwplan geven de afbreekmomenten van de groenbemesters aan.

3.1.6 Systeemproof

Door de complexiteit van interacties op een agrarisch bedrijf is een systeem brede aanpak nodig om de effecten van maatregelen, zoals het toepassen van een groenbemesterteelt, goed te kunnen evalueren (Vervuurt et al., 2021). Dit groenbemesterexperiment is dan ook opgezet als systeemproof. Dit houdt in dat verschillende systemen met elkaar vergeleken worden en afzonderlijke variabelen niet altijd consequent zijn en de proef niet factoriaal is opgezet. Een bedrijfssysteem met een bouwplan, inzaaimomenten en inwerkmomenten van de groenbemesters, inwerkmethodes van de groenbemesters en groenbemestersoorten wordt als geheel bestudeerd en vergeleken met een bedrijfssysteem waarin andere keuzes ten aanzien van deze factoren gemaakt zijn.

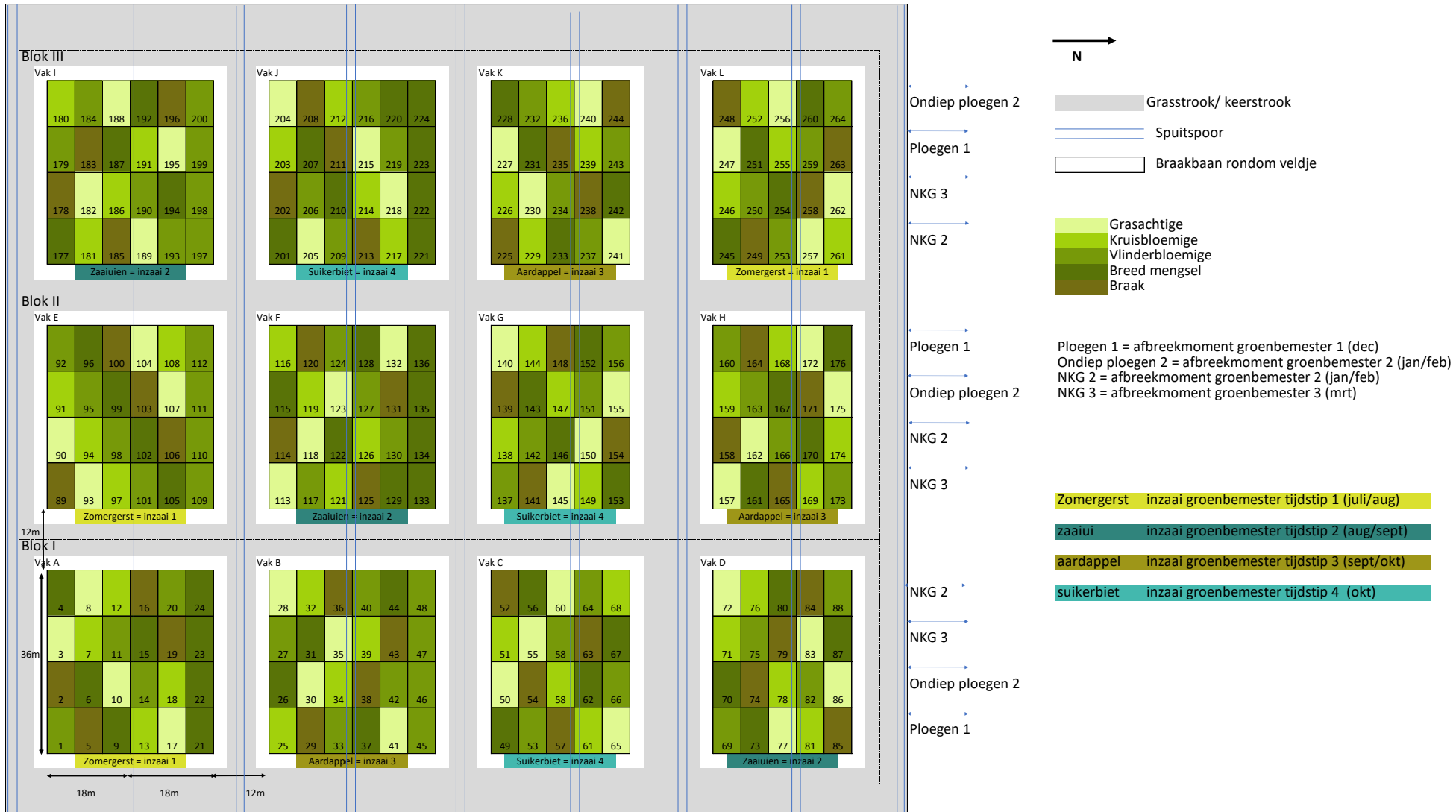
De groenbemesters worden in bouwplan verband geteeld. Hier moet bij vernoemd worden dat het type groenbemester (grasachtige, kruisbloemige, vlinderbloemige of mengsel) in het experiment hetzelfde gehouden wordt binnen een object. Op hetzelfde object zal dus bijvoorbeeld drie seizoenen een grasachtige groenbemester staan. Welke groenbemestersoort uit de grasachtige familie geteeld wordt hangt af van de timing en het type voorvrucht en het volgende hoofdgewas en van het grondbewerkingsmanagement. Er zit echter geen object in dit experiment waar een optimaal bouwplan met verschillende type groenbemesters (bijvoorbeeld wel een grasachtige voor de aardappel, maar geen grasachtige voor de ui) bestudeerd wordt, het experiment zou dan te groot/complex worden.

3.2 Proefveldontwerp

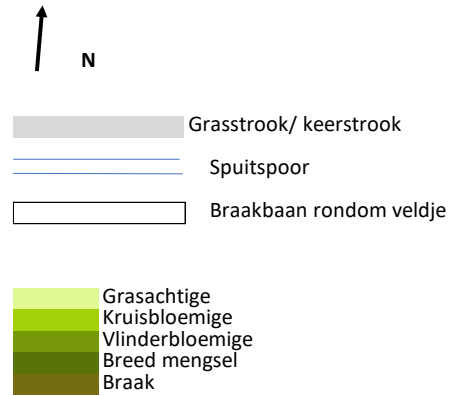
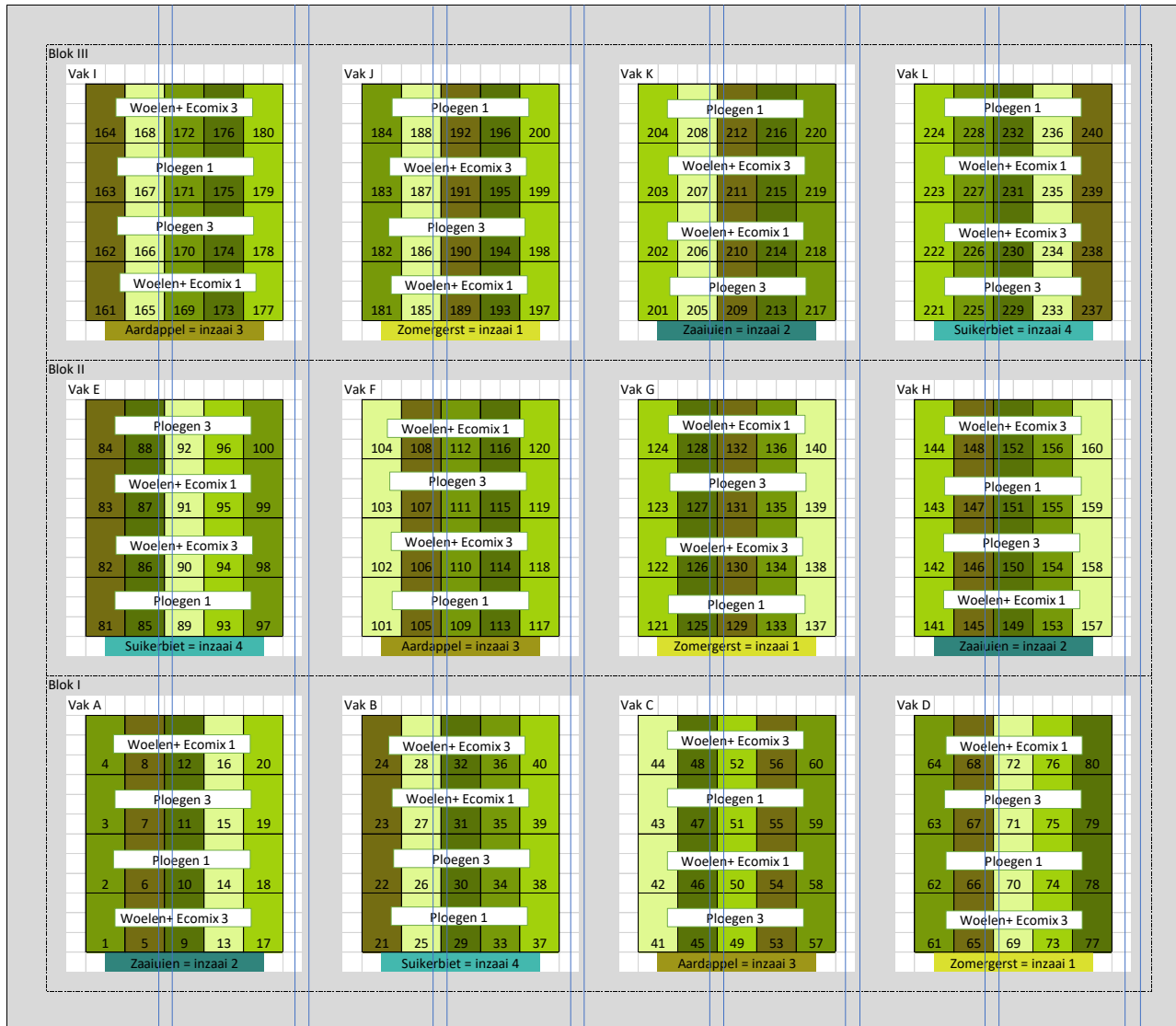
3.2.1 Omschrijving proefvelden

Gebaseerd op alle objectkeuzes die in hoofdstuk 3.1 zijn toegelicht zijn twee proefveld ontwerpen voor de verschillende locaties tot stand gekomen (**Figuur 8** en **Figuur 9**). Op beide locaties is de proef in drie herhalingen aangelegd (Blok I, II en III). Binnen een herhaling zijn er vier vakken met de vier gewassen. De gewassen roteren in de volgorde zomergerst, zaaiui, aardappel en suikerbiet over de vakken heen. De in totaal 12 vakken zijn geletterd van A tot en met L. In Lelystad wordt de hoofdgrondbewerking van zuid naar noord in een lange baan, over een geheel blok uitgevoerd. In Vredepeel wordt de hoofdgrondbewerking van oost naar west per vak uitgevoerd. Binnen de hoofdgrondbewerking komen in veldjes van 6 bij 9 meter de verschillende groenbemesters en het braak object aan bod. Elk veldje heeft een uniek nummer. In Lelystad wordt er buitenproef, aan de noordkant van de vakken A, B, E, F, I en J, met directzaai van de groenbemesters geëxperimenteerd. Hierin komen alleen de vlinderbloemige groenbemesters en het brede mengsel aan bod.

De proef loopt van 2023 tot en met 2026. In 2023 wordt op het gehele perceel in Lelystad wintertarwe en in Vredepeel zomergerst verbouwd. De eerste groenbemesterteelt in het najaar van 2023 is wel op de verschillende zaaimomenten ingezet. Hierbij zijn de oogstmomenten van zaaiui, aardappel en suikerbiet in de omliggende regio aangehouden. De echte gewas rotatie gaat dus pas in 2024 van start. In de proefperiode zal drie keer een hoofdgewas en een groenbemester geteeld worden. De proef eindigt in 2026 met een hoofdteelt.



Figuur 7. Plattegrond van de proefopzet op de kleigrond in Lelystad.



Ploegen 1 = afbreekmoment groenbemester 1 (dec)
 Woelen + Ecomix 1 = afbreekmoment groenbemester 1 (dec)
 Ploegen 3 = afbreekmoment groenbemester 3 (mrt)
 Woelen + Ecomix 3 = afbreekmoment groenbemester 3 (mrt)

Zomergerst inzaai groenbemester tijdstip 1 (juli/aug)

zaaiui inzaai groenbemester tijdstip 2 (aug/sept)

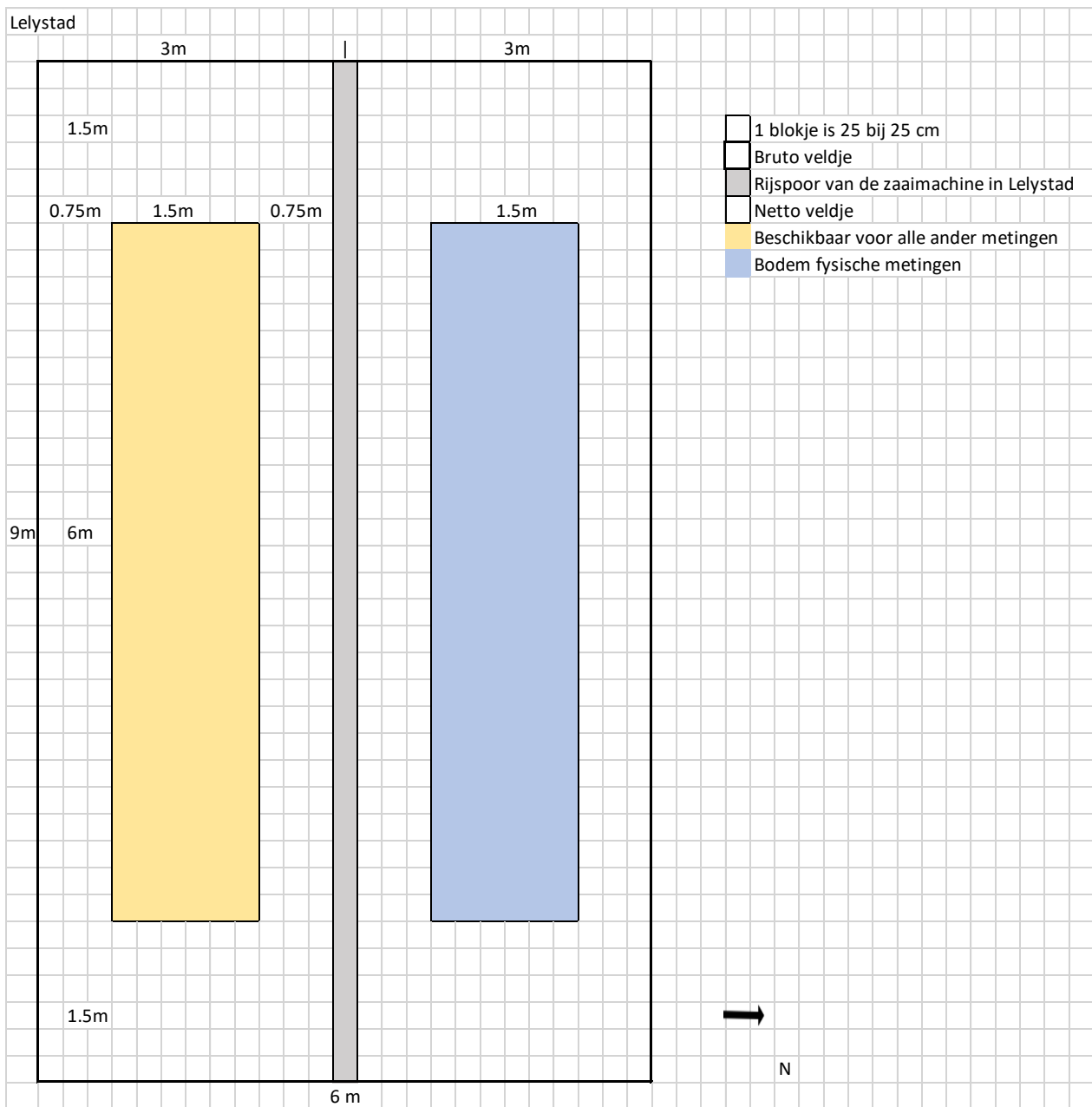
aardappel inzaai groenbemester tijdstip 3 (sept/okt)

suikerbiet inzaai groenbemester tijdstip 4 (okt)

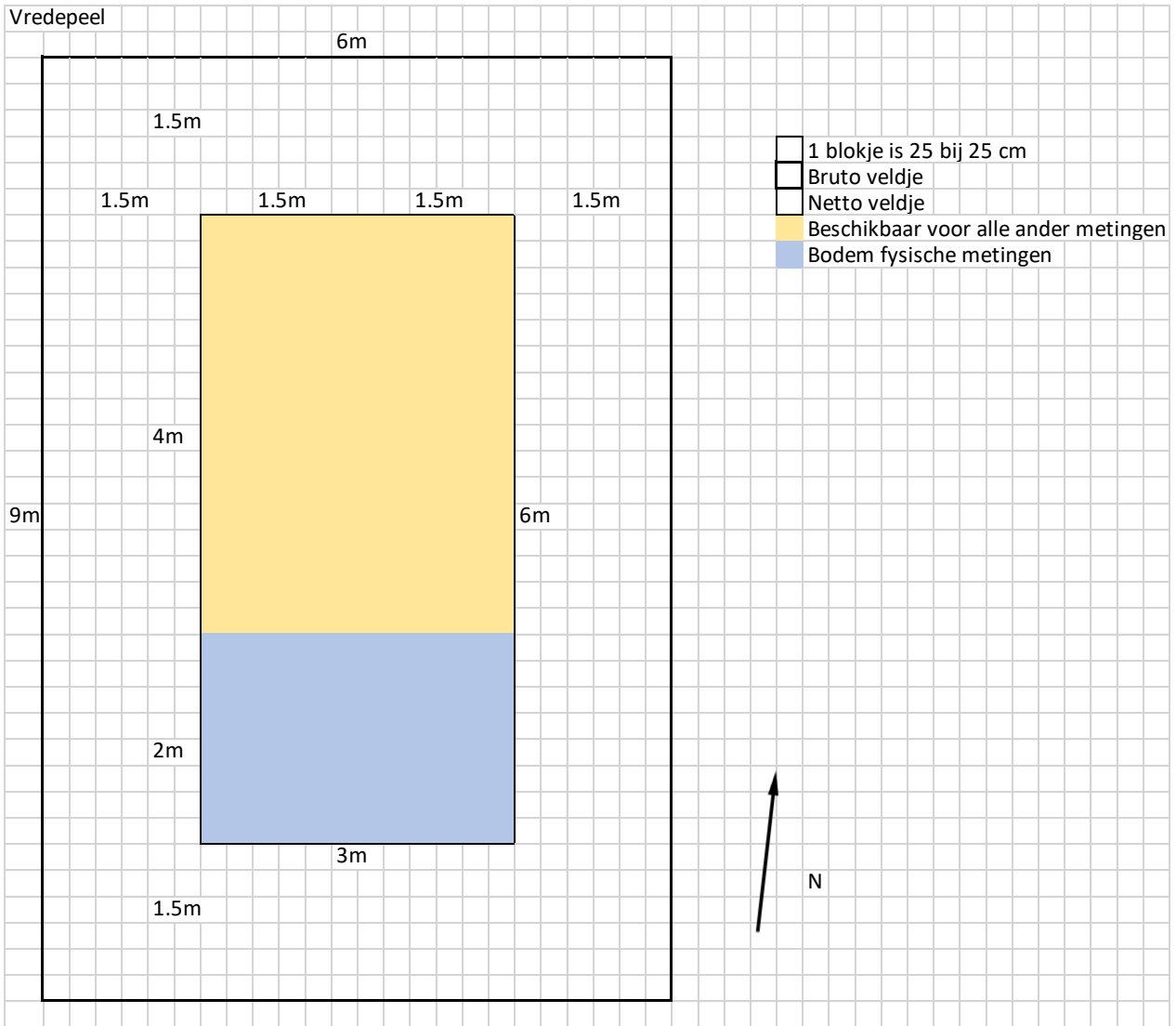
Figuur 8. Plattegrond van de proefopzet op de zandgrond in Vredepeel.

3.2.2 Indeling netto veldjes

Voor alle bodemfysische metingen uit werkpakket 4 is het belangrijk dat de meetobjecten zo min mogelijk verstoord worden. Daarom is besloten om voor deze metingen per veldje een apart netto stuk te reserveren. De metingen uit de andere werkpakketen worden in het andere stuk gedaan. Zie **Figuur 10** en **Figuur 11**.



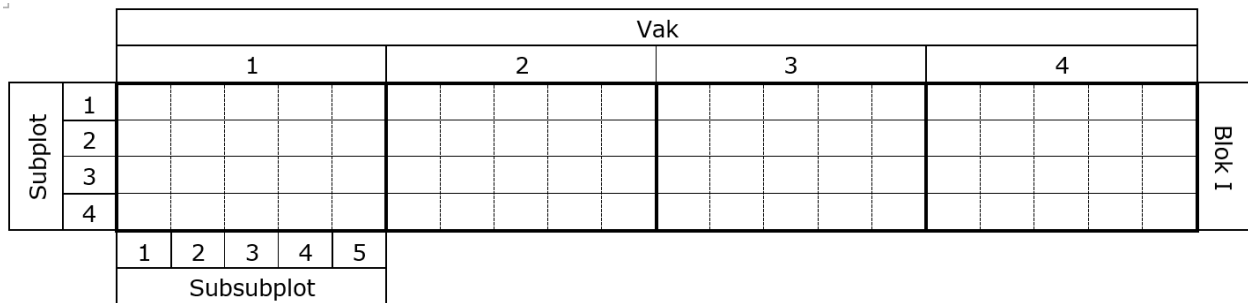
Figuur 10. Voorbeeld van de indeling van de netto veldjes binnen 1 veldnummer op de kleilocatie.



Figuur 11. Voorbeeld van de indeling van de netto veldjes binnen 1 veldnummer op de zandlocatie.

3.2.3 Omschrijving proefopzet

Voor dit onderzoek is gekozen voor een gewarde blokkenproef met drie herhalingen (blokken) om de invloed van groenbemesters op productie van hoofdgewassen en verschillende facetten van bodemkwaliteit te onderzoeken. De proef volgt, met enkele afwijkingen per locatie, een split-split-plot design (**Figuur 12**). In ieder blok liggen de hoofdgewassen en inwerkbehandelingen in een rij-kolom ontwerp, wat resulteert in subsubplots waarover de groenbemesterbehandelingen geward zijn.



Figuur 12. Opzet van een split-split-plot design.

Binnen de blokken worden de vier hoofdgewassen gerst (G), bieten (B) zaaiui (U) en aardappel (A) geward over de vier vakken. Daarbinnen worden vier inwerkbehandelingen, combinaties van inwerkmoment en inwerkmethode, geward over de vier subplots. Op de kleigrond zijn dit ploegen op inwerkmoment 1 (P1), ondiep ploegen op inwerkmoment 2 (OP2), niet kerende grondbewerking op inwerkmoment 2 (NKG2) en op inwerkmoment 3 (NKG3). Op de zandgrond zijn dit ploegen op moment 1 (P1) en moment 3 (P3) en niet kerende grondbewerking (woelen+ecomix) op moment 1 (NKG1) en moment 3 (NKG3). Ten slotte worden de vijf verschillende groenbemestertypen (grasachtige, kruisbloemige, vlinderbloemige, mengsel en een braak object) geward over de vijf subsubplots.

De groenbemester-behandelingen zijn zodanig geward dat ze binnen het hoofdgewas in een Youden-vierkantsontwerp liggen, wat inhoudt dat er op iedere rij en kolom nooit twee keer dezelfde behandeling ligt. Hier is voor gekozen om de invloed van confounding factoren te minimaliseren, zoals variabiliteit in de bodem, omdat de behandelingen gelijkmatig over het veld zijn verdeeld. Hierdoor kunnen de effecten van de behandelingen nauwkeuriger worden beoordeeld.

Op elke locatie is om praktisch uitvoerbare redenen een afwijking of uitzondering op dit design gemaakt. In Lelystad op de kleigrond worden de inwerkbehandelingen van noord naar zuid over het hele blok uitgevoerd; ze zijn dus niet per vak geward. In Vredepeel op de zandgrond wordt dezelfde groenbemester van noord naar zuid per vak ingezaaid; ze zijn dus niet per vak geward.

De proef wordt vier jaar herhaald, waarbij de groenbemesterbehandelingen en inwerkbehandelingen op dezelfde plek blijven liggen binnen de proef, maar de hoofdgewassen rouleren als volgt: zomergerst, zaaiui, aardappel en bieten.

3.3 Management

3.3.1 Gewasbescherming

De gewasbeschermingsstrategie in de hoofdteelten (zomergerst, zaaiui, aardappel en suikerbiet) zal conform goede landbouwpraktijk uitgevoerd worden. Specifiek voor suikerbiet is gekozen om op beide locaties geen Force op het zaad aan te brengen, omdat de verwachting is dat emelten en ritnaalden geen dusdanig grote populaties zullen hebben dat ze voor veel plantwegval zorgen. De aanwezigheid van ondergrondse springstaarten en andere opruimers zullen misschien wel zorgen voor plantwegval maar niet voor 100% plantwegval. Bietenkevers zijn vaak alleen een probleem op percelen biet naast biet en biet op biet. Dit is niet aan de orde op deze locaties.

In de groenbemesters geldt geen standaard gewasbeschermings-strategie. Afhankelijk van waarnemingen in het veld wordt er besloten of en zo ja wat er aan gewasbescherming nodig is. De braak objecten in de proef moeten echt braak worden gehouden, zodat er geen invloed van opslag of onkruid gemeten wordt. Er is voor gekozen om dit met chemische middelen en niet mechanisch te doen, om de bodemstructuur in de braakobjecten niet te beïnvloeden.

3.3.2 Bemesting

Groenbemesters

In de bemesting van de groenbemesters wordt onderscheid gemaakt tussen de proef op zand en de proef op klei. Op zandgronden geldt dat er een vanggewas geteeld dient te worden, vanggewassen mogen in de meeste gevallen niet bemest worden. Een uitzondering daarop is wanneer een niet-vlinderbloemige groenbemester wordt gezaaid voor 1 september en aansluitend op de teelt van granen, graszaad of koolzaad en niet voor 1 februari wordt vernietigd. Dit geldt slechts voor zaaimoment 1 met de hoofdgrondbewerking ploegen en NKG op moment 3. Bovendien is in Vredepeel, bij aanvang van de proef, de bouwplanbemesting tussen het hoofdgewas (graan) en de groenbemesters toegepast. Om deze redenen hebben we besloten de groenbemesters (of vanggewassen) niet aanvullend te bemesten op de zandgrond. Ook in het vervolg (2024-2025-2026) worden de groenbemesters niet bemest. Er wordt namelijk bemest volgens het bemestingsadvies uit het Handboek Bodem en Bemesting. Omdat dit advies hoger ligt dan de gebruiksnormen, wordt aan de gebruiksnormen voldaan en de stikstofgebruiksruimte daarom onder de hoofdgewassen verdeeld.

Op kleigronden gelden in 2023 gebruiksnormen voor groenbemesters indien deze worden gezaaid voor 16 september en ingewerkt worden na 1 december (zie RVO Tabel 1 [Stikstofgebruiksnormen](#)). Deze gebruiksnorm bedraagt 60 kg ha⁻¹ jr⁻¹ voor niet-vlinderbloemigen en 30 kg ha⁻¹ jr⁻¹ voor vlinderbloemigen. Vanaf 2024 geldt dat er gezaaid moet worden voor 1 september en onderwerken mag pas na 1 februari en de norm voor vlinderbloemigen vervalt. In de proef op klei is er bemest volgens de richtlijnen in het Handboek Bodem en Bemesting ([Handboek bodem en bemesting](#)), rekening houdend met het wettelijk kader. Op bouwplanniveau wordt dus voldaan aan de gebruiksnormen. Omdat er in 2023 een graan werd geteeld, is ervoor gekozen om alle objecten, inclusief het braak object, 30 kg N ha⁻¹ jr⁻¹ te geven voor het verteren van de stoppel en het ondergewerkte stro. Enkele groenbemesters op zaaitijdstip 1, 2 en 3 kregen daarbij nog een gerichte bemesting, zie **Tabel 8** voor een overzicht. Aanvankelijk was het de bedoeling dat de groenbemestermengsels niet bemest zouden worden. Door een bemestingsfout in 2023 is besloten de groenbemestermengsels bij zaaitijdstip 1 te bemesten met 45 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. De rest van de objecten werd bemest met 30 kg N ha⁻¹ jr⁻¹. In de opvolgende jaren (2024-2025-2026) worden enkel de groenbemesters na graan (zaaitijdstip 1) bemest. Dit omdat de aardappel en uien teelt voldoende stikstof nalaten in de bodem, en een stikstofgift bij een laat zaaimoment na suikerbiet niet nodig is.

Hoofdgewassen

Ook voor de bemesting van de hoofdgewassen wordt onderscheid gemaakt tussen de zand en kleilocatie. Op zand hebben de groenbemesters in 2023 geen additionele stikstofgift ontvangen. Op zand ligt het gewasgerichte advies (incl. N-korting voor groenbemesters) boven de gebruiksnorm. Er wordt daarom bemest volgens de gebruiksnormen. Elk object ontvangt daarom per gewas eenzelfde hoeveelheid bemesting. Met deze aanpak op zand wordt inzichtelijk wat een groenbemester kan bijdragen in een situatie met krappe gebruiksnormen. Op klei hebben sommige groenbemesters (zie **Tabel 8**) wel een additionele gift ontvangen.

Daarom wordt de bemesting voor de hoofdteelt gedeeltelijk gecorrigeerd voor de stikstofbemesting van de groenbemesters. Er wordt hier uitgegaan van de stikstofinhoud van de groenbemesters (zie 5.3.3) en de kennis in het Handboek Bodem en Bemesting. De korting staat weergegeven in **Tabel 8**. Het principe van de bemesting van 2024 wordt doorgetrokken naar 2025 en 2026. Korting op de bemesting wanneer de groenbemester voor 1 februari wordt ingewerkt wordt nader bepaald in het bemestingsplan.

Tabel 8. Overzicht van de bemesting op de kleigrond.

Zaai-moment	Groenbemester	Bemesting groenbemester	Gewas	N korting hoofdgewas*	Groenbemester	Bemesting groenbemester
2023	2023	2023	2024	2024	2024	2024
1	Japanse haver	45	Zaaiui	30	Italiaans raaigras	0
	Bladrammenas	80		30	Bladrammenas	0
	Wikke	45		60	Incarnaatklaver	0
	Mengsel	45		60	Mengsel	0
	Braak	30		0	Braak	0
2	Italiaans raaigras	85	Aardappel	30	Japanse haver	0
	Bladrammenas	55		30	Gele mosterd	0
	Incarnaatklaver	0		60	Klaver	0
	Mengsel	0		60	Mengsel	0
	Braak	30		0	Braak	0
3	Japanse haver	30	Suikerbiet	15	Winterrogge	0
	Gele mosterd	50		15	Bladkool	0
	Klaver	0		30	Wintererwt	0
	Mengsel	0		30	Mengsel	0
	Braak	30		0	Braak	0
4	Winterrogge	30	Zomergerst	0	Japanse haver	45
	Bladkool	30		0	Bladrammenas	80
	Wintererwt	30		0	Wikke	45
	Mengsel	30		0	Mengsel	45
	Braak	30		0	Braak	30

* Op basis van de kennis uit het Handboek Bodem en Bemesting, dit wordt aangepast op basis van de biomassa en stikstofmetingen in het najaar.

4 Werkpakketindeling

In **Figuur 13** wordt een overzicht van de werkpakketten (WP) binnen dit project gegeven. Vanuit WP0 wordt het project aangestuurd en WP5 is verantwoordelijk voor de communicatie van de opgedane kennis richting praktijk en beleid. In deze proef worden de onderzoeksvragen gesteld vanuit de vier inhoudelijke werkpakketten (WP1, WP2, WP3 & WP4). In WP1 ligt de focus op de algehele teelt van groenbemesters en hoofdgewassen. WP2 kijkt naar vele aspecten van bodem biologie, zoals aaltjes, schimmels, bodeminsecten en onkruiden. In WP3 ligt de focus op de chemische bodemkwaliteit en wordt er gekeken naar stikstof vastlegging, overdracht en uitspoeling en naar bodem organische stof en koolstof. WP4 kijkt naar de fysische bodemkwaliteit, zoals bodemstructuur, zaaibedbereiding en vochtthuishouding. In hoofdstuk vijf en zes zullen de onderzoeksvragen en meetmethoden per werkpakket behandeld worden. In de analyses van de resultaten zal er over de werkpakketten heen gekeken worden om alle aspecten op systeemniveau samen te brengen.



Figuur 13. Indeling van de werkpakketten binnen de PPS Groenbemesters.

5 Onderzoeksvragen en hypothesen

5.1 WP 1 – Veldexperimenten

In werkpakket 1 wordt basisinformatie verzameld die cruciaal is voor de andere WP's om uitspraken te kunnen doen over de onderzoeksvragen. De gewasontwikkeling, opbrengst en kwaliteit van het hoofdgewas worden gevolgd. Ook de gewasontwikkeling van de groenbemesters wordt gevolgd. Daarnaast wordt de algehele teelt en het management van zowel de groenbemesters als de hoofdgewassen geregistreerd in het logboek. In werkpakket 1 worden de volgende onderzoeksvragen gesteld en de daarbij behorende hypothesen worden hier verder toegelicht. Wat is het effect van groenbemester management (teelt timing en inwerkmethod) op de:

5.1.1 Opkomst van de hoofdgewassen

Het hoofdgewas is de biotoets om de verschillende groenbemester managementstrategieën te toetsen. Dit begint al bij de opkomst. De hoeveelheid ontwikkelde groenbemester biomassa in combinatie met de inwerkmethod hiervan kan een effect hebben op de opkomst van de hoofdgewassen. Met name fijnzadige gewassen zoals zaaiui zijn gevoelig voor veel achtergebleven groenbemesterresten. Mogelijk treden er ook allelopathische effecten van de groenbemester op het hoofdgewas op.

5.1.2 Gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en groenbemesters

Naast de opkomst kan ook de verdere ontwikkeling van de hoofdgewassen beïnvloed worden door het vooraf toegepaste groenbemestermanagement. Ontwikkeling kan gestimuleerd dan wel geremd worden door bijvoorbeeld de snelheid van de vertering van de groenbemester. De ontwikkeling van de groenbemester zelf wordt vanzelfsprekend beïnvloed door alle opgenomen factoren in deze proef zoals het zaai- en inwerkmoment. Zowel de duur van de groenbemesterteelt als de groeiperiode in het jaar zullen de ontwikkeling beïnvloeden.

5.1.3 Gewasopbrengsten en gewaskwaliteit

De uiteindelijke gewasopbrengst en -kwaliteit is een van de belangrijkste factoren waarmee het effect van het groenbemestermanagement gekwantificeerd wordt. De groenbemesterteelt dient vele doelen, maar staat toch vooral ten dienste van het hoofdgewas.

5.2 WP 2 – Gezonde teeltsystemen

In werkpakket 2 wordt er gekeken naar de effecten van groenbemestermanagement op de biologische componenten in de bodem en op de onkruidontwikkeling. Er wordt hierbij vooral gekeken naar de ontwikkeling van ziekten, plagen en onkruiden. Tevens worden ook milieuaaltjes geanalyseerd als maat voor bodembiodiversiteit. In werkpakket 2 worden de volgende onderzoeksvragen gesteld en de daarbij behorende hypothesen worden hier verder toegelicht. Wat is het effect van groenbemester management (teelt timing en inwerkmethod) op de:

5.2.1 Opbouw van bodeminsectenplagen

De nadruk bij de opbouw van bodemplagen ligt op het volgen van wegval bij suikerbiet. Door het vervallen van toegelaten insecticiden is er een toenemende insectenproblematiek met name in de bietenteelt. Het IRS zal zich actief inzetten om grip te krijgen op de rol die groenbemesters hierin spelen. We verwachten dat veranderingen in hoeveelheid en type plantaardige resten van de groenbemester effect zal hebben op het voorkomen van de insecten in de bodem, wat terug te zien is in plantwegval. Meer organische stof kan leiden tot meer insecten, maar daarnaast verwachten we dat bepaalde groenbemesters ook soort specifieke effecten op de insecten hebben omdat ze waardplanten kunnen zijn.

5.2.2 Opbouw van plantenparasitaire en milieuaaltjes

Nematoden of aaltjes zijn van nature aanwezig in bodems. In de bodem zijn zowel plantenparasitaire aaltjes als milieuaaltjes aanwezig. Aaltjes zijn aanwezig in grote aantallen, en door hun diversiteit en grote aantal kunnen ze goed als indicator gebruikt worden. Door verschillende indices voor de aaltjesgemeenschap te berekenen geven ze een indicatie over de vruchtbaarheid en mate van verstoring van de bodem (bijv. Maturity Index, Bongers 1990). Welke soorten aanwezig zijn en de aantallen per soort is afhankelijk van de omstandigheden, en zal verschillen per locatie, grondsoort, bodembewerking en gewas. De diversiteit van de aaltjes kan tevens gebruikt worden als een indicatie voor ondergrondse biodiversiteit.

Het effect van groenbemesters verschilt per soort groenbemester, en per groenbemestersoort verschilt het effect ook per aaltjessoort. Zo is Japanse haver bijvoorbeeld geen waardplant voor het wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) en zal de aaltjesbesmetting door de teelt van deze groenbemester afnemen. Daarentegen vermeerderd Japanse haver het quarantaineaaltje *Meloidogyne chitwoodi* sterk (van Leeuwen-Haagsma et al., 2019). De verwachting is dat hoe langer de groenbemester op het veld staat des te sterker het effect (positief of negatief) zal zijn. Verder is het de vraag of aaltjes die hun levenscyclus op een gewas voor de winter zijn begonnen deze na de winter ook zullen afmaken als de temperatuur weer boven de drempelwaarde voor ontwikkeling gestegen is.

5.2.3 Opbouw en detectie van pathogene bodemschimmels

Het telen van groenbemesters die een waardplant zijn, tussen de hoofdteelten door, kan effect hebben op de opbouw van pathogeenpopulaties in de bodem. Omdat de pathogenen dan kunnen overleven, of zelfs toenemen, op de waard-groenbemesters. Tevens kunnen pathogenen zich vermeerderen op achterblijvend dood plantmateriaal van de groenbemester. Inwerkmethodes en/of afbreekmomenten waarbij meer organisch materiaal achterblijft kunnen dan een groter effect hebben, maar dit is waarschijnlijk gekoppeld aan de waardstatus van de groenbemester. Om de opbouw van pathogene bodemschimmels te volgen is het belangrijk te weten welke soorten reeds aanwezig zijn in de bodem bij aanvang van het experiment (zie Tabel 1B en 4B).

5.2.4 Bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking

Bodems verschillen in de mate waarin ze ziektes kunnen onderdrukken. Bodempathogenen zullen daardoor niet altijd even veel schade veroorzaken bij de teelt van een schadegevoelig gewas. In een ziektewerende bodem zal een gewas minder snel of minder zwaar aangetast worden door bodemgebonden plantenziekten. Ziektewering kan het gevolg zijn van een ander, diverser of actiever bodemleven. Maar ook organische stof, bodemstructuur en chemische samenstelling kunnen een rol spelen. Een generalistische ziektewering wordt vooral in verband gebracht met een divers bodemleven dat ziekteverwekkers door competitie en antagonistische werking onderdrukt. *Pythium ultimum*, veroorzaker van de omvalziekte, is waarschijnlijk gevoelig voor deze generalistische ziektewering.

De teelt van groenbemesters, soort, inwerkmethodes en timing, zal effecten hebben op de microbiële bodemgemeenschap, door de groei van de planten en de (afbraak van) groenbemesterresten (dood materiaal). Hierdoor kan ook het ziekteonderdrukkend vermogen van de bodem veranderen. De hypothese is dat eventuele ziektewering het sterkst zal zijn op de kleilocatie, omdat kleigronden eerder ziektewerende eigenschappen laten zien in vergelijking met zandgronden (de Haan et al., 2021, §3.5.2), en dat de bodem tijd nodig heeft om ziektewering op te bouwen.

5.2.5 Onkruidbeheersing

De teelt van groenbemesters kan effect hebben op de onkruiddruk in het hoofdgewas. De teelt van groenbemesters kan enerzijds de onkruiddruk verhogen indien de groenbemesters zaad produceren tijdens de teelt en onkruidbestrijding in de groenbemesterteelt lastig is. Anderzijds kunnen groenbemesters ook de onkruiddruk verminderen door bijvoorbeeld competitie met onkruiden en een onderdrukkend allelopathisch effect van de residuen (o.a. Scheepens et al., 2003; Kruidhof et al., 2008). De verwachting is dat eventuele effecten op de onkruiddruk vooral op de zandlocatie zichtbaar zullen zijn, waar de problemen door onkruid groter zijn dan op de kleilocatie, en dat de effecten na meerdere teelten versterkt worden. Onkruiddruk in relatie tot groenbemesterteelt en -timing zijn al eerder bestudeerd in onder andere het promotieonderzoek van dr. Kruidhof (Kruidhof, 2008). Voorafgaand aan de start van de metingen zal dit werk en gerelateerde literatuur worden samengevat om leemtes te identificeren en gerichte metingen te kunnen uitvoeren. De partners hebben het onderwerp onkruiden in de voorbereiding laag geprioriteerd, mogelijk vanwege het eerdere werk aan effecten van groenbemesters op onkruidontwikkeling, vandaar dat er slechts beperkt budget is om gericht onkruidonderzoek te doen. Onkruid wordt wel standaard meegenomen in de agronomische beoordelingen van WP1.

5.3 WP 3 – Kringlooplandbouw m.b.t. koolstof en nutriënten

In verschillende proeven zijn de effecten van groenbemesters op nutriëntoverdracht, -verliezen en -efficiëntie onderzocht (e.g. Vos & van der Putten, 2001; Vos & van der Putten, 2004; Premroy et al., 2014; Plaza-Bonilla et al., 2015; Drost et al., 2020; Porre, 2020; van Geel et al., 2010; van Geel et al., 2012; van Geel et al., 2023). Kennis over het effect van zaaimoment, inwerkmethode, mineralisatie en op het volggewas is beperkt.

Voor de nutriëntenoverdracht kan een recovery rate worden berekend, N mineralisatie gemeten gedurende het seizoen of gebruik gemaakt van modellen (e.g. Vos & van der Putten, 2001). Voor het risico op nutriëntverliezen wordt veelal gebruik gemaakt van nutriëntbalansen, N_{min} metingen, nitraatmetingen in het bovenste grondwater en modellen. Nitraatmetingen in het bovenste grondwater geven inzicht in de daadwerkelijke uitspoeling. De oppervlakte van de proefveldjes (6x9m op zand en 6x9m op klei) is niet toereikend voor het meten van uitspoelingsniveaus die corresponderen met de veldobjecten. Bovendien zijn nitraatmetingen erg variabel, wat veel metingen zou vereisen. Er is daarom gekozen om geen nitraatmetingen in het grondwater uit te voeren. Van Geel et al. (2023) hebben uitspoeling zowel gemeten als gemodelleerd (SWAP/ANIMO). Voor twee van de drie jaar vallen de metingen binnen de gemodelleerde waarden. Als inputgegevens zijn gebruikt: stikstofopname door het hoofdgewas, stikstofopname door het vanggewas, neerslag en grondwaterstand. Modelleren is mogelijk, maar tijdsintensief.

In werkpakket 3 worden de volgende onderzoeksvragen gesteld en de daarbij behorende hypothesen worden hier verder toegelicht. Wat is het effect van groenbemester-management (teelt timing en inwerkmethode) op de:

5.3.1 Recovery rate

De recovery rate is een indicator voor de mate waarin een nutriënt, welke is opgenomen door een groenbemester, wordt doorgegeven en opgenomen door het volggewas. De recovery rate (R_c) wordt berekend door de inhoud van het hoofdgewas na de teelt van een groenbemester te vergelijken met de inhoud van het hoofdgewas waar geen groenbemester vooraf gegaan is (Vos & van der Putten, 2001). Bij een optimale bemesting van het gewas zal het meetbare effect beperkt zijn, omdat de gewassen dan, ongeacht wel of geen groenbemester, voldoende stikstof kunnen opnemen. Er wordt verschil verwacht in R_c tussen de verschillende groenbemesterobjecten. De verwachting is dat de N-opname door het hoofdgewas na een groenbemester hoger is dan wanneer er geen groenbemester is geteeld, het is daarom de verwachting dat de R_c groter is dan 1.

5.3.2 Stikstof mineralisatie gedurende het seizoen

Uit het overleg met de partners kwam naar voren dat er behoefte is aan inzicht in het moment waarop stikstof vrijkomt uit de groenbemesterresten. De vraag is op welk moment de stikstof vrijkomt voor het hoofdgewas, of er een risico bestaat dat bij laat onderwerken de stikstof te laat vrijkomt en of bij vroeg onderwerken een deel van de stikstof dan al uitgespoeld is. Het gaat dus in eerste instantie om het verkrijgen van het verloop van de mineralisatie. Er wordt een effect verwacht van het zaaitijdstip, het type groenbemester, het moment van onderwerken en de manier van onderwerken. Een vergelijking tussen de zaaitijdstip is maar beperkt mogelijk, aangezien het type groenbemester niet altijd gelijk is voor de zaaimomenten. Daarnaast wordt er verwacht dat de stikstofmineralisatie hoger is na de teelt van een groenbemester dan bij braak.

5.3.3 Nutriëntbalans

Een vereenvoudigde nutriëntbalans is een (relatief) eenvoudige methode om inzicht te krijgen in het risico op nutriëntverliezen. Een nutriëntbalans of -bodemoverschot geeft niet direct de uitspoeling weer, aangezien vele processen daarop van invloed zijn, en het overschot dus niet direct gelinkt is aan de hoeveelheid die uitspoelt (van Geel et al., 2023). Wel geeft een nutriëntbalans inzicht in het nutriëntenoverschot welke mogelijk kan uitspoelen. De hypothese is dat het overschot op de (winter)nutriëntenbalans hoger is bij braak dan bij de teelt van een groenbemester en dat er verschillen zijn in het overschot tussen de groenbemester typen.

5.3.4 N opname

Naast de biomassa en stikstofinhoud van de groenbemesters wordt ook de hoogte van de groenbemesters gemeten. Hiermee kan de relatie tussen hoogte en N-opname bepaald worden. Dit is een relatie die in de praktijk gemakkelijk toegepast kan worden.

5.3.5 Stikstof mineraal

Stikstof mineraal (N_{min}) metingen gedurende het winterseizoen geven inzicht in wat er met de bodem stikstof gebeurt tijdens de groei van de groenbemesters en wat er met de stikstof uit groenbemesters gebeurt als deze vóór de winter afsterven of worden ingewerkt en het risico op uitspoeling. Het verschil tussen groenbemestertypen en het wel of niet telen van een groenbemester wordt inzichtelijk. Er wordt een verschil verwacht door het zaaimoment, groenbemestertype, inwerkmoment en grondbewerking.

5.3.6 Koolstof

Voor het monitoren van koolstof zullen bulkbepalingen aan bodem C en OS worden verricht in het eerste jaar. Als het budgettair mogelijk is zullen deze herhaald worden in het laatste jaar. Verder wordt de biomassa (plus C-gehalte) van de groenbemesters bepaald, waardoor koolstofopslag modelmatig benaderd kan worden. Na drie seizoenen groenbemesters wordt er nog geen verschil in bodemorganisch koolstofgehalte verwacht tussen de verschillende objecten.

5.4 WP 4 – Robuuste bodem

Aan de hand van de door de partners geprioriteerde onderzoeksvragen is in werkpakket 4 de nadruk gelegd op het in beeld brengen van effecten van groenbemesterteelt op het zaaibed, gevolgd door effecten op vochthuishouding, algehele bodemstructuur en tot slot ondergrondverdichting. In werkpakket 4 worden de volgende onderzoeksvragen gesteld en de daarbij behorende hypothesen worden hier verder toegelicht. Wat is het effect van groenbemester management (teelt timing en inwerkmethod) op de:

5.4.1 Zaaibedkwaliteit en -bereiding

Latere afbreekmomenten van de groenbemesters kunnen zorgen voor een slechtere en/of tragere opkomst en weggroei van het hoofdgewas door storende groenbemesterresten en evt. bodemaggregaten die sterker aan elkaar plakken. Vooral voor fijnzadige gewassen zou dit een probleem kunnen zijn. Het verschilt per groenbemester hoe geschikt die is voor een laat afbreekmoment gezien het effect op het volggewas. De verwachting is dat er na vorstgevoelige groenbemesters een beter zaaibed gemaakt kan worden.

5.4.2 Vochthuishouding van de bodem in het hoofdgewas

Het afbreekmoment en de groenbemestersoort heeft een effect op de vochttoestand van de bodem. Levende groenbemesters kunnen de bodem beter uitdrogen des te langer ze blijven staan in het voorjaar, terwijl afgestorven groenbemesters vocht kunnen vasthouden. Of dit positief of negatief is voor de zaaibedbereiding, opkomst, weggroei en vochtvoorziening van het hoofdgewas kan per jaar verschillen, afhankelijk van het weer en het gewas.

5.4.3 Bodemstructuur

Groenbemesters kunnen door hun beworteling een positief effect hebben op de bodemstructuur. Het verschilt per type groenbemester hoe groot het positieve effect is. Een divers mengsel zou het meest positief kunnen zijn door betere benutting van verschillende bodemlagen en verschillende typen van beworteling. Een lange groeiduur leidt tot een groter effect dan een kortere groeiduur, omdat de groenbemesters dan langer de tijd hebben om dieper en intensiever te wortelen. Over het algemeen wortelen grassen en vlinderbloemigen intensiever dan kruisbloemigen. Tegelijkertijd zijn kruisbloemigen goed in het creëren van macroporiën.

5.4.4 Ondergrondverdichting

Groenbemesters zouden kunnen bijdragen aan het voorkomen en beperken van effecten van ondergrondverdichting. In de proefvelden die voor dit experiment gebruikt worden zitten, voor zover bekend, geen verdichte lagen. Effecten op verminderen van ondergrondverdichting zal dus niet bepaald kunnen worden. Wel zullen de effecten op bodemverdichting door het meten van indringingsweerstand en het graven van profielkuilen in de gaten worden gehouden. Groenbemesters die van nature dieper wortelen, worden verwacht een groter positief effect op de bodemstructuur in de diepere lagen (>30 cm) te hebben. Wat betreft diepte zijn er soorten zoals bladrammenas, Ethiopische mosterd, rietzwenkgras, Japanse haver, Soedangras en rode klaver die extra diep kunnen wortelen met mogelijke invloed op storende lagen. Een lange groeiduur wordt verwacht te leiden tot een groter effect, omdat de groenbemester meer tijd heeft om diepere lagen te bereiken met de wortels.

6 Methoden

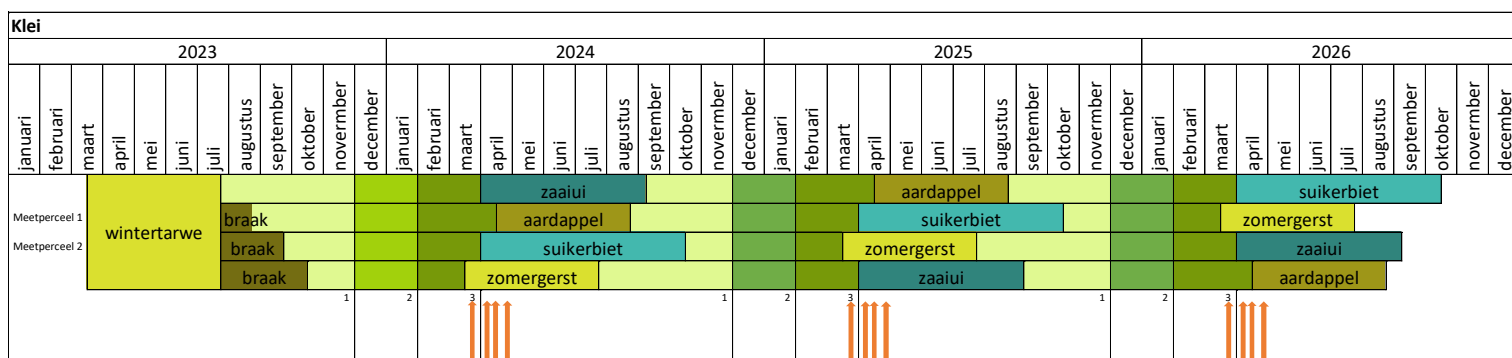
6.1 WP 1 – Veldexperimenten

6.1.1 Opkomst van de hoofdgewassen

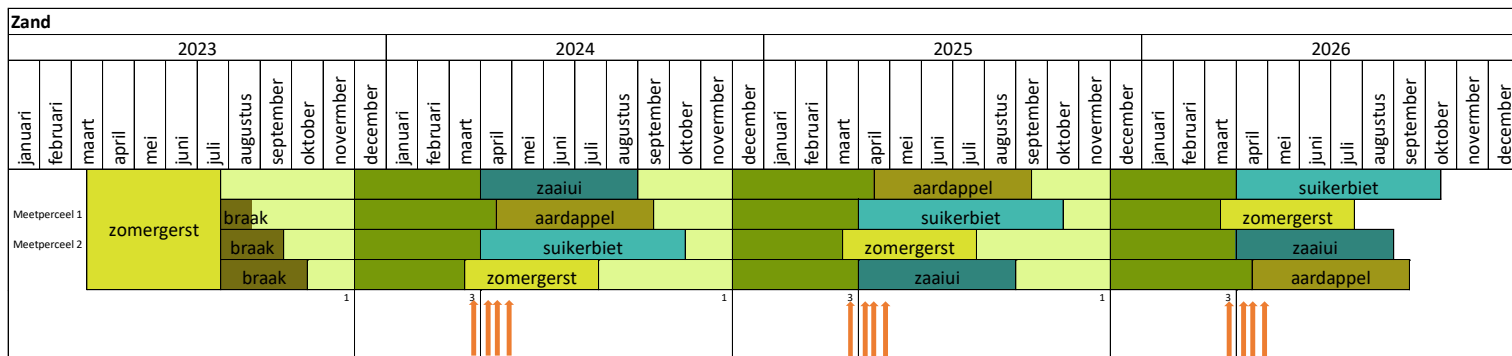
De opkomst van elk hoofdgewas wordt gemonitord door middel van een gewastelling. In de zomergerst en de zaaiui wordt met een telraam van 50 bij 50 cm gewerkt. Dit telraam wordt zo neergelegd, dat er 3 rijen zomergerst of 2 rijen zaaiui planten in vallen. Alle planten in het telraam worden geteld. Voor de aardappels worden alle planten op 2 ruggen van 2 strekkende meter geteld. De opkomststelling voor de bieten wordt uitgevoerd door IRS.

Meetmomenten

De opkomst van de hoofdgewassen wordt op beide locaties voor alle hoofdgewassen elk jaar (2024, 2025 en 2026) één keer beoordeeld, zie **Figuur 14** en **Figuur 15**.



Figuur 14. Momenten waarop de opkomst van de hoofdgewassen op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 15. Momenten waarop de opkomst van de hoofdgewassen op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

De opkomst van de hoofdgewassen wordt voor alle inwerkmethoden en -momenten en groenbemestertypen bepaald, elk veldje binnen de proef wordt dus individueel beoordeeld (**Tabel 9**).

Tabel 9. Overzicht van objecten waarin de opkomst van de hoofdgewassen gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026		Aardappel	NKG 2	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

2024	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026		Aardappel	NKG 1	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

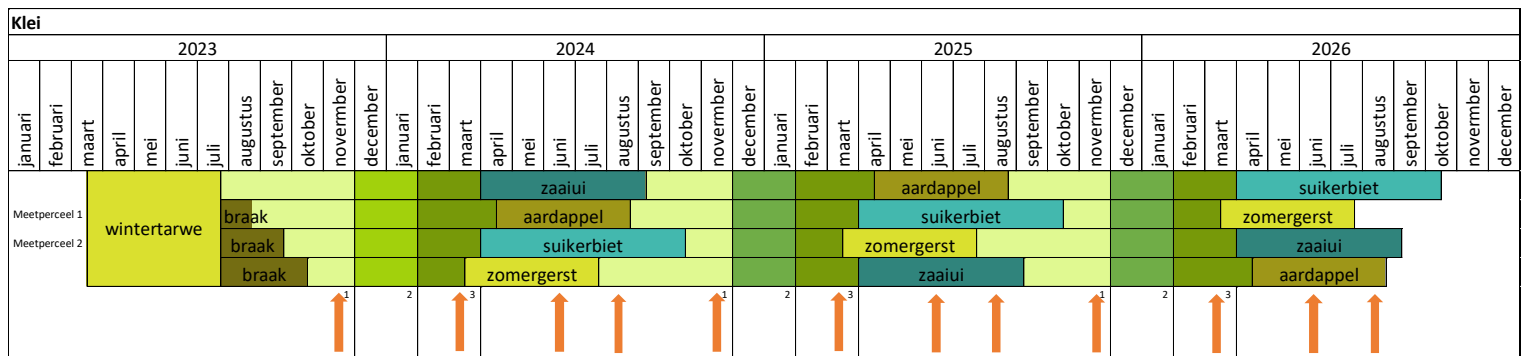
6.1.2 Gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en groenbemesters

De gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en de groenbemesters wordt tijdens het seizoen gevolgd door met een drone opnames van de percelen te maken. Aurea Imaging voert deze drone waarnemingen uit. De foto's kunnen voor veel doeleinden gebruikt worden, zoals opvallende afwijkingen in bijvoorbeeld kleur en grondbedekking herkennen, maar ook hoogte, biomassa en nutriënt inhoud kunnen geschat worden. Ook kan het helpen om de ontwikkeling van onkruiden en resten van groenbemesters te monitoren. In de bietenteelt vindt een uitgebreidere monitoring plaats, uitgevoerd door IRS.

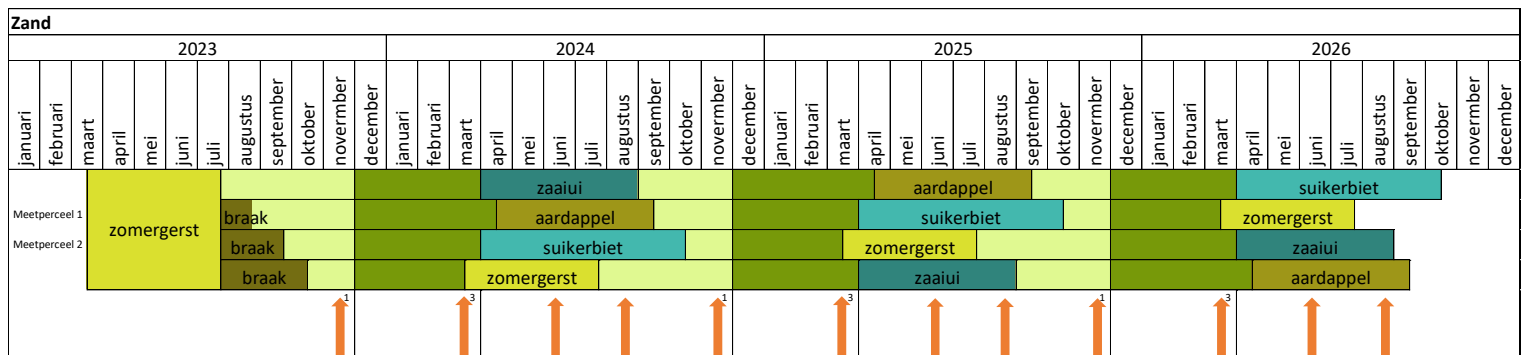
Naast de drone beelden wordt tweewekelijks een visuele scouting uitgevoerd, waarin specifiek gefocust wordt op onregelmatigheden en afwijkingen. Deze worden genoteerd in het logboek.

Meetmomenten

De gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en de groenbemesters wordt gedurende het jaar vier keer in beeld gebracht met dronebeelden op beide locaties (**Figuur 16** en **Figuur 17**). Deze 4 momenten vinden verspreid over het seizoen plaats, om zowel de ontwikkeling van de groenbemesters als de hoofdgewassen in beeld te brengen. Moment 1 zal zijn voor inwerkmoment 3, dus in februari/maart. Moment 2 is in juni, wanneer alle hoofdgewassen op het perceel opgekomen zijn. Moment 3 is in augustus, rondom het eerste inzaaimoment van de groenbemesters, waarop drie van de vier hoofdgewassen nog op het perceel staan. Het vierde en laatste moment is in november, voor inwerkmoment 1. Met het maken van deze drone beelden wordt begonnen in het groenbemesterseizoen van 2023-2024 en eindig na de teelt van de hoofdgewassen in 2026.



Figuur 16. Momenten waarop de gewasontwikkeling op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 17. Momenten waarop de gewasontwikkeling op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Per 'vak' wordt er met een drone een foto gemaakt. Elk veldje binnen de proef kan hiermee beoordeeld worden. De gewasontwikkeling van de hoofdgewassen en de groenbemesters wordt dus voor alle grondbewerkingen, inwerkmomenten en groenbemestertypen bepaald (**Tabel 10**).

Tabel 10. Overzicht van objecten waarin de gewasontwikkeling gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026		Aardappel	NKG 2	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel Braak
2024	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026		Aardappel	NKG 1	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel Braak

6.1.3 Gewasopbrengsten en gewaskwaliteit

Gewasopbrengst en -kwaliteit wordt aan het einde van het seizoen bepaald. Per gewas, en soms ook locatie, gaat dit op een andere manier; passend bij de teelt van dat gewas en de aanwezige machines. Voor de gewasopbrengst wordt bijvoorbeeld een bepaald oppervlak in m² of in rijen/ruggen geoogst. Dit kan omgerekend worden naar een opbrengst per hectare. Ook de parameters voor gewaskwaliteit verschillen per gewas, zoals suikergehalte voor bieten en duizendkorrelgewicht voor graan. Hieronder per gewas een omschrijving van de methode en kwaliteitsparameters.

Graan: Machinale oogst met een proefveldcombine waarbij op een breedte van 1,5 meter over 6 meter in de lengte geoogst wordt. Het totaal geoogste oppervalk is 9m². Hiervan wordt het vochtgehalte, hectolitergewicht en duizendkorrel gewicht bepaald.

Zaaiui Vredepeel: Handoogst waarbij op een breedte van 1,5 meter over een lengte van 2 meter geroid wordt. Het totaal geoogste oppervalk is 3m². Hiervan wordt de maatsortering en de kwaliteit bepaald.

Zaaiui Lelystad: Machinale oogst waarbij op een breedte van 1,5 meter over een lengte van 6 meter geroid wordt. Het totaal geoogste oppervalk is 9m². Hiervan wordt de maatsortering en de kwaliteit bepaald.

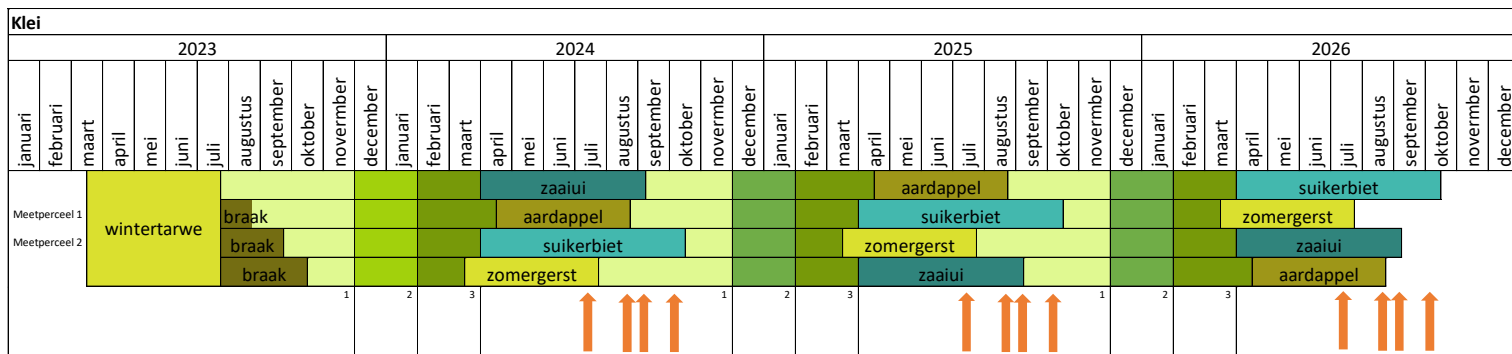
Aardappel Vredepeel: Handoogst waarbij de aardappels uit 2 ruggen (breedte van 1.5 meter) van 2 strekkende meter geroid worden. Het totaal geoogste oppervalk is 3m². Hiervan wordt maatsortering en kwaliteit bepaald.

Aardappel Lelystad: Machinale oogst waarbij op een breedte van 1,5 meter over een lengte van 6 meter geroid wordt. Het totaal geoogste oppervalk is 9m². Hiervan wordt maatsortering en kwaliteit bepaald.

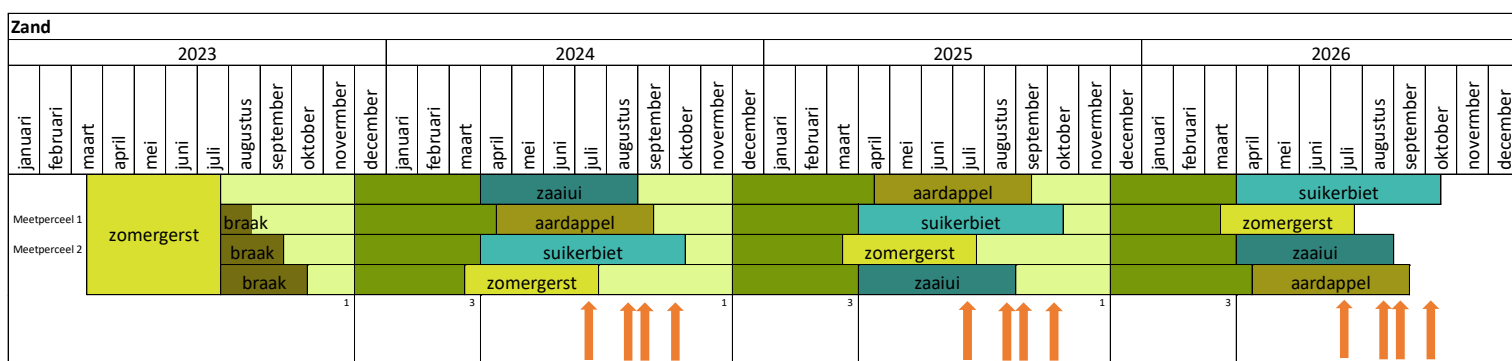
Suikerbiet: Oogstbepalingen voor de suikerbieten worden uitgevoerd door IRS. Per veldje wordt ook de kwaliteit (suikergehalte en winbaarheid) bepaald.

Meetmomenten

Van alle gewassen worden elk jaar gewasmonsters genomen om de opbrengst en kwaliteit te bepalen, zie **Figuur 18** en **Figuur 19**.



Figuur 18. Momenten waarop de gewasopbrengst en gewaskwaliteit op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 19. Momenten waarop de gewasopbrengst en gewaskwaliteit op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

In elk veldje binnen de proef wordt een gewasmonster genomen. De gewasopbrengst en gewaskwaliteit van de hoofdgewassen wordt dus voor alle grondbewerkingen, inwerkmomenten en groenbemestertypen bepaald (**Tabel 11**).

Tabel 11. Overzicht van objecten waarin de gewasopbrengst en gewaskwaliteit gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026		Aardappel	NKG 2	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak
2024	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026		Aardappel	NKG 1	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

6.2 WP 2 – Gezonde teeltsystemen

6.2.1 Opbouw van bodeminsectenplagen

Plantwegval en gewasstand worden beoordeeld volgens de gangbare procedures van IRS in het gewas suikerbieten. Samenvattend worden onderstaande beoordelingen uitgevoerd; enkele metingen worden alleen uitgevoerd indien symptomen zichtbaar zijn.

De beoordeling van de plantwegval zal jaarlijks plaatsvinden op de kleilocatie (2 momenten) en zandlocatie (1 moment) bij het gewas suikerbiet. Tijdens de opkomst worden planten geteld van alle suikerbietplots op de volgende groeimomenten:

- 50-75% opkomst. Lelystad (optioneel kan bij veel plantwegval nog een telling gedaan worden in het 2 blad stadium (BBCH 10-12))
- 4-8 blad stadium (BBCH 14-18). Lelystad en Vredepeel

Wanneer meer dan 40-50% plantwegval wordt waargenomen in een veldje wordt een grondmonster (SOP 5.4 - opspoelen insecten uit grond) van het desbetreffende veldje genomen en opgespoeld. Hiermee wordt onderzocht welk insect - of eventueel schimmel, nematode - schade aan de bieten heeft veroorzaakt. Alle insecten (plaag en nuttig) uit het monster worden genoteerd.

De gewasstand wordt op de volgende momenten beoordeeld:

- Wanneer bieten het 6- tot 8-blad stadium hebben bereikt, wordt de gewasstand bepaald in de netto veldjes op een schaal van 1 (dood) tot 10 (zeer vitaal) in beide locaties. Ook wordt gekeken naar aanwezigheid van onregelmatige stukken, bijv. natte plekken etc.
- Rond de tijd dat het gewas sluit, wordt op beide locaties een beoordeling gewassluiting gedaan op een schaal van 1 (open) tot 10 (gesloten).
- Vanaf 2 weken voor oogst wordt op beide locaties een laatste beoordeling gedaan op bijzonderheden (vergelingsziekte, ernstige bladschimmel aantasting, koprot etc.).

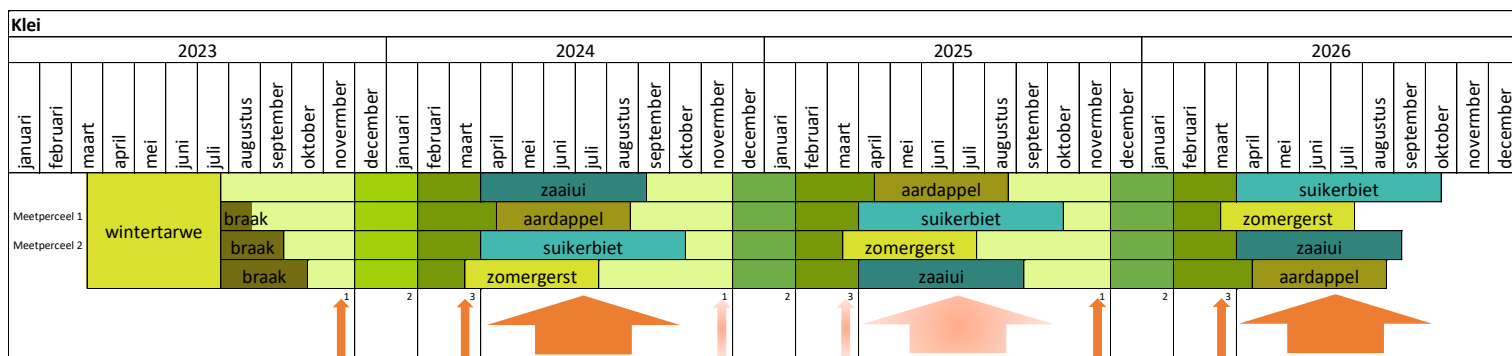
Indien bladluizen of andere bovengrondse insecten in hoge aantallen worden waargenomen, wordt (alleen in Lelystad) een waarneming gedaan op aantal insecten per plant en aantal planten met bovengrondse schade.

In het 2-4 blad stadium en het 6-8 blad stadium wordt optioneel fytoxiciteit beoordeeld. Het aantal planten met fytotoxsymptomen wordt geteld en de ernst per veldje (0= geen symptomen; 10= alle planten dood) genoteerd. Indien fytotox wordt waargenomen worden foto's van de planten gemaakt en de soort schade beschreven (bijv. geel verkleuring, dood weefsel, misvormde groei, lange bladstelen, etc.).

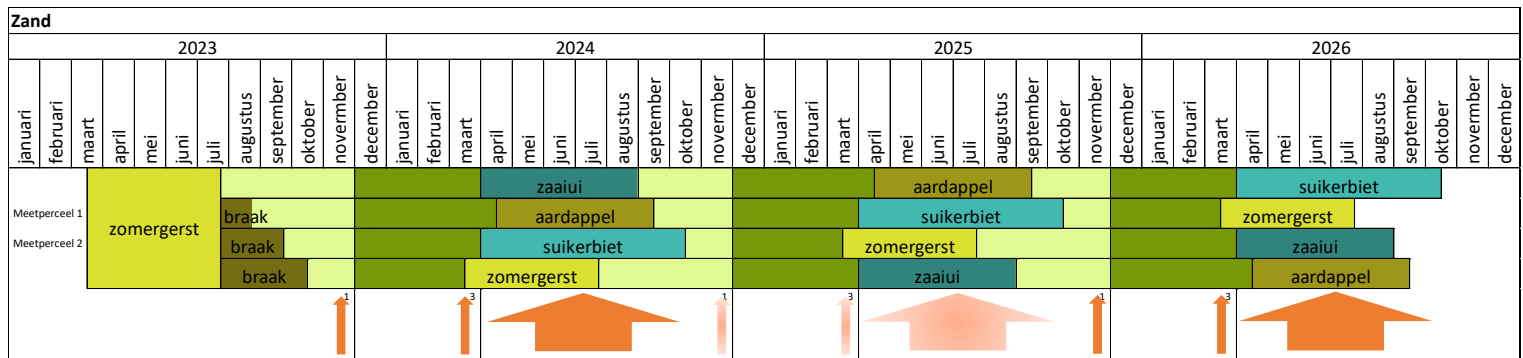
Per jaar worden voor de zaai van de bieten T0 monsters genomen op het proefveldom een beginanalyse van de bodem te hebben met de aanwezig bodeminsecten. Deze grond wordt opgespoeld in het lab van IRS in Dinteloord.

Meetmomenten

Plantwegval en bodeminsecten worden op beide locaties door IRS bemonsterd in het hoofdgewas suikerbiet in 2024 en 2026, en indien mogelijk ook in 2025 (**Figuur 20** en **Figuur 21**).



Figuur 20. Momenten waarop bodeminsecten en plantwegval in de suikerbiet op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 21. Momenten waarop bodeminsecten en plantwegval in de suikerbiet op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Het opvolgen van de schade door bodemplaginsecten door IRS zal op beide locaties worden uitgevoerd, waarbij de nadruk op de kleilocatie ligt omdat hier de grootste effecten worden verwacht. IRS beoordeelt de wegval in de plots waar in dat jaar suikerbiet wordt verbouwd (**Tabel 12**). Er wordt in alle objecten met de verschillende inwerkmethodes en -momenten gemeten en in alle groenbemesterobjecten.

Tabel 12. Overzicht van objecten waarin de bodeminsecten en plantwegval gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Suikerbiet	Ploegen 1	Grasachtige
(2025)			Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026			NKG 2	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak
2024	Zand	Suikerbiet	Ploegen 1	Grasachtige
(2025)			Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026			NKG 1	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak

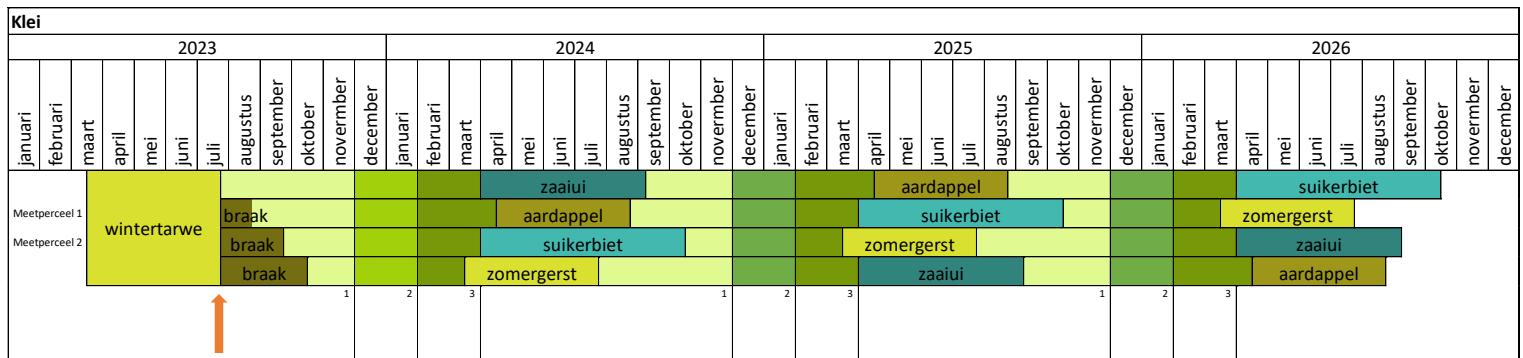
6.2.2 Opbouw van plantenparasitaire en milieuaaltjes

Plantenparasitaire en milieuaaltjes worden enkel op de zandgrond bemonsterd. Bij de plantenparasitaire aaltjes ligt de focus op met name de opbouw van *Pratylenchus penetrans*, *Meloidogyne chitwoodi*, *M. fallax*, *M. hapla* en Trichodoriden. De aaltjes worden op de klassieke wijze, middels microscopie, geïdentificeerd. Milieuaaltjes en plantenparasitaire aaltjes worden beoordeeld zoals beschreven in de WR nematodenlab protocollen protoc.nr.23.5.7. (PPN spoel), 23.5.4.2. (incubatie PPN en milieu), en 23.5.4.1. (spoel milieu).

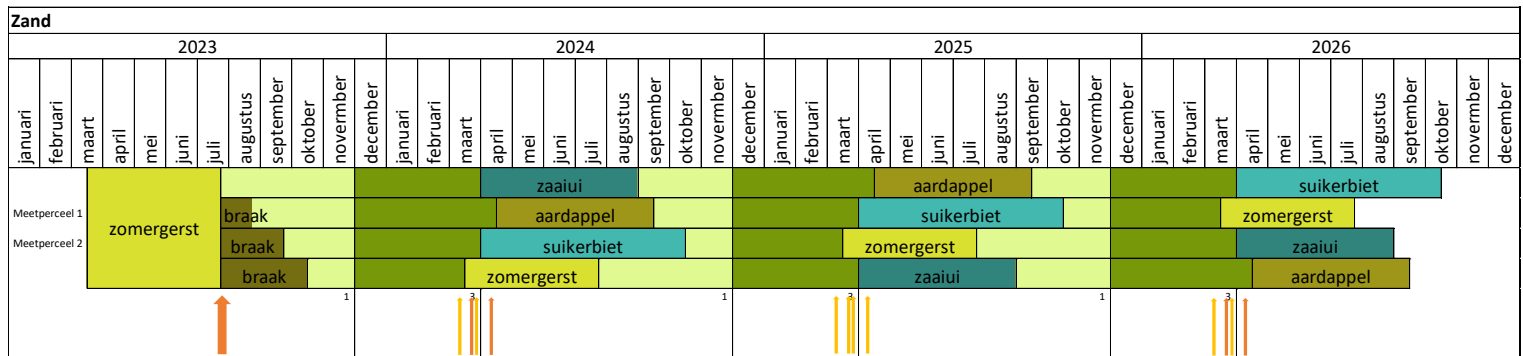
Meetmomenten

Om een beeld te krijgen van de startsituatie zal direct na de oogst van het startgewas (zomergewas/wintertarwe), en voor de inzaai van de groenbesters milieu- en plantenparasitaire aaltjes worden bepaald op beide locaties, in een mengmonster per blok (2*3 monsters in totaal; bouwvoordiep, 0-21/23 cm). Dit wordt op zowel de klei- als op de zandlocatie uitgevoerd (**Figuur 22** en **Figuur 23**).

Vervolgens zullen op de zandlocaties in Vredepeel de plantenparasitaire aaltjes jaarlijks bemonsterd en geïdentificeerd worden, terwijl de milieuaaltjes alleen na de eerste en derde ronde groenbesters (2024 en 2026) bemonsterd worden (**Figuur 23**). De aaltjes worden op een vast moment na het inwerken van de groenbesters, en voorafgaand aan de eerste bemesting-/grondbewerking ter voorbereiding van het zaaien van de hoofdgewassen bemonsterd. Dit moment zal dus verschillen voor de vier hoofdgewassen. Indien beide typen aaltjes worden bemonsterd worden de grondmonsters tegelijk genomen en wordt het goed gehomogeniseerde bulkmonster per plot opgesplitst.



Figuur 22. Moment waarop de plantenparasitaire en milieuaaltjes op de kleilocatie gemeten worden.



Figuur 23. Momenten waarop de plantenparasitaire en milieuaaltjes op de zandlocatie gemeten worden. Oranje pijlen = zowel plantenparasitaire als milieuaaltjes worden gemeten. Gele pijlen = alleen plantenparasitaire aaltjes worden gemeten.

Objecten waarin gemeten wordt

Milieu- en plantenparasitaire aaltjes worden voornamelijk op de zandlocatie bemonsterd; op de kleilocatie wordt wel de startsituatie gemeten in 2023. De plantenparasitaire aaltjes worden in alle objecten met de verschillende inwerkmethodes en -momenten gemeten en in alle groenbemesterobjecten (**Tabel 13**). De milieuaaltjes worden in 2 van de 4 gewas/jaar combinaties gevolgd: in de gewas/jaar combinatie die in 2024 begint met aardappel (aardappel>suikerbiet>zomergerst) en in de gewas/jaar combinatie die in 2024 begint met suikerbiet (suikerbiet>zomergerst>zaaiui) (**Tabel 14**). Deze twee gewas/jaar combinaties zijn gekozen omdat hiermee de langste en kortste groenbemestergroeiperiode worden bemonsterd in het laatste jaar.

Tabel 13. Overzicht van objecten waarin plantenparasitaire aaltjes gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei			
	Zand		Mengmonster per blok	
2024	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026		Aardappel	NKG 1	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

Tabel 14. Overzicht van objecten waarin milieuaaltjes gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei			
	Zand		Mengmonster per blok	
2024	Zand	Aardappel	Ploegen 1	Grasachtige
		Suikerbiet	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
			NKG 1	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak
2026	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
			NKG 1	Vlinderbloemige

6.2.3 Opbouw en detectie van pathogene bodemschimmels

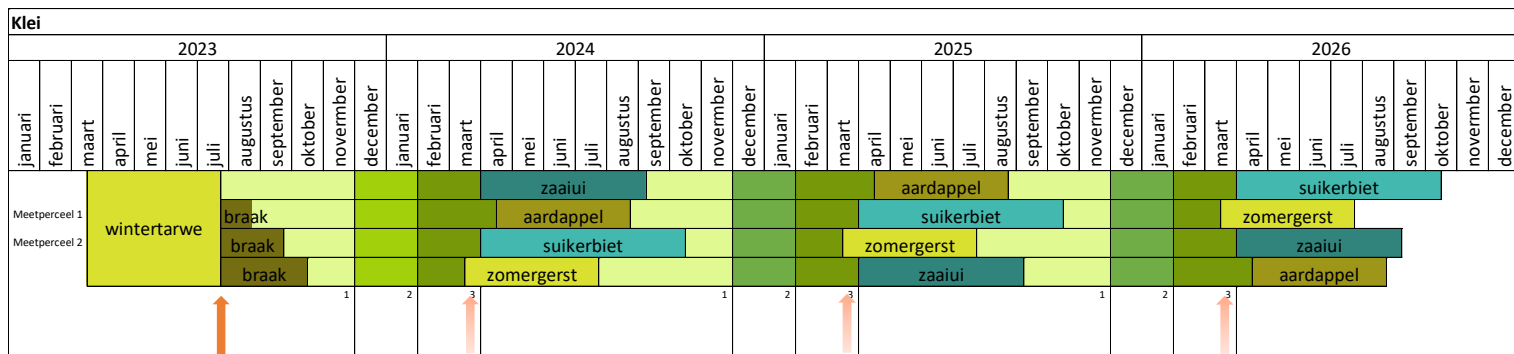
De nadruk ligt bij de detectie van pathogene bodemschimmels op het kwantificeren van de doelsoorten *Rhizoctonia solani* AG3-PT, AG2-1, AG2-2IIIB, *Verticillium dahliae*, waarvoor kwantitatieve DNA technieken beschikbaar zijn (Postma & Lombaers 2023).

Schimmel	Waardplant
R. solani AG2-1	koolachtige
R. solani AG2-2IIIB	o.a. suikerbiet, wortel, mais
R. solani AG3-PT	aardappel
V. dahliae	div. gewassen, aardappel

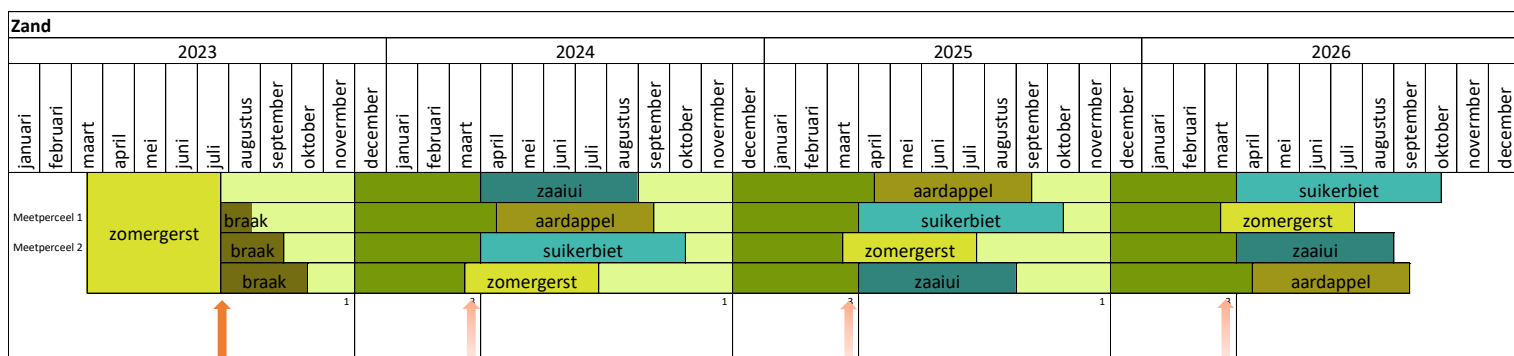
Voor de T0 bemonstering worden per blok 40 steken (0-20 cm) genomen. Het bulkmonster moet koud (5C) bewaard worden tot aankomst bij het lab in Wageningen, Biointeracties en Plant Health. De grondmonsters die niet in de bio-taqman worden gebruikt kunnen in het lab bij -20C worden bewaard. Q-PCR wordt uitgevoerd zoals in PPS Beter Bodembeheer en Uireka (Postma & Lombaers 2023).

Meetmomenten

Om een beeld te krijgen van de op de zand- en kleilocaties aanwezige pathogene bodemschimmels zal direct na de oogst van het startgewas (zomergerst/winterarwe), en voor de inzaai van de groenbemesters een mengmonster per blok worden genomen om dit te bepalen (2*3 monsters). De uitkomsten van deze metingen, in combinatie met ziekteverschijnselen in het veld, zullen later bepalen welke monsters geanalyseerd gaan worden (**Figuur 24** en **Figuur 25**). Indien uit de startmeting blijkt dat voor Fusarium geen extra opkweekstap nodig is, kunnen bodemmonsters ook jaarlijks worden ingevroren.



Figuur 24. Momenten waarop de pathogene bodemschimmels op de kleilocatie gemeten worden.



Figuur 25. Momenten waarop de pathogene bodemschimmels op de zandlocatie gemeten worden.

Objecten waarin gemeten wordt: T0

Per locatie (klei en zand) wordt er een mengmonster genomen per blok voorafgaand aan zaai van de eerste groenbemesters (**Tabel 15**). Afhankelijk van wat aanwezig is en ziektesymptomen worden verdere selecties gedurende het project gemaakt. De resultaten van deze T0 bemonstering staan in Tabel 1B en 4B.

Tabel 15. Overzicht van objecten waarin pathogene bodemschimmels gemeten wordt.

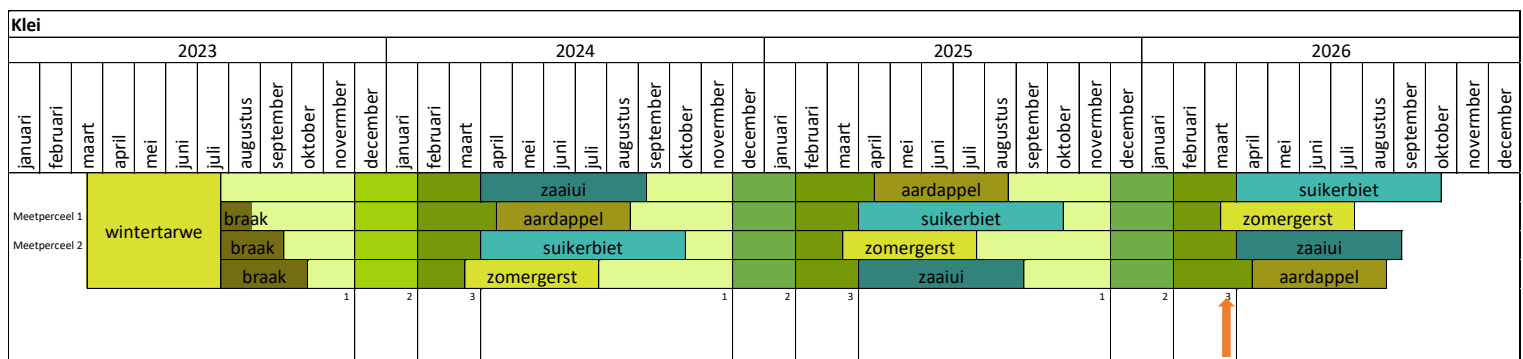
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei Zand		Mengmonster per blok	
2024				
2025			?	
2026				

6.2.4 Bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking

Het toetsen van de generalistische ziekteverwering wordt bepaald door in potproeven een bekende ziekteverwekker aan de grond toe te voegen, waarop daarna een vatbaar gewas gezaaid wordt. Vervolgens wordt er gekeken naar het percentage planten dat ziek wordt. De opbouw van algemene ziekteverwering zal getoetst worden op de kleilocatie met de gestandaardiseerde biotoets met tuinkers en het pathogeen *Pythium ultimum* (Bongiorno et al., 2019). De kleilocatie is geselecteerd omdat hier eerder ziekteverwering opbouwde.

Meetmomenten

Omdat de opbouw van ziekteverwering gebruikelijk tijd nodig heeft om op te bouwen wordt ziekteverwering enkel getoetst in het laatste jaar na de teelt van de derde ronde groenbemesters (2026), zie **Figuur 26**.



Figuur 26. Moment waarop de bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking op de kleilocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Het streven is om alle plots (van de kleilocatie) te bemonsteren en mee te nemen in de biotoets (**Tabel 16**). Indien dat niet budgettair mogelijk is zal de nadruk liggen op inwerkmethode.

Tabel 16. Overzicht van objecten waarin bodemweerbaarheid en ziekteonderdrukking gemeten wordt.

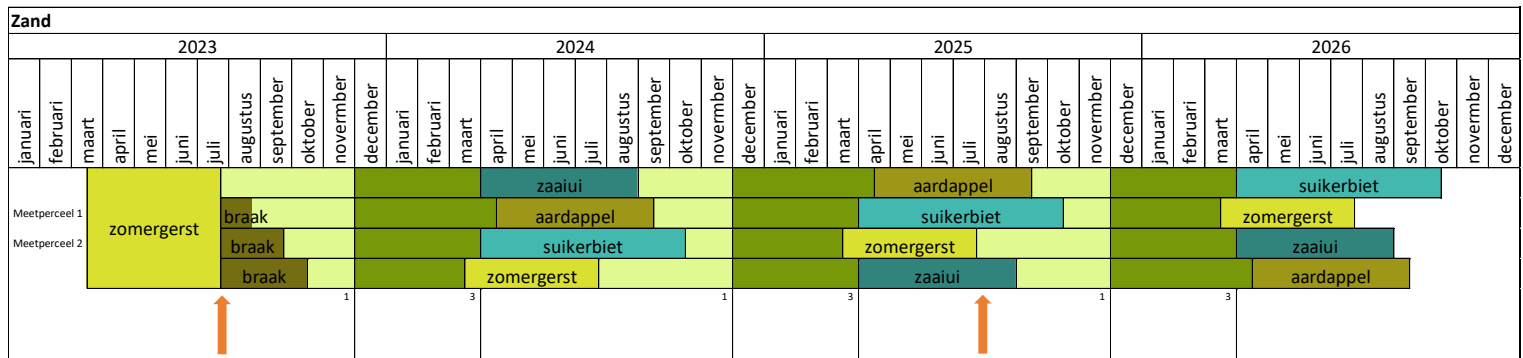
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2026	Klei	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
		Zaaiui	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
		Aardappel	NKG 2	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

6.2.5 Onkruidbeheersing

Het verloop van de onkruiddruk kan op twee manieren worden gemeten, namelijk door middel van visuele waarnemingen tijdens de groei van de gewassen en een bepaling van de aanwezige zaden in de zaadbank. Een visuele beoordeling geeft een impressie van de druk op dat moment, terwijl een zaadbankanalyse meer informatie geeft over de potentiële onkruiddruk. Visuele waarnemingen van het aanwezige onkruid worden uitgevoerd als onderdeel van de waarnemingen binnen WP1. In WP2 zal een zaadbankanalyse worden uitgevoerd volgens 'Protocol onkruidzaadbankbepaling' (bemonstering gelijktijdig met nematoden bulk bodemonmonster; bouwvoordiep, 0-21/23 cm), beschreven door T. Sprangers.

Meetmomenten

Onkruiddruk wordt alleen op de zandlocatie gevolgd, gezien onkruiddruk hier een grotere uitdaging is. Om een beeld te krijgen van de startsituatie zal na de oogst van het startgewas (zomergerst), en voor de inzaai van de groenbemesters de onkruiddruk worden bepaald middels een zaadbankanalyse. Deze zal worden uitgevoerd op de zandlocatie in de gewasblokken waar zomergerst zal staan in 2025, zodat de zaadbank analyse altijd na hetzelfde gewas plaatsvindt. Monsters worden genomen per plot voor de 4 inwerkmethoden/momenten en 4 groenbemestersoorten (geen braak). De braakbehandeling wordt niet bemonsterd omdat hier een afwijkende onkruidbestrijding zal plaatsvinden, om de plots braak te houden. Om de opbouw van onkruiddruk te meten worden in 2025, in dezelfde maand als in 2023, wederom deze plots bemonsterd (**Figuur 27**).



Figuur 27. Momenten waarop de onkruiddruk op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

De verwachting is dat de effecten van groenbemesters op onkruidbeheersing op zullen bouwen in de loop van de jaren en dat deze het grootst zijn op de zandlocatie, omdat daar de onkruiddruk hoger is dan op klei. Daarom wordt er op de zandlocatie een zaadbank nulmeting gedaan in 2023 en wordt er in 2025 weer gemeten. Om de hoofdvragen over timing en inwerkmethode te kunnen beantwoorden zal in alle objecten met de verschillende inwerkmethodes en -momenten gemeten worden en in alle groenbemesterobjecten (**Tabel 17**).

Tabel 17. Overzicht van objecten waarin onkruiddruk gemeten wordt.

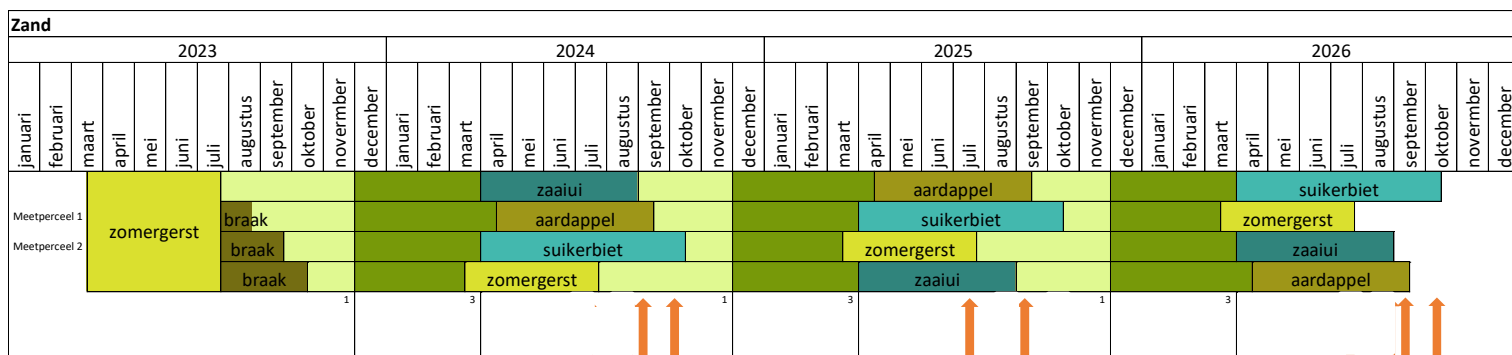
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025			Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
			NKG 1	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak

6.3 WP 3 – Kringlooplandbouw m.b.t. koolstof en nutriënten

6.3.1 Recovery rate

De recovery rate (R_c) wordt berekend door de inhoud van het hoofdgewas na de teelt van een groenbemester te vergelijken met de inhoud van het hoofdgewas waar geen groenbemester vooraf gegaan is (Vos & van der Putten, 2001). In een formule voor stikstof is dat als volgt: $R_c = (NP_{cc} - NP_0) / NC$. Waarbij NP_{cc} de N opname door het hoofdgewas na een groenbemester is. NP_0 is de N opname van het hoofdgewas zonder teelt van een groenbemester en NC is de hoeveelheid stikstof die met de groenbemester is ondergewerkt. Bij een optimale bemesting van het gewas zal het meetbare effect beperkt zijn. Idealiter zou je een onbemest object willen meten, zodat je de maximale/potentiële overdracht van een groenbemester op het volggewas kan vaststellen en een eventuele korting op de N bemesting inzichtelijk maakt. Op basis van de huidige proef (zonder onbemeste objecten) zou een mogelijke N-korting echter onderschat worden. Het experiment leent zich dus niet voor het vaststellen van de potentiële overdracht, in deze systeemproof zal de huidige (onder praktijkomstandigheden) overdracht in beeld worden gebracht. De recovery rate geeft dus aan hoeveel stikstof er, door de teelt met een (bemeste) groenbemester, wordt doorgegeven aan de hoofdteelt. De berekening kan sowieso gemaakt worden, omdat de benodigde data ook voor andere doeleinden wordt verzameld. Het is daarbij van belang te noemen dat het om de daadwerkelijke overdracht gaat en niet de potentiële N korting. Bovendien is de bemesting van de hoofdgewassen op klei niet voor elk object gelijk (zie **Tabel 8**), het berekenen van de recovery rate is dan niet zinvol. De recovery rate wordt daarom alleen bepaald voor het experiment op zand (**Figuur 28** en **Tabel 18**).

Meetmomenten



Figuur 28. Momenten waarop de stikstof inhoud van de hoofdgewassen op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Tabel 18. Overzicht van objecten waarin de stikstof inhoud van de hoofdgewassen gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige/Tagetes
2026		Aardappel	NKG 1	Vlinderbloemige
		Suikerbiet	NKG 3	Breed mengsel
				Braak

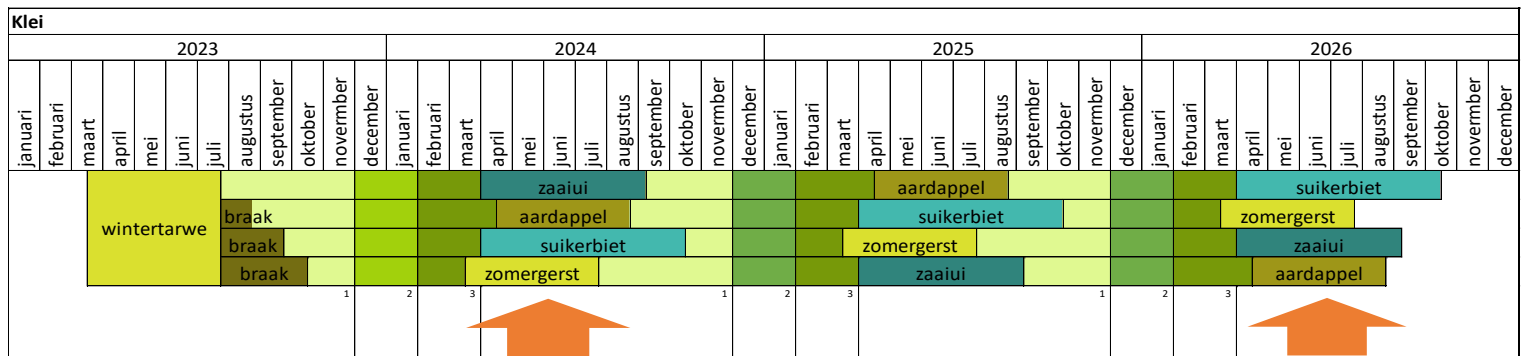
6.3.2 Stikstofmineralisatie gedurende het seizoen

De N mineralisatie wordt onder veldomstandigheden gemeten. Vos en van der Putten (2001) hebben dit gedaan door plastic cilinders van 40cm met een diameter van 7cm in te graven waarbij de bovenste 5 cm boven het maaiveld uitsteekt. Er zit een gaatje in zodat er lucht bij kan, en een deksel om inval van regen te voorkomen. N_{min} wordt gemeten bij het ingraven en daaropvolgende momenten met een interval van 4 weken. Het verschil in N_{min} geeft aan hoeveel er gemineraliseerd is. Om het effect van groenbemesterresten vast te stellen, dient er zowel een monster van een braakveld als van een groenbemesterteelt geanalyseerd te worden. Het is zinvol om zo lang mogelijk te meten, daarbij wordt zowel de mineralisatie aan het begin van het seizoen (kritische periode) zichtbaar, als richting het einde van het seizoen wanneer het gewas geen stikstof meer opneemt (ontijdige mineralisatie). Omdat de cilinders gewasopname voorkomen, zijn de meetgegevens ook representatief voor andere teelten. N mineralisatie metingen zijn kostbaar en arbeidsintensief en daarom is het niet mogelijk om elk object elk jaar te bemeten.

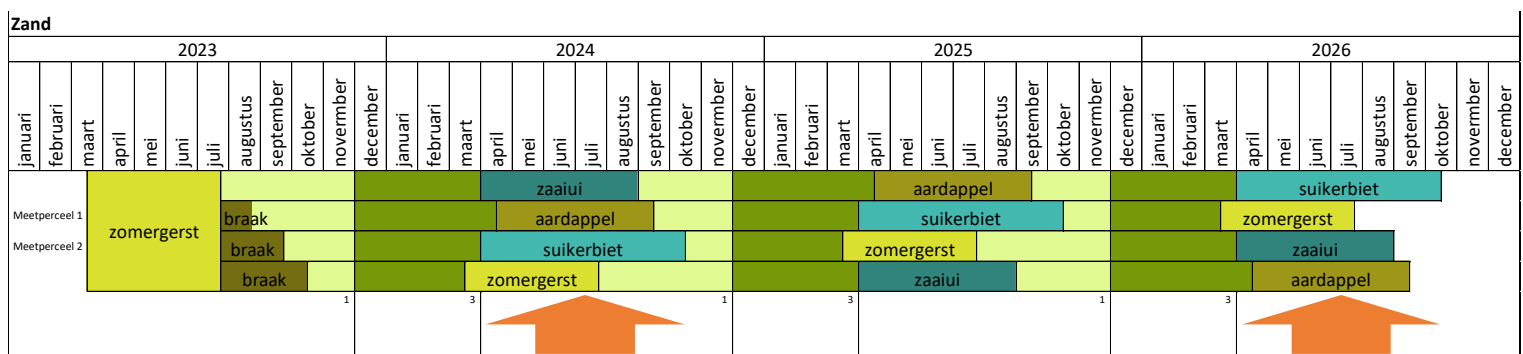
Meetmomenten

Wat betreft het zaaitijdstip wordt er gekozen voor twee percelen: bieten en uien (**Figuur 29** en **Figuur 30**). De bieten komen na de groenbemester die zijn ingezaaid half augustus (na aardappel) en de uien na de groenbemester die is ingezaaid in juli (na zomergerst). Daarmee wordt een spreiding in inzaaimoment verkregen. Hoewel N mineralisatie uit de groenbemesters in het vroege voorjaar relevant is voor zomergerst, wordt er niet voor gekozen om de N mineralisatie gedurende de teelt van de zomergerst te meten. Dit omdat de zomergerst na de bieten in de rotatie komt, en er door een beperkte groei van de groenbemester weinig effect kan worden verwacht. Daarnaast past het ingraven van cilinders praktisch gezien beter in de teelt van uien en suikerbieten dan bij aardappelen. Bovendien kan in deze teelten, met name in de bieten door het vroege zaaitijdstip en late oogsttijdstip, over een lange periode worden gemeten en kan het mineralisatiepatroon over een groot deel van het jaar worden vastgesteld. De cilinders kunnen pas worden geplaatst na zaaien of poten en moeten zijn verwijderd bij de oogst. Als dit mineralisatiepatroon is vastgesteld, kan daaruit ook worden afgeleid hoeveel stikstof er mineraliseert in het vroege voorjaar t.b.v. zomergerst. Voor de proef op de kleilocatie is er besloten enkel in de zaaiui te meten, aangezien de groenbemesterteelt voorafgaand aan de suikerbiet dermate weinig stikstof had opgenomen dat de mineralisatie daarvan lastig meetbaar zou zijn.

Bij de hoofdteelt van 2024 gaat het om eerstejaars stikstofwerking (groenbemesters gezaaid in 2023). Deze eerstejaars werking is interessant om in beeld te krijgen. In de jaren daaropvolgend ontstaat er accumulatie in de stikstofmineralisatie uit groenbemesters. Er wordt voor gekozen om de metingen te herhalen in 2026, waarbij accumulatie wordt gemeten van drie groenbemesterteelten.



Figuur 29. Momenten waarop de N mineralisatie in de zaaiui en de suikerbiet op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 30. Momenten waarop de N mineralisatie in de zaaiui en de suikerbiet op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Het is kostentechnisch niet mogelijk om alle objecten elk jaar in elk gewas te bemonsteren op beide locaties. Er is daarom een selectie gemaakt. Vanuit de andere werkpakketten is er gekozen voor twee meetpercelen, deze lijn wordt gevolgd (**Tabel 19**).

Inwerkmoment en grondbewerking

Wanneer er winterharde groenbemesters worden geteeld wordt er een relatief groot effect verwacht van het inwerkmoment. Dit omdat een later inwerkmoment het langer vasthouden van nutriënten in de biomassa en mogelijk een langere groeiperiode betekent. Voorafgaand aan de teelt van uien en suikerbieten wordt er geen winterharde groenbemester geteeld. Afhankelijk van het moment dat de groenbemester afsterft door vorst, is het verschil in de groeiperiode tussen de inwerkmomenten beperkt. Wel kan er verschil optreden in vertering tussen groenbemesterresten die zijn ingewerkt en groenbemesterresten die op de bodem liggen. De verwachting is dat ingewerkte resten sneller zullen verteren en stikstof uit resten die op de bodem blijven liggen bijvoorbeeld sneller kunnen vervluchtigen (de Ruijter & Smit, 2007), waardoor een verschil ontstaat in de stikstof die mineraliseert en beschikbaar komt voor het volggewas. Omdat hier weinig van bekend is, is besloten om N mineralisatiemetingen bij twee verschillende inwerkmomenten te meten. Op zand wordt dit bij één groenbemester gedaan, hier wordt een verschil tussen ploegen bij twee inwerkmomenten te meten. Op klei zijn inwerkmoment en -methode verstrengeld. Hier wordt gemeten aan ploegen voor de winter en NKG na de winter. Bij NKG blijven gewasresten doorgaans in de bovengrond, wat de stikstofmineralisatie kan beïnvloeden.

Groenbemesters

De totale opname van stikstof door de groenbemesters, en daarmee het type groenbemester, is van grote invloed op de hoeveelheid stikstof die vrijkomt gedurende het groeiseizoen (Vos & van der Putten 2001). Er wordt daarom gekozen om verschillende groenbemester objecten te meten. Op zand wordt er in de zaaiui gemeten aan de Japanse haver en braak. Mengsels zijn hier minder interessant gezien de aaltjessituatie, en de vlinderbloemigen zijn hier niet interessant omdat deze in 2023 een ruime bemesting hebben ontvangen, waardoor de uitkomsten niet realistisch zullen zijn. In 2026 zal er in de zaaiui wel na de vlinderbloemigen worden gemeten. In de suikerbiet wordt gemeten na kruisbloemigen (bladrammenas), gras (winterrogge) en braak. Op klei wordt er in de zaaiui gemeten na de kruisbloemigen (bladrammenas), vlinderbloemigen (wikke) en braak. Een overzicht staat in **Tabel 19**. Het doel is om deze metingen in 2026 te herhalen. De resultaten van 2024 zullen eerst geëvalueerd worden voordat definitief wordt besloten deze methode in 2026 toe te passen.

Tabel 19. Overzicht van objecten waarin de N mineralisatie gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Kruisbloemige
2026			NKG 2	Vlinderbloemige Braak
2024	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2026			Ploegen 3	Braak
2024	Zand	Suikerbiet	Ploegen 1	Grasachtige
2026			Ploegen 3	Kruisbloemige Braak

6.3.3 Nutriëntenbalans

Een vereenvoudigde nutriëntbalans is te berekenen door de afvoer van het veld af te trekken van de aanvoer. De afvoer bestaat uit het geogste product. De aanvoer bestaat uit de totale aanvoer via meststoffen (minus ammoniakvervluchtigingsverlies), depositie en N-binding door vlinderbloemigen. N-vastlegging door de groenbemesters en N-mineralisatie uit de ingewerkte groenbemesters zitten niet in de balans; want dit is geen afvoerpost van het perceel noch een aanvoerpost naar het perceel. Om toch inzicht te krijgen in de vermindering van het risico op uitspoelingsverlies door de groenbemesters in de winterperiode, wordt de tijdelijke vastlegging door de groenbemesters in mindering gebracht op het berekende overschot. Gewasresten zullen niet apart geanalyseerd worden. Voor de nutriëntenbalans zullen de volgende bepalingen gedaan moeten worden:

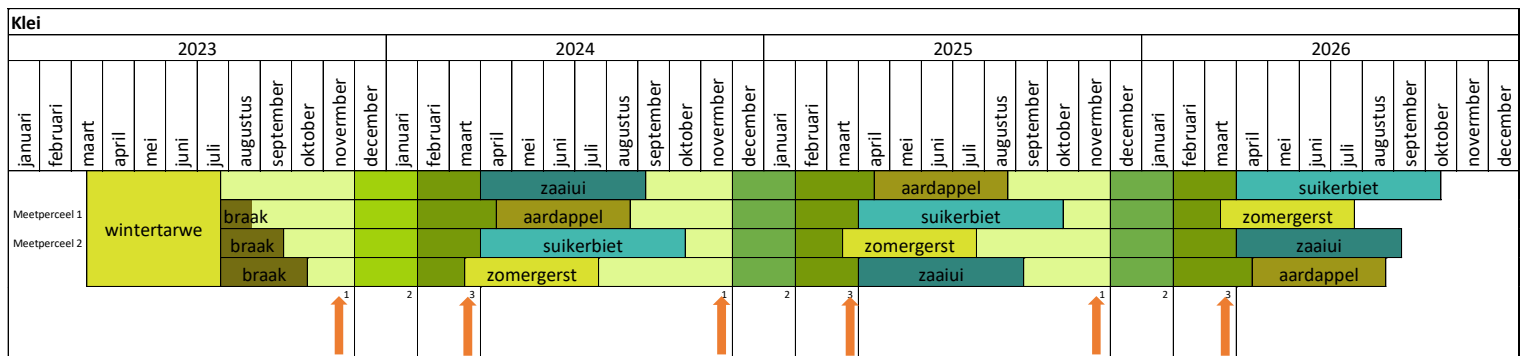
- Biomassa groenbemester (boven- en ondergronds)
- Biomassa geogste product
- N inhoud groenbemester (boven- en ondergronds)
- N inhoud geogste product

De bovengrondse biomassa wordt bepaald door een raamwerk van 0,25m² in het groenbemesterobject te plaatsen en de bovengrondse biomassa op 1-3cm boven de grond af te knippen. Deze biomassa wordt gewogen en in 48 uur gedroogd bij 70 graden. De monsters worden gemalen op 1mm en geanalyseerd op de organische stof en stikstofinhoud.

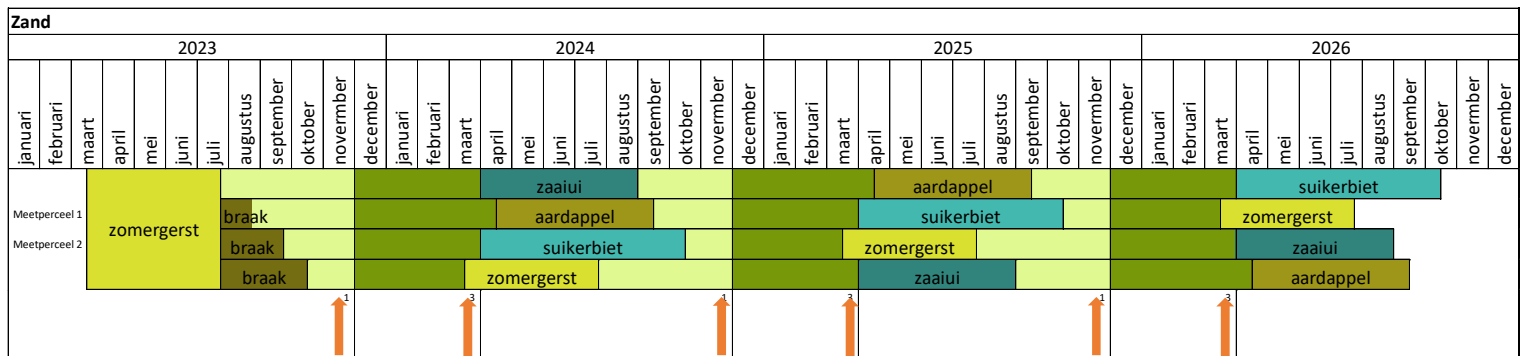
De ondergrondse biomassa wordt bepaald door met een wortelboor (0-30cm) op 6 punten te steken, drie keer op het groeipunt van de planten en drie keer tussen de planten. Deze monsters zullen gespoeld worden en de wortels gewogen en gedroogd (48 uur bij 70 graden). Ook van de wortels wordt het organisch stof percentage en de stikstofinhoud bepaald. Bij de monsters uit Lelystad zal nog een bewerking plaatsvinden voorafgaand aan het spoelen. De grondmonsters (incl. wortels) zullen gedroogd worden bij 18 graden gedurende één week. Twee uur voor het wortelspoelen zullen de monsters onder water gezet worden.

Meetmomenten

De biomassa van de groenbemester dient gemeten te worden net voor het afsterven/onderwerken. Dit hangt af van het zaaimoment, het type groenbemester, het moment van onderwerken en het moment van afsterven door vorst. Zie **Figuur 31** en **Figuur 32**.



Figuur 31. Momenten waarop de boven en ondergrondse biomassa en N inhoud van de groenbemesters op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 32. Momenten waarop de boven en ondergrondse biomassa en N inhoud van de groenbemesters op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

De biomassa en de inhoud van groenbemesters worden in 2023, 2024 en 2025 bepaald. De biomassa bepaling en N-opname zijn op zichzelf relevant, maar vooral interessant in combinatie met de N mineralisatie en Nmin (0-90cm) metingen. Er wordt daarom gekozen om aan te sluiten bij de objecten gekozen voor de N mineralisatie en Nmin metingen. Op het moment van meten in het najaar wordt er geen verschil verwacht in de biomassa tussen de grondbewerkingsobjecten, behalve voor de winterharde groenbemesters. Er wordt daarom voor de niet-winterharde groenbemesters alleen gemeten in de objecten 'ploegen 1'. In de winterharde groenbemesters wordt er gemeten bij ploegen(1) en NKG(2), dit overeenkomend met de tijdstippen voor de N mineralisatie. Aanvullend zullen er een aantal extra objecten gemeten worden, dit om het effect van het zaaitijdstip beter in beeld te krijgen. Verder zijn de vlinderbloemigen op zand minder interessant gezien de ruime bemesting (zie 3.3.2). De objecten die gemeten worden zijn weergegeven in **Tabel 20**.

Tabel 20. Overzicht van objecten waarin de boven en ondergrondse biomassa en N inhoud van de groenbemesters gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester	
2023	Klei	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige	
2024				Kruisbloemige	
2025				Vlinderbloemige Breed mengsel	
2023	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Kruisbloemige	
2024				Breed mengsel	
2025					
2023	Klei	Aardappel	Ploegen 1	Grasachtige	
2024				Kruisbloemige	
2025				Breed mengsel	
2023	Klei	Suikerbiet	Ploegen 1	Kruisbloemige	
2024			NKG 2		
2025					
2023	Zand	Zomergerst	Ploegen 1	Grasachtige	
2024		Zaaiui			
2025		Aardappel Suikerbiet			
2023	Zand	Aardappel	NKG 3	Grasachtige	
2024					
2025					
2023	Zand	Suikerbiet	NKG 3	Grasachtige	
2024					Kruisbloemige/Tagetes
2025					

De N opname van de ondergrondse biomassa kan worden afgeleid uit relaties tussen boven en -ondergrondse biomassa. De lijst in Selin Noren et al. (2021) geeft een overzicht van bestaande relaties (Selin Noren et al., 2019). Deze worden aangevuld op basis van groenbemesterproeven van de afgelopen twee jaar. In **Tabel 21** is samengevat wat er nu bekend is.

Tabel 21. Relatie tussen onder- en bovengrondse stikstofopname van groenbemesters.

Groenbemester	Datapunten (#)	Range uptake	shoot:root	N Range uptake	bovengrondse	N Sig.	R2
Japanse haver	72	0-12		10-140		*	0.37
Wikke	4	0.4-1.6		15-40			
Bladrammenas	38	0-20		10-260		*	
Gras	5	0-2.5		10-20			
Tagetes	18	0-4		40-120		*	0.4
Mosterd	15	0-20		25-125		*	
Wintergerst	16	0.2-3.5		7.5-27.5			
Winterrogge	12	0.3-1.6		5-35		*	0.35
Mengsel	55						

Bij gebrek aan geschikte relaties van voederwikke, incarnaatklaver en bladkool zal de ondergrondse biomassa elk jaar bepaald moeten worden. Voor bladrammenas kan de relatie getest worden met data van 2023, later kan besloten worden of een meting in 2024 en 2025 noodzakelijk is. Voor Japanse haver en gele mosterd zal

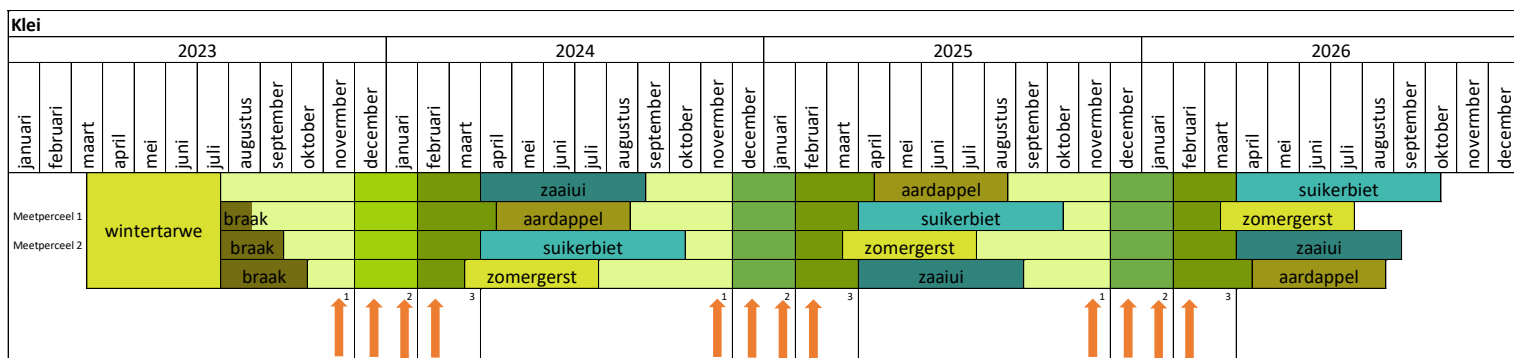
ook de ondergrondse biomassa bepaald worden in 2023, op basis van de resultaten kan besloten worden of dit ook voor 2025 noodzakelijk is.

6.3.4 Stikstof mineraal

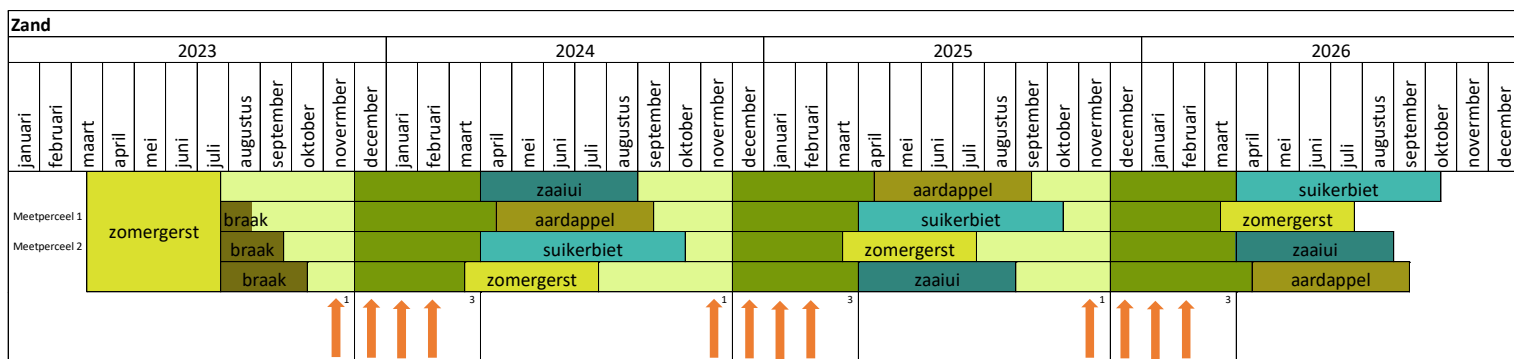
Nmin zal op verschillende momenten in de winter worden gemeten. Er zal met een grondboor of een smalle Edelmanboor (diameter 5 cm) op 8 plekken binnen het object monsters worden verzameld op de diepten 0-30cm, 30-60cm en 60-90cm. Deze wordt per laag gemengd, waaruit een monster wordt genomen voor analyse.

Meetmomenten

De eerste meting zal worden gedaan aan het begin van de winter, voordat de eerste groenbemesters afsterven of ondergewerkt worden. De meting zal in totaal op vier momenten in de winter worden gedaan, met een interval van één maand (**Figuur 33** en **Figuur 34**). Vanuit de partners is aangegeven dit gelijk te trekken met de metingen die nu in praktijkpercelen gedaan worden, eind november. Dit scheelt ongeveer twee weken. Omdat het officiële protocol uitgaat van 1 december, en omdat dit het meest direct aansluit, is er gekozen om vast te houden aan de meting net voordat de eerste groenbemesters worden ondergewerkt. Wanneer er meer duidelijk wordt over de Maatwerk Aanpak, kunnen we overwegen dit te herzien en de meting twee weken naar voren te halen. Daarnaast zal na elke meting beoordeeld worden hoeveel Nmin er in het monster aanwezig is, en in hoeverre een monster op het daaropvolgende moment zinvol is.



Figuur 33. Momenten waarop Nmin op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 34. Momenten waarop Nmin op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin wordt gemeten

Regelmatige Nmin metingen (0-90cm) gedurende de winter geven inzicht in wat er gebeurt met de stikstof opgenomen door de groenbemester, als deze vóór de winter wordt ingewerkt of afsterft. Ook wordt het verschil tussen het wel of niet telen van een groenbemester inzichtelijk. Om stikstof door de tijd te kunnen volgen, wordt gekozen om aan te sluiten bij de objecten van de N mineralisatiemetingen. Zo wordt een tijdreeks verkregen van het verloop van Nmin gedurende de winter en de mineralisatie gedurende de volgteelt.

Er zal gemeten worden voorafgaand aan de teelt van suikerbiet en zaaiui van 2024. De groenbemesters worden dan ingezaaid na graan. Graan laat doorgaans weinig stikstof achter, en daarom is ervoor gekozen de groenbemesters te bemesten. Dit maakt een vergelijking tussen het risico op uitspoeling tussen wel en geen groenbemester lastig. Wel geven de metingen inzicht in hoeveel van deze bemesting wordt opgenomen, en

wat er vervolgens met deze stikstof gebeurt. Nmin metingen zullen elk winterseizoen herhaald worden op twee meetpercelen. Dit zodat er niet enkel na graan en aardappel wordt gemeten, maar ook na zaaiui en suikerbiet. Hiermee kan wel een vergelijking gemaakt worden tussen wel of geen groenbemester.

Er wordt aangesloten bij de objecten van de N mineralisatiemetingen. Voorafgaand aan het uitspoelingsseizoen 2025-2026 wordt er op één van de twee meetpercelen een winterharde groenbemester geteeld, hier wordt het grootste effect verwacht tussen de inwerkmomenten (**Tabel 22**).

Tabel 22. Overzicht van objecten waarin de Nmin gemeten wordt.

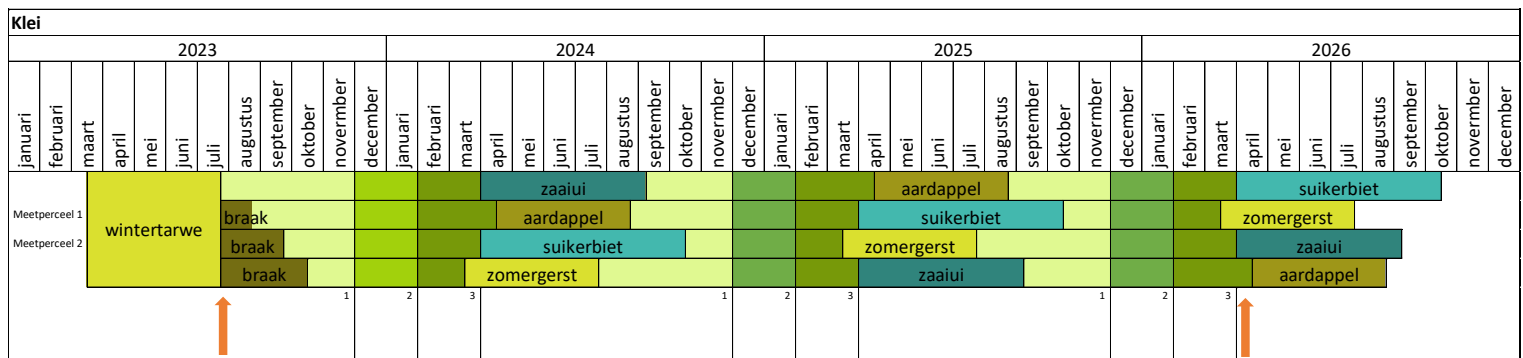
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Kruisbloemige
2026			NKG 2	Vlinderbloemige Braak
2024	Klei	Suikerbiet	Ploegen 1	Grasachtige
2026			NKG 2	Kruisbloemige Braak
2024	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2026			Ploegen 3 NKG 3	Braak
2024	Zand	Suikerbiet	Ploegen 1	Grasachtige
2026			Ploegen 3 NKG 3	Kruisbloemige/Tagetes Braak

6.3.5 Koolstof

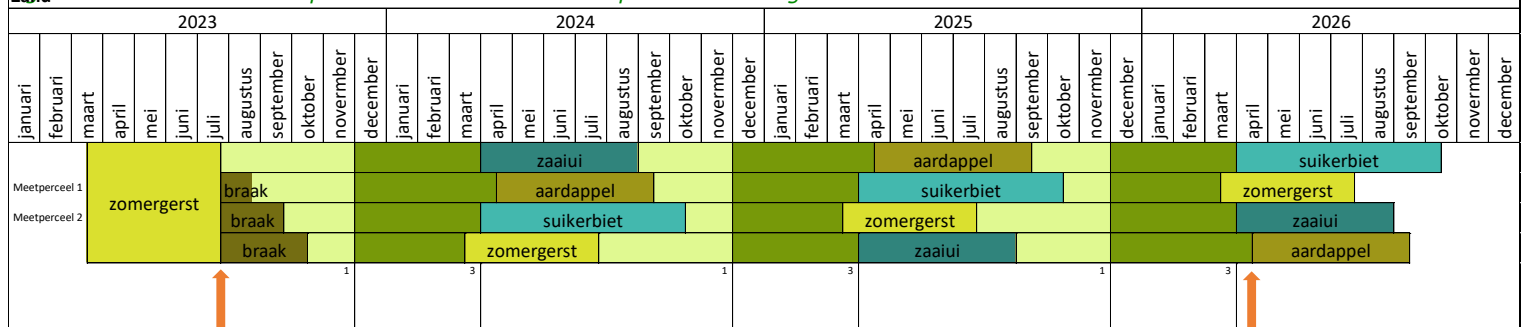
Wat betreft koolstof worden er minimale verschillen verwacht tussen de nulmeting bij de start van het experiment en na vier groenbemesterteelten. Na de oogst van het startgewas (wintertarwe/zomergerst) worden bodemonsters genomen op 0-30 cm. Deze worden voor een algemene bodemvruchtbaarheidsanalyse naar het lab van Eurofins opgestuurd. Hierbij wordt onder andere koolstof en organische stof bepaald. Organische stof wordt zowel met de gloeiverlies methode als met NIRS bepaald. In 2026 wordt deze meting herhaald. Te zijner tijd zal besloten welke objecten dan gemeten zullen worden.

Meetmomenten

Algemene bodemvruchtbaarheid wordt bij de start en aan het einde van het experiment bepaald (**Figuur 35** en **Figuur 36**)



Figuur 35. Momenten waarop de bodemvruchtbaarheid op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 36. Momenten waarop de bodemvruchtbaarheid op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin wordt gemeten

Bij de nulmeting worden de bodemmonsters op beide locaties als mengmonster per vak genomen. In 2026 wordt besloten welke objecten dan bemonsterd worden. Zie **Tabel 23**.

Tabel 23. Overzicht van objecten waarin de bodemvruchtbaarheid gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei	Zomergerst		
	Zand	Zaaiui		
		Aardappel	Mengmonster per vak	
		Suikerbiet		
2026	Klei			
	Zand		n.t.b.	

6.4 WP 4 – Robuuste bodem

In dit werkpakket kunnen de metingen ingedeeld worden in verschillende thema's die bijdragen aan het beantwoorden van verschillende onderzoeksvragen (**Tabel 24**). Effecten m.b.t. resten van de groenbemester, zaaibed en vocht in het hoofdgewas worden elk jaar onderzocht (drie seizoenen), terwijl effecten op de bodemstructuur alleen het eerste en laatste jaar onderzocht worden om eventuele opbouweffecten na drie jaar aan te kunnen tonen.

Tabel 24. Overzicht van welke metingen bijdragen aan het beantwoorden van onderzoeksvragen rond verschillende onderwerpen. X=draagt bij, /=draag deels bij.

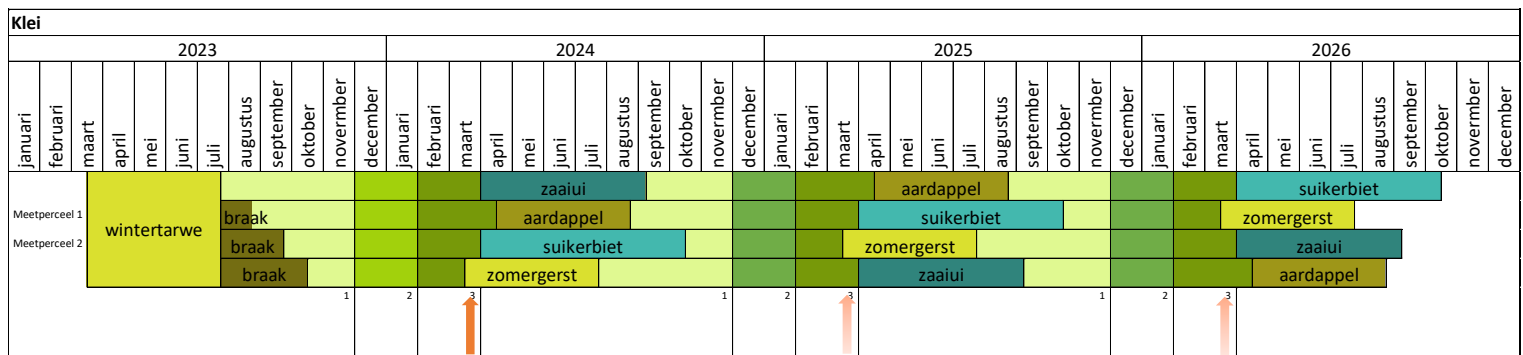
Onderwerpen	Jaarlijks				Alleen laatste jaar			
	Aggregaat-grootte-verdeling	Gewas-resten analyse	Zuig-spanning sensoren	Bodemvocht-bepalingen	Indringings-weerstand	Bulk-dichtheid	Profielkuil-beoordeling	
Zaaibedbereiding	X	X		X			/	
Vochthuishouding			X	X				
Bodemstructuur	/				X	X	X	
Ondergrondverdichting					X		X	

6.4.1 Aggregaatgrootteverdeling

Om iets te zeggen over de structuur van het zaaibed willen we naast het kijken naar de hoeveelheid resten van de groenbemester ook kijken naar de grootte-verdeling van de bodemaggregaten. Dit is belangrijk om de invloed van groenbemesters en inwerktijdstip op het zaaibed te onderzoeken. Deze methode wordt gekozen boven andere methodes omdat het een kwantitatieve methode is waardoor statistische analyse mogelijk is. Om de aggregaatgrootteverdeling te bepalen wordt losse grond uit het zaaibed verzameld na het zaaien of poten. Deze grond wordt vervolgens aan de lucht gedroogd om een natuurlijk droogproces na te bootsen. Daarna wordt grond met een schudmachine geschud voor een minuut met een vaste frequentie over verschillende zeven met verschillende maaswijdtes. Door elke fractie te wegen wordt de aggregaatgrootteverdeling op basis van gewicht vastgesteld. De maaswijdtes van de zeven zijn 40, 20, 10, 5 en 2 mm. Vervolgens kan een gemiddelde diameter berekend worden.

Meetmomenten

De metingen worden gedaan na de zaaibedbereiding in het voorjaar (2024, 2025, 2026) (**Figuur 37**). Er wordt geen nulmeting gedaan omdat tijdelijke effecten van de groenbemesterteelt gemeten worden. Er wordt in 2024 geëvalueerd of we deze metingen moeten voortzetten in 2025 en 2026 en in welke omvang.



Figuur 37. Momenten waarop de aggregaatgrootteverdeling op de kleilocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Er wordt gekozen om te meten in de meest onderscheidende groenbemesterobjecten bij alle inwerkmethode/momenten: braak, monocultuur groenbemester (Japanse haver) en het groenbemestermengsel (**Tabel 25**). Op zand heeft deze bepaling minder zin omdat de grond vaak erg makkelijk uit elkaar valt. Om verder de omvang van de metingen te beperken wordt gefocust op de gewassen zaaiui (fijnzadig gewas) en aardappel omdat deze gewassen hoog salderend zijn en sterk verschillen van elkaar. In verband met hoge kosten van de metingen wordt in 2024 alleen de ui bemonsterd om te zien of we deze meting door willen en uitbreiden in de daaropvolgende jaren.

Tabel 25. Overzicht van objecten waarin aggregaatgrootteverdeling gemeten wordt.

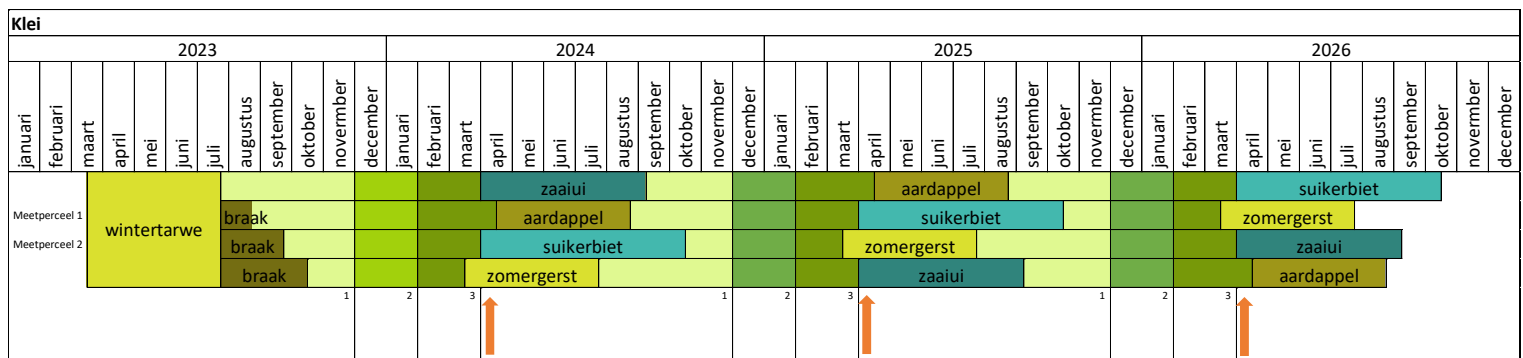
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Aardappel	Ondiep ploegen 2	Breed mengsel
2026			NKG 2	Braak
			NKG 3	

6.4.2 Analyse van groenbemesterresten

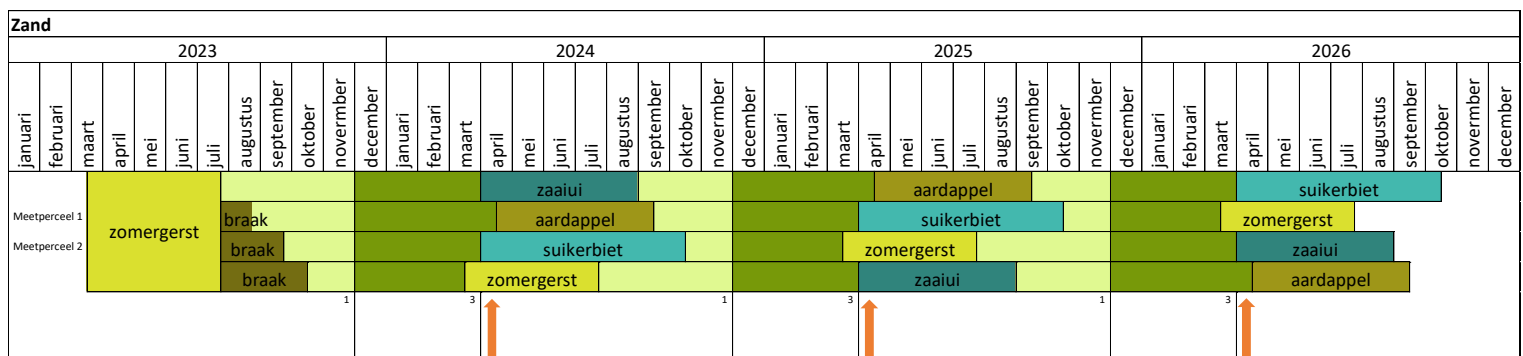
De bedekking van gewasresten van de groenbemesters wordt bepaald om de hoeveelheid nog aanwezige gewasresten te bepalen en om te verklaren in hoeverre gewaszaai goed contact met de grond kunnen krijgen. Er is gekozen om dit te doen aan de hand van foto's en digitale beeldanalyse. Foto's met een gewone camera worden gemaakt van 1 m hoogte. De foto's worden geanalyseerd door een al beschikbaar algoritme die het % gewasresten en % groenbedekking kan geven. Deze methode wordt verwacht sneller en meer accuraat te zijn dan een visuele inschatting door een persoon (lijntransectmethode).

6.4.2.1 Meetmomenten

De metingen worden gedaan van het zaai bed kort na het zaaien van het hoofdgewas in het voorjaar (2024, 2025, 2026), zie **Figuur 38** en **Figuur 39**.



Figuur 38. Momenten waarop een analyse van groenbemesterresten op de kleilocatie wordt uitgevoerd.



Figuur 39. Momenten waarop een analyse van groenbemesterresten op de zandlocatie wordt uitgevoerd.

Objecten waarin gemeten wordt

De bepaling wordt gedaan in alle objecten voor de gewassen zaaiui en aardappel (**Tabel 26**). Het wordt verwacht dat we de hoeveelheid gewasresten van de groenbemester goed in beeld kunnen brengen aan de hand van deze twee uiteenlopende gewassen.

Tabel 26. Overzicht van objecten waarin een de analyse van gewasresten wordt uitgevoerd.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Aardappel	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026			NKG 2	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak

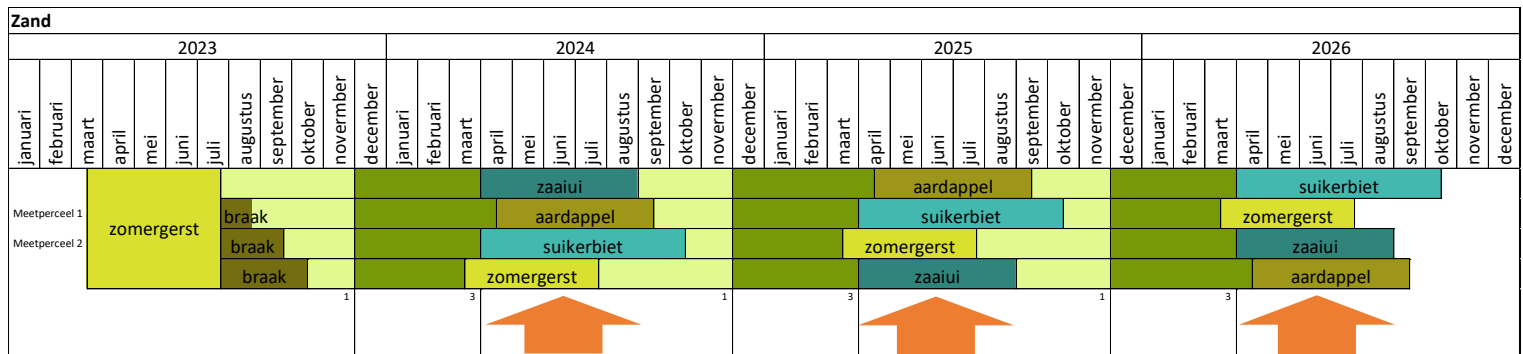
2024	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Aardappel	Ploegen 3	Kruisbloemige/tagetes
2026			NKG 1	Vlinderbloemige
			NKG 3	Breed mengsel
				Braak

6.4.3 Zuigspanningsensoren

Om effecten op waterhuishouding in beeld te brengen wordt bodemvocht continue gemeten gebruikmakend van zuigspanningsensoren in enkele behandelingen. Deze methode kan alleen beperkt worden toegepast i.v.m. de beschikbaarheid van de sensoren en kan gezien worden als een aanvulling op de bodemvochtmonsters.

Meetmomenten

De metingen worden op de zandlocatie uitgevoerd gedurende de teelt van de uien (2024, 2025, 2026) ongeveer vanaf het moment van zaaien (**Figuur 40**).



Figuur 40. Momenten waarop met zuigspanningsensoren op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Er zijn 9 zuigspanningsensoren beschikbaar. Er wordt alleen op Vredepeel gemeten in de zaaiui bij ploegen met laat inwerken in de drie meest relevante groenbemesterbehandelingen (3 sensoren per behandeling), zie **Tabel 27**, waarbij de kruisbloemige bladrammenas is. Ploegen met laat inwerken is gekozen omdat ploegen het meest relevant is voor de praktijk en laat inwerken sluit aan bij de huidige kennisvragen. In Vredepeel op zandgrond is waterhuishouding cruciaal. Ervaring leert ook dat op klei de zuigspanningsensoren minder goed werken.

Tabel 27. Overzicht van objecten waarin met zuigspanningsensoren gemeten wordt.

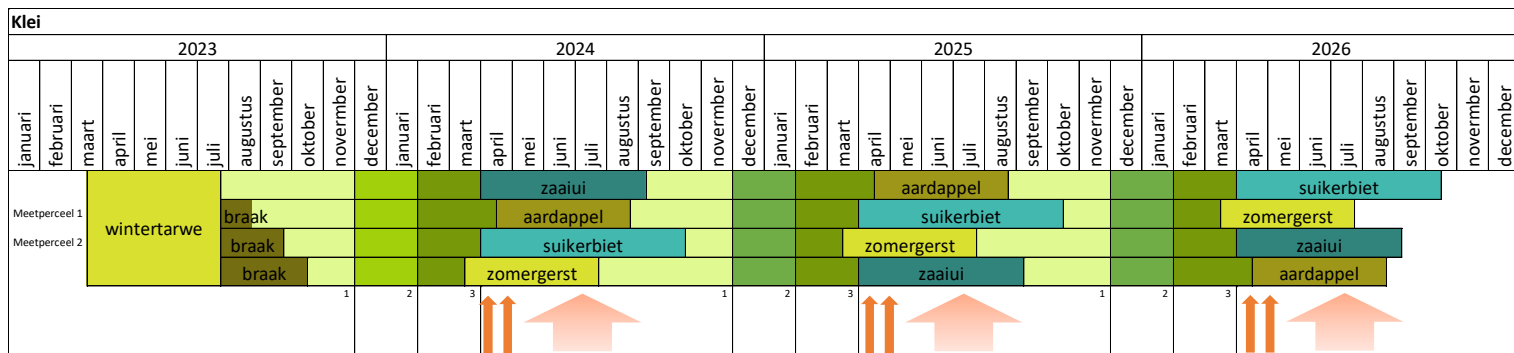
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Zand	Zaaiui	Ploegen 3	Kruisbloemige
2025				Breed mengsel
2026				Braak

6.4.4 Bodemvochtbepaling

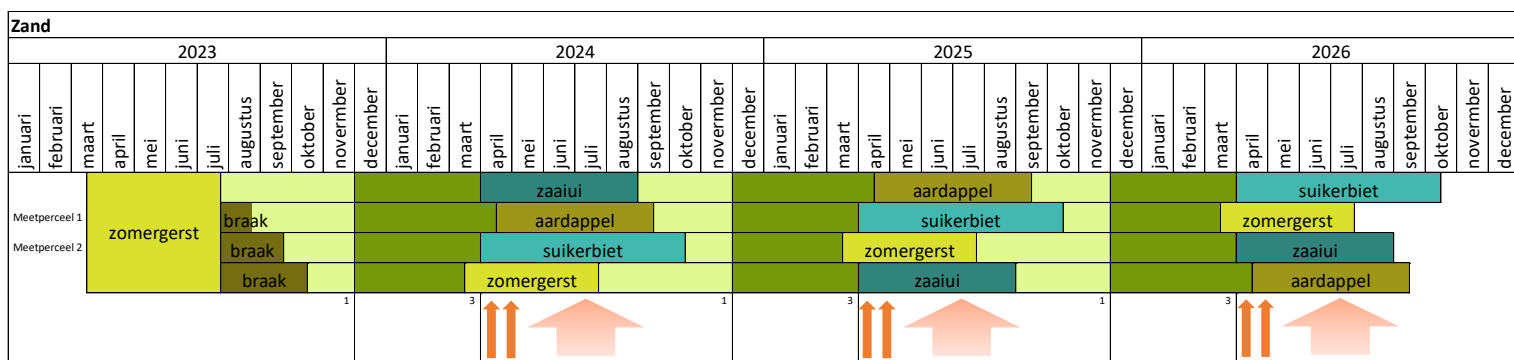
Om effecten op waterhuishouding in beeld te brengen wordt bodemvocht gemeten op een paar momenten in de hoofdgewassen, in het zaai-bed in het voorjaar en in de bouwvoor in het late voorjaar of zomer. Grondmonsters worden genomen en gedroogd waarna het vochtpercentage op basis van gewicht wordt vastgesteld. Daarnaast wordt in ieder geval in het eerste jaar een vochtmeter getest – de Trase meter – waarmee binnen enkele seconden een meting verkregen kan worden. Als deze meter goede resultaten geeft kan meer gemeten worden.

Meetmomenten

De metingen in het zaaibed worden gedaan in het voorjaar (2024, 2025, 2026). Er wordt alleen gemeten in de gewassen zaaiui en aardappel omdat dit de meest hoog salderende gewassen zijn waarvoor waterhuishouding een aandachtspunt is. In de bouwvoor wordt gemeten tijdens de hoofdteelten in mei-juli (2024, 2025, 2026), wanneer de meeste droogtestress verwacht wordt. Zie **Figuur 41** en **Figuur 42**. Er wordt in 2024 geëvalueerd in welke intensiteit deze metingen uitgevoerd moeten worden en met welke methode.



Figuur 41. Momenten waarop bodemvochtbepalingen op de kleilocatie gedaan worden.



Figuur 42. Momenten waarop bodemvochtbepalingen op de zandlocatie gedaan worden.

Objecten waarin gemeten wordt

De keuze is om te meten in de zaaiui na Japanse haver en in de aardappel na de bladrammenas en voor alle combinaties van grondbewerking en inwerkmoment (**Tabel 28**).

Tabel 28. Overzicht van objecten waarin bodemvochtbepalingen uitgevoerd worden.

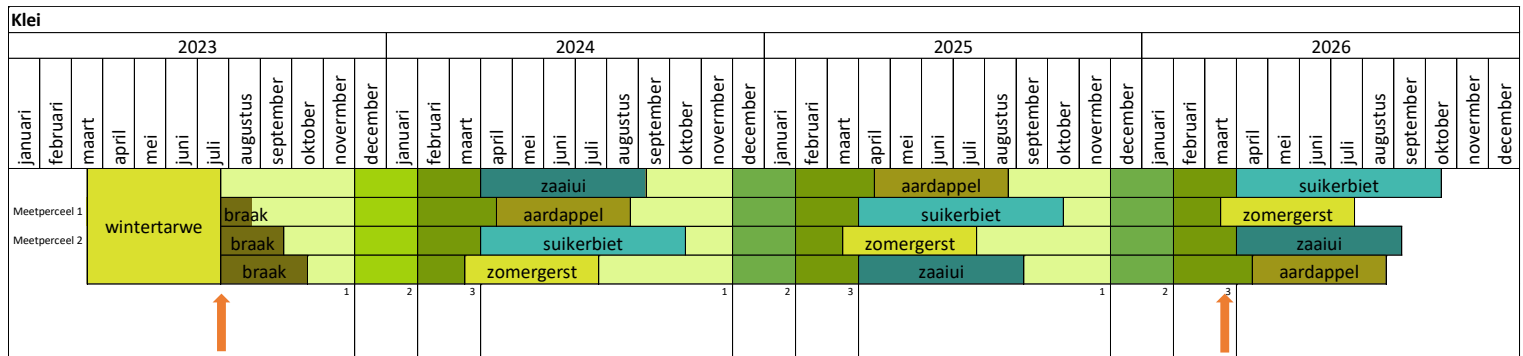
Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2024	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Aardappel	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
2026			NKG 2 NKG 3	Breed mengsel Braak
2024	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
2025		Aardappel	Ploegen 3	Kruisbloemige/tagetes
2026			NKG 1 NKG 3	Breed mengsel Braak

6.4.5 Indringingsweerstand

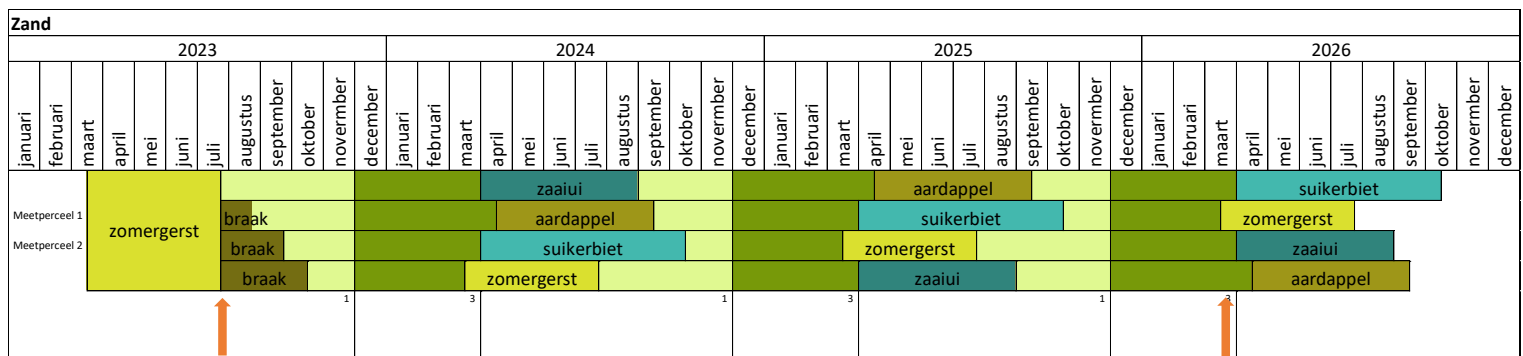
De indringingsweerstand geeft een indruk van de dichtheid van de bodem over de gehele bodemprofiel. De indringingsweerstand geeft een indicatie van de bodemverdichting en daarmee ook inzicht in de doorlaatbaarheid (bijv. waterinfiltratie) en doordringbaarheid (bijv. bewortelbaarheid) van de bodem. Met deze meting willen we zien in hoeverre groenbemesters hier invloed op kunnen hebben door de verschillende groeiperiodes te vergelijken tussen de meest onderscheidende groenbemesterbehandelingen. De bepaling wordt gedaan door gebruik te maken van een penetrologger. De methodiek is omschreven in de handleiding voor dit apparaat van Eijkelkamp (2020). Er worden 10 steken per veldje genomen met een penetrologger met een snelheid van 1 cm/s. Een gemiddelde weerstand wordt berekend per veldje.

Meetmomenten

De verwachting is dat de indringingsweerstand langzaam gaat veranderen in de bodem waardoor het geen zin heeft om elk jaar metingen te doen. Het meten van indringingsweerstand is ook vaak een momentopname. Daarom wordt gekozen om in het eerste jaar na het startgewas een meting te doen in het laatste jaar na de laatste groenbemester (**Figuur 43** en **Figuur 44**). De laatste metingen worden gedaan tussen de hoofdgrondbewerking en de zaai- en aardappelbereiding.



Figuur 43. Momenten waarop de indringingsweerstand en bulkdichtheid op de kleilocatie gemeten wordt.



Figuur 44. Momenten waarop de indringingsweerstand en bulkdichtheid op de zandlocatie gemeten wordt.

Objecten waarin gemeten wordt

Al is de meting niet erg arbeidsintensief, vergt de grootte van de proef dat we keuzes maken in welke objecten we gaan meten. De keuze is om te meten in de meest uiteenlopende groenbemers voor alle combinaties van grondbewerking en inwerkmoment (**Tabel 26**). Om verder de omvang van de metingen te beperken wordt gefocust op twee gewassen. Op beide grondsoorten wordt dan gemeten in zowel een grasachtige als een kruisbloemige (Japanse haver en bladrammenas). Om aan te sluiten bij overige metingen in dit werkpakket wordt er voor de zaaiui en aardappel in 2026 gemeten. In 2023 wordt een meting per vak gedaan in de vakken, waarin in 2026 zaaiui en aardappel komen.

Tabel 29. Overzicht van objecten waarin indringingsweerstand gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei			
	Zand		Mengmonster per vak	
2026	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
		Aardappel	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
			NKG 2	Breed mengsel
			NKG 3	Braak
2026	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
		Aardappel	Ploegen 3	Kruisbloemige/tagetes
			NKG 1	Breed mengsel
			NKG 3	Braak

6.4.6 Bulkdichtheid

De droge bulkdichtheid geeft, net zoals de indringingsweerstand, een indruk van de dichtheid van de bodem. Deze meting geeft in combinatie met indringingsweerstand een goede indruk van de bodemdichtheid. Een nadeel is dat het bewerkelijk is om deze meting te doen en dat er op korte afstand veel variatie kan zijn waardoor je veel monsters moet nemen voor een betrouwbare meting. Met deze meting willen we zien in hoeverre groenbemesters invloed hebben op bodemdichtheid door groeiperiodes te vergelijken voor de meest onderscheidende groenbemesterbehandelingen. De bulkdichtheid wordt bepaald aan de hand van ringmonsters op de dieptes 10-15 cm en 25-30 cm met 2 ringen per diepte per veldje waardoor er 3 herhalingen per behandeling zijn. Het protocol wordt beschreven in: NEN-EN-ISO 11272:2017 - Bepaling van de droge bulkdichtheid (van Asperen et al., 2021).

Meetmomenten

De verwachting is dat de bulkdichtheid maar langzaam gaat veranderen in de bodem waardoor het geen zin heeft om elk jaar metingen te doen. Daarom wordt gekozen om in het eerste jaar na het startgewas een meting te doen en in het laatste jaar na de laatste groenbemester (**Figuur 43** en **Figuur 44**). De laatste metingen worden gedaan tussen de hoofdgrondbewerking en de zaaibedbereiding.

Objecten waarin gemeten wordt

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is besloten om te meten in de meest onderscheidende objecten, net als voor de indringingsweerstand. Om verder de omvang van de metingen te beperken wordt gefocust op twee gewassen: aardappel en ui. Zie **Tabel 30**. Op beide grondsoorten wordt dan gemeten in zowel een grasachtige als een kruisbloemige (in de zaaui na Japanse haver en in de aardappel na bladrammenas).

Tabel 30. Overzicht van objecten waarin bulkdichtheid gemeten wordt.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2023	Klei	Zomergerst		
	Zand	Zaaui		Mengmonster per vak
		Aardappel		
		Suikerbier		
2026	Klei	Zaaui	Ploegen 1	Grasachtige
		Aardappel	Ondiep ploegen 2	Kruisbloemige
			NKG 2	Breed mengsel
			NKG 3	Braak
2026	Zand	Zaaui	Ploegen 1	Grasachtige
		Aardappel	Ploegen 3	Kruisbloemige/tagetes
			NKG 1	Breed mengsel
			NKG 3	Braak

6.4.7 Profielkuilbeoordeling

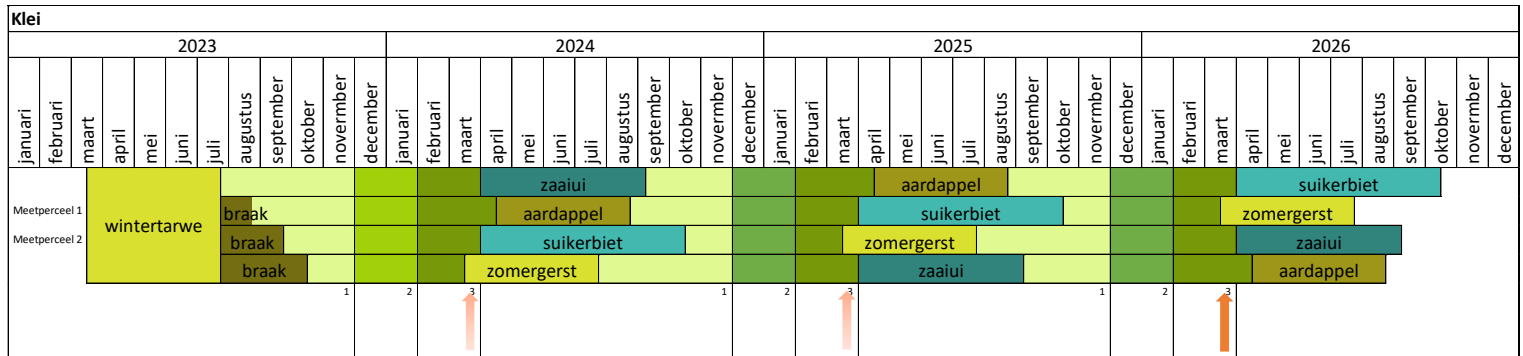
Het beoordelen van een profielkuil geeft een goed inzicht in de algehele (fysische) bodemkwaliteit. Het nadeel van deze meting is dat die erg arbeidsintensief en destructief is waardoor we slechts een beperkt aantal objecten kunnen beoordelen. Het protocol komt voort uit de methodiek vanuit het project Zicht op de Bodemstructuur en wordt uitgevoerd door de partner Van Tafel naar Kavel. Deze methode is onder andere toegepast in het bedrijvennetwerk (van Asperen et al., 2023). Vijf aspecten worden beoordeeld op een schaal van 1-10:

1. Waterhuishouding a.d.h.v.
 - a. Grondwaterpeil
 - b. Verdichte lagen in het profiel
 - c. Blauwe kleur
 - d. Roestvlekken
2. Bodemstructuur 0-25 cm
3. Bodemstructuur 25-50 cm
4. Bodemleven
5. Bewortelingsdiepte in cm

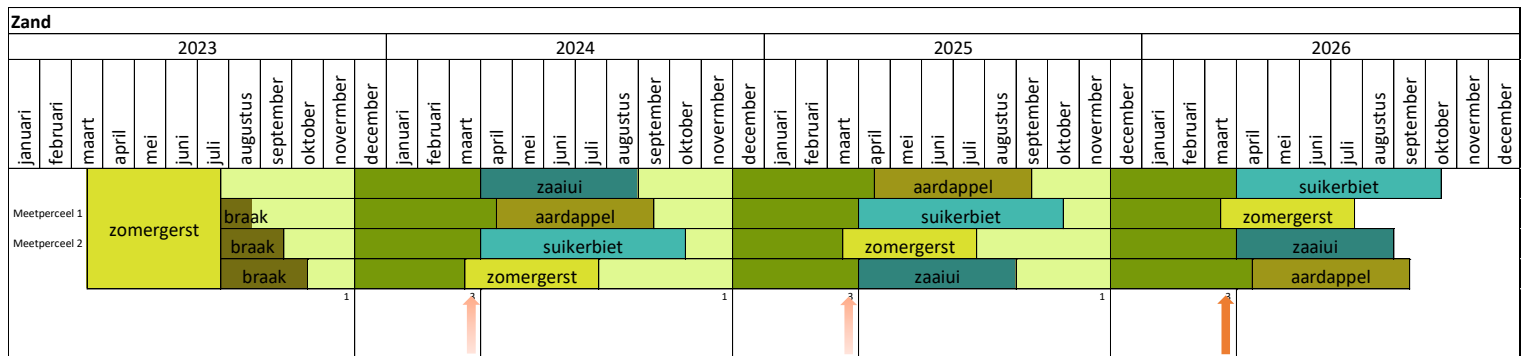
Om het werkbaar te maken wordt het graven van de kuil (ca. 15 minuten) zo veel mogelijk gedaan door de proefbedrijf medewerkers waardoor de persoon die de beoordeling doet kan focussen op de beoordeling en verslaglegging. Het is belangrijk dat dezelfde persoon alle beoordelingen doet.

Meetmomenten

De focus van het project is op de invloed van groenbemesters van verschillende soorten en inwerktijdstippen en -methodes op de bodemkwaliteit voor de volgteelt. Als we deze effecten goed in beeld willen brengen is het goed om de profielkuil te beoordelen aan het einde van de groenbemesterteelt. Dit betekent dat er op de kleilocatie op drie momenten en op de zandlocatie op twee momenten gemeten wordt. Omdat effecten op de bodemstructuur tijd kosten om te ontwikkelen zal de nadruk liggen op bodembeoordelingen in het laatste jaar. Daarnaast is de profielkuil een destructieve waarneming in de proef. In 2024 en 2025 worden waarnemingen gedaan in enkele interessante objecten. Zie **Figuur 45** en **Figuur 46**.



Figuur 45. Momenten waarop profielkuilen worden beoordeeld op de kleilocatie.



Figuur 46. Momenten waarop profielkuilen worden beoordeeld op de zandlocatie.

Objecten waarin gemeten wordt

Er wordt één kuil gegraven per object vóór de uienteelt, na de langste groeiperiode voor de groenbemesters (20 kuilen). In de meest onderscheidende objecten wordt dit in twee van de drie herhalingen gedaan (+6 kuilen). Zie **Tabel 31**.

Tabel 31. Overzicht van objecten waarin profielkuilen beoordeeld worden.

Jaar	Locatie	Gewas	Inwerkmethode/moment	Groenbemester
2026	Klei	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
			Ondiep ploegen 2	Breed mengsel
			NKG 2	Braak
			NKG 3	
2026	Zand	Zaaiui	Ploegen 1	Grasachtige
			Ploegen 3	Breed mengsel
			NKG 1	Braak
			NKG 3	

Literatuur

- Bongers T., 1990. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E. K., Brussaard, L., de Goede, R. G., Mäder, P., ... & Thuerig, B. (2019). Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology and Biochemistry*, 133, 174-187.
- De Haan, J. J., Korthals, G. W., Hanegraaf, M. C., Postma, J., van Egmond, F. M., Olijve, A. J., ... & Schilder, M. T. (2021). Bodemkwaliteitsmetingen 2019 in Bedrijvennetwerk Bodemmetingen: eerste analyse van de meetresultaten 2019 van integrale bodemkwaliteit op 16 akkerbouwbedrijven (No. WPR-888). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- De Ruijter, F.J. en Smit, A.L. (2007). Het lot van stikstof uit gewasresten. Wageningen Plant Research, nr. 133. <https://edepot.wur.nl/41283>.
- Dekkers, M. F., & Haagsma, W. (2021). Groenbemesters: Een overzicht van kennisvragen. Wageningen Plant Research, WPR-889. <https://edepot.wur.nl/549699>.
- Drost S.M., Rutgers, M., Wouterse, M., de Boer, W. en Bodelier, P.L.E. (2020). Decomposition of mixtures of cover crop residues increases microbial functional diversity. *Geoderma* 361. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114060
- Eijkelpoort Soil & Water (2020). Penetrologger – Handleiding M-0615SAN. Beschikbaar via: <https://www.eijkelpoort.com/producten/veldmeetapparatuur/penetrologger-set-a.html>
- Kruidhof, H. M. (2008). *Cover crop-based ecological weed management: exploration and optimization*. [internal PhD, WU, Wageningen University]. <https://edepot.wur.nl/16356>
- Kruidhof, H. M., Bastiaans, L., & Kropff, M. J. (2008). Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed research*, 48(6), 492-502.
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J.M., Raffailac, d. en Justes, E. (2015). Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: field evidence and model simulations. *Agriculture, ecosystems and environment* 212, pp.1-12. doi: 10.1016/j.agee.2015.06.014
- Porre, R.J. (2020). Clever cover cropping: litter trait diversities and elemental flows [PhD thesis]. doi:10.18174/531407
- Postma & Lombaers (2023, April 17). DNA-technieken ingezet voor het monitoren van pathogene schimmels Beter Bodembeheer. <https://www.beterbodembeheer.nl/nieuws/dna-technieken-ingezet-voor-het-monitoren-van-pathogene-schimmels/>.
- Premrov, A., Coxon, C.E., Hackett, R., Kirwan, L. and Richards, K.G. (2014). Effects of over-winter green cover on soil solution nitrate concentrations beneath tillage land. *Science of the total environment* 470-471, pp. 967-974. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.10.057
- Scheepens, P. C., Hoek, H., Molema, G. J., Bastiaans, L., Groeneveld, R. M. W., Schoenmaker, E., & Pikaar, P. J. J. (2003). Innovatieve onkruidpreventie in de biologische landbouw door groenbemesters in het bouwplan (No. 226). *Plant Research International*.
- Selin Norén, I., van Geel, W., & de Haan, J. (2021). Cover crop reference values: Effective organic matter and nitrogen uptake (No. WPR-877). Wageningen Plant Research.
- Van Asperen, P., Vervuurt, W., Simonse, D., van Egmond, F. M., Korthals, G. W., van de Voorde, T. F. J., ... & Beers, J. (2023). Bodemkwaliteitsmetingen 2021 in Bedrijvennetwerk Bodemmetingen: Bedrijvennetwerk Bodemmetingen (No. WPR-OT 1001). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- van Geel, W.C.A., Rietra, R., Verstegen, H., Duan, K., Groenendijk, P. en Verhoeven, J. (2023). Effect N-vanggewassen na aardappel op zandgrond op de nitraatuitspoeling: verslag van driejarig veldonderzoek op zuidelijk zandgrond te Vredepeel. Wageningen University and Research, nr. WPR-OT1018.
- Van Geel, W.C.A., van Schooten, H. A., & Verhoeven, J. T. W. (2010). Inwerkijdstip van winterharde vanggewassen : deskstudie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. <https://edepot.wur.nl/160600>
- Van Geel, W.C.A.; Verstegen, H.A.G.; Verhoeven, J.T.W. (2012). Inwerkijdstip winterharde vanggewassen voor maïs. Verslag van een veldproef in 2010-2011 op zandgrond. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. <https://edepot.wur.nl/200092>.

-
- Van Leeuwen-Haagsma, W. K., Hoek, H., Molendijk, L. P. G., Mommer, L., Ulen, J., Kroonen-Backbier, B. M. A., & de Groot, G. A. (2019). *Handboek Groenbemesters 2019*. Wageningen University & Research.
- Van Tol-Leender, D., M. Knotters, W. de Groot, P. Gerritsen, A. Reijneveld, F. van Egmond, H. Wösten en P. Kuikman (2019). Koolstofvoorraad in de bodem van Nederland (1998-2018): CC-NL. Wageningen University and Research, 2974. <https://doi.org/10.18174/509781>.
- Vervuurt, W., Selin-Norén, I., Wesselink, M., Verstegen, H., van Balen, D., Haagsma, W., ... & de Haan, J. (2021). Indicatoren voor systeemonderzoek in de open teelten en de toepassing daarvan in de systeemprouven van de PPS Beter Bodembeheer (No. WPR-899). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten.
- Vos, J. en van der Putten, P.E.L. (2001). Field observations on nitrogen catch crops. III. Transfer of nitrogen to the succeeding main crop. *Plant and soil*, 236, pp. 263-273.
- Vos, J. en van der Putten, P.E.L. (2004). Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient cycling in agroecosystems* 70, pp. 23-31.

Dekkers (2020): database
Haagsma et al. (2020): database
Selin Noren (2020): database

Bijlage 1 Partneroverzicht



Cosun Beet Company



BO akkerbouw



Agrifirm



Van Iperen



CZAV



Van Tafel Naar Kavel

boerennatuur

Boeren Natuur Flevoland

Flevoland



Plantum



Barenbrug



DLF

DLF



Limagrain

Breeding your profit



VANDINTER SEMO
SEED & SERVICES

Vandinter Semo



Joordens Zaden



KONINKLIJKE
ALGEMEENE VEREENIGING VOOR
BLOEMBOLLENCULTUUR

KAVB



LTO Nederland



LLTB



Lemken



Ben Schuitert Agrotechniek

Correspondentie adres voor dit rapport:

Edelhertweg 1
8219PH Lelystad
wur.nl/plant-research

Rapport WPR-OT 1046



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

info.openteelten@wur.nl

Rapport WPR-OT 1046

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
