Invloed van vezelteelt op de bodem- en waterkwaliteit

Bureau-onderzoek naar de invloed van de vezelgewassen hennep, miscanthus en vlas op de bodem- en waterkwaliteit

Bron: Wikimedia commons, 2015

© 2025 Louis Bolk Instituut, Bunnik

Invloed van vezelteelt op de bodem- en waterkwaliteit
In opdracht van Building Balance

Bram Avezaat
Annemarie Bakker

35 pagina’s

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik

Inhoudsopgave

Inleiding 5
Miscanthus 6
Algemeen 6
Bodem 6
Onkruidbestrijding 6
Bemesting 6
Ziekten en plagen 6
Opbrengst 6
Vezelhennep 7
Algemeen 7
Bodem 7
Onkruidbestrijding 7
Bemesting 7
Ziekten en plagen 7
Opbrengst 7
Vlas 8
Algemeen 8
Bodem 8
Onkruidbestrijding 8
Bemesting 8
Ziekten en plagen 8
Opbrengst 8
Milieubelastings-punten 9
Conclusie 10
Bodemkwaliteit 11
Aaltjesbeheersing 11
Wortelknobbelaaltjes 11
Wortellesie- en stengelaaltjes 12
Trichodoride en vrijlevende aaltjes 13
Conclusie 14
Biodiversiteit 15
Miscanthus 15

Hennep 15
Vlas 15
Waterkwaliteit en -kwantiteit 16
Doorberekeningen met het NDICEA-model 17
Miscanthus: meerjarige teelt op zandgrond 18
Vlas & Hennep: meerjarige akkerbouwrotatie op zuidwestelijke kleigrond 22
Hennep 26
Conclusie 30
Bronnen 32
Appendix 35

Inleiding

In Nederland is de teelt van vezelgewassen op dit moment nog beperkt. In 2024 werd er in Nederland 3576 ha vezelvlas geteeld, en 3440 ha hennep (bron CBS Statline). De teelt van Miscanthus beperkt zich tot ruim 650 ha, in totaal nog geen 1,5% van het akkerbouwareaal (P. van Houwelingen, 2024). Eind 2023 heeft het rijk besloten 200 miljoen uit te trekken om het gebruik van biobased bouwmaterialen te stimuleren (website Rijksoverheid). Deze Nationale Aanpak Biobased Bouwen moet leiden tot een volwassen markt voor de teelt, verwerking en toepassing van biogrondstoffen uit Nederland, die worden toegepast in gebouwen en bouwwerken (Ministeries BKZ, I&W, LNV en EZK, 2023). Deze aanpak is tot stand gekomen op advies van Stichting Building Balance.

Vezelgewassen worden in verband gebracht met een goede bodemstructuur, een hoog organisch stofgehalte en een laag gebruik van bestrijdingsmiddelen, wat aansluit bij een natuur- en milieuvriendelijke teelt. (M.J.G. Meeusen, C.A.J. van Ruiten, 2024). Bovendien draagt de teelt van vezelgewassen bij aan de doelstellingen van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid om te zorgen voor het milieu en de landschappen en biodiversiteit te beschermen. (website europa.eu https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_nl). Nader onderzoek is echter gewenst om deze effecten in kaart te brengen, vooral met betrekking tot bodem- en waterkwaliteit.

In dit rapport gaan we in op de vraag welke impact de teelt van vezelgewassen hebben op bodem- en waterkwaliteit. De bedrijfseconomische aspecten van de vezelteelten blijven in dit rapport buiten beschouwing. Behalve van bestaande literatuur is ook gebruikgemaakt van expert-judgement en simulaties met het NDICEA-bodemmodel. Voor de informatie over vlas is gebruik gemaakt van de kennis van Nelis van der Bok (Delphy), Udo Prins (LBI) en Peter Keijzer (LBI). Jacco de Stigter (LBI) heeft input geleverd over de teelt van miscanthus.

In het eerste gedeelte van het rapport wordt de invloed op bodem- en waterkwaliteit van de vezelgewassen miscanthus, hennep en vlas vergeleken met een viertal gangbare gewassen: grasland, maïs, tarwe en aardappel. De gewassen zijn beoordeeld op milieubelastingspunten, bodemkwaliteit, biodiversiteit en waterkwaliteit en –kwantiteit.
In het tweede gedeelte van het rapport is, voor de vezelgewassen miscanthus, hennep en vlas, het NDICEA-model ingezet. Het NDICEA-model geeft inzicht in stikstofdynamiek in de bodem en de opbouw en afbraak van organische stof. In dit gedeelte van het rapport worden “referentie” bouwplannen vergeleken met bouwplannen met vezelgewassen met het oog op stikstofoverschotten, risico op stikstof uitspoeling en organische stof opbouw.

Miscanthus

Algemeen

Miscanthus (olifantsgras) is een meerjarige teelt met een hoog opbrengstpotentieel, ideaal voor gebruik als biobased bouwmateriaal (Waegebaert et al., datum onbekend). Het is net als maïs een C4-plant: het gras is in staat om zonlicht op een efficiënte manier om te zetten in biomassa bij hoge temperaturen en met een minimum aan water (Sunbelt biofuels, 2010).
De *Miscanthus x giganteus* wordt in Europa het meest geteeld i.v.m. zijn hoge opbrengstpotentieel (Waegebaert et al., datum onbekend).

Bodem

Miscanthus kan op uiteenlopende grondsoorten groeien, van zand-, klei- tot lössgronden. Miscanthus wil wel graag 'droge voeten' houden en daarom is veen minder geschikt. (Meeusen et al., 2024). Optimale pH van de bodem ligt tussen de 5,5 tot 7,5. Omdat miscanthus in het voorjaar geplant en geoogst wordt is het belangrijk dat de grond in het voorjaar goed berijdbaar is (Baecke, 2019 p 8). De diepe beworteling van miscanthus zorgt voor een goede bodemstructuur en droogte-resistentie (Poeplau et al., 2019).
Miscanthus verliest jaarlijks wel 20-25% van zijn bovengrondse biomassa door bladuitval, wat een grote bijdrage kan leveren aan de opbouw van organisch stof in de bodem. (Den Toonder, 2025)

Onkruidbestrijding

In de eerste twee jaar is het van belang om de onkruiddruk tijdig en grondig aan te pakken. Dan zijn de miscanthusplanten namelijk nog gevoelig voor beschadiging. Vanaf het tweede jaar is de grondbedekking van de miscanthus voldoende om onkruid tegen te gaan. (Bestman & van Eekeren, 2021)
De eerste fase na aanplant kan er onkruiddruk zijn. In de (biologisch) teelt kan d.m.v. eggen, een schoffelmachine en een bosmaaier, onkruid bestreden worden. In de gangbare teelt kan ook een herbicide toegepast worden (Bestman & van Eekeren, 2021).

Bemesting

Het afvallende blad van miscanthus zorgt voor nutriënten en daarom is nauwelijks tot geen bemesting nodig (Meeusen 2024). Het eerste jaar wordt geadviseerd terughoudend te zijn met stikstofbemesting, omdat dit de groei van onkruid kan stimuleren. Op kleigrond wordt meestal geadviseerd om helemaal niet te bemesten. Op zandgrond wordt een jaarlijkse gift van 30-60 kg N aangeraden (Baecke, 2019).

Ziekten en plagen

Bij aanplant kunnen ritnaalden, emelten en mottenlarven een negatieve invloed hebben op de opkomst. Dit speelt met name na langdurig grasland of braakliggend land.

Opbrengst

Miscanthus is een snelgroeiend gewas en bereikt een hoogte tot wel 3,5 m (Meeusen et al., 2024). De oogst gebeurt in maart-april, wanneer het droge stofgehalte boven 80% ligt (Bestman & van Eekeren, 2021), De opbrengst van de eerste oogst is minimaal, vanaf het 2e/3e jaar kan er worden geoogst voor gebruik. Vanaf 4 jaar kan een oogst van 15-20 ton ds/ha/jaar verwacht worden (Bestman & van Eekeren, 2021). De miscanthus levert gedurende ongeveer 20 jaar na aanplant een productieve oogst.

Vezelhennep

Algemeen

Vezelhennep is een eenjarige teelt, die vaak wordt benoemd als een goede vervanger voor graangewassen in het bouwplan. Tevens is vezelhennep een rustgewas. De teelt van vezelhennep richt zich op twee producten: ‘korte vezel’ en ‘lange vezel’. ‘Korte vezel’ is bestemd voor technische toepassingen zoals isolatiemateriaal. ‘Lange vezel” is gericht op hoogwaardig textiel. De rassenkeuzen, oogstmethoden en verwerking zijn voor deze twee toepassingen verschillend. (Van den Oever et al, 2023). In dit rapport gaan we in op de vezelhennep met ‘korte vezel’.

Bodem

Vezelhennep kan op verschillende grondsoorten geteeld worden: zavel, leem, zand, veen en klei mits de grond goed ontwaterd is (Van den Oever et al p 20).
Hennep groeit het beste bij een pH van 6,0 tot 7,5 en een losse, diepe goeddoorwortelbare bodem. Natte bodems kunnen in het begin van de teelt, de wortel- en scheutgroei beperken. (Van den Oever et al, 2023, p 20). Hennep is structuurgevoelig, rijsporen zie je snel terug in het gewas (bron Building Balance). Het goed ontwikkelde wortelsysteem van vezelhennep heeft een positieve invloed op de bodem en het bodemleven. (Van den Oever et al, 2023, p 21).

Onkruidbestrijding

Omdat hennep snel na het kiemen dichtgroeit is een onkruidbestrijding niet nodig. (Van den Oever et al., 2023, p 24)

Bemesting

Voor een optimale groei heeft hennep 110 kg stikstof, 80 kg fosfaat en 140 kg kalium nodig. De N-bemesting wordt voor het zaaien toegediend. (Van den Oever et al. 2023, p 20). Deze gift bestaat meestal volledig uit dierlijke mest.

Ziekten en plagen

Hennep is niet gevoelig voor ziekten en plagen waardoor gewasbescherming niet nodig is. (Building Balance p18).

Opbrengst

In de literatuur zijn weinig opbrengstgegevens te vinden. In de KWIN wordt gerekend met 8 ton per ha. In een pilotproject realiseerden telers in de stedendriehoek (driehoek Deventer-Apeldoorn-Zutphen) in 2023 een opbrengst die varieerde van 1,4 tot 10,7 ton per ha (Building Balance, 2025, p 9). Normaal is de variatie in opbrengst niet zo groot, maar in dit project waren een paar percelen met een slechte bodemvruchtbaarheid (bron Building Balance).

Vlas

Algemeen

Vlas wordt geteeld voor olie, korte vezels en lange vezels. De lange vezels worden gebruikt in linnen. De korte vezels zijn geschikt om te gebruiken als bouw- en isolatiemateriaal. (Meeusen, 2024, p42). In 2022 werd er in Nederland 1985 ha vezelvlas geteeld, in 2024 was dit areaal gegroeid naar 3539 ha (bron CBS).

Bodem

Voor de teelt van vlas is een goede vochthoudende grond nodig met een goede doorwortelbaarheid. Alle grondsoorten zijn geschikt voor de teelt van vlas. Percelen met een hoge bodemvoorraad aan stikstof en gronden met een hoge stikstofmineralisatie zijn echter niet geschikt. Hier is een groot gevaar voor legering. Percelen met structuurproblemen zijn evenmin geschikt. Vlas heeft een pH van 4,5 of hoger nodig. (Wander, 1999, p 15) Er zijn een aantal plan parasitaire aaltjes die schade kunnen geven in de teelt van vlas. Hier wordt verder op ingegaan in de sectie over bodemkwaliteit.

Onkruidbestrijding

Onkruid kan, tot een gewashoogte van 5 cm, mechanisch bestreden worden door te eggen.
In de gangbare teelt zijn, voor en na opkomst, ook een beperkt aantal middelen toegelaten om onkruid met herbiciden te bestrijden.

Bemesting

Vlas heeft een stikstofgift van 70 kg minus de bodemvoorraad nodig. Bij een bodemvoorraad van meer dan 100 kg N wordt de teelt ontraden.

Ziekten en plagen

Aardvlo

Meest voorkomende schadelijke insect in vlas zijn aardvlooien. De kevers veroorzaken in het voorjaar schade. Ze zijn vooral actief bij zonnig weer en vreten dan aan de zaadlobben, blaadjes en groeitoppen. In een zeer jong stadium kan het tot plantuitval leiden. (Werkverband Friese rassen p 20).
Voorkomen van aantasting kan door geen vlas na vlas te telen. Advies is om eens in de zes of zeven jaar vlas op een perceel te telen (Kennisakker, 2005).

Vlasbrand (*Pytium megalacanthum*)

Pytium komt voor op gronden met een verstoorde bodemstructuur. Een goede structuur en het kiezen voor een minder gevoelig ras kan vlasbrand voorkomen (website Inagro).

Vlastrips

Vanaf mei kan de vlastrips voor schade in het gewas zorgen. De tripsen en de latere larven zuigen aan de blaadjes en stengeltoppen. Op de blaadjes ontstaan zilverachtige verkleuringen die later bruin worden. Ook de groeitoppen worden dikker. Bij een zware aantasting treedt groeiremming op.

Opbrengst

De opbrengst van vezelvlas ligt gemiddeld rond de 5 ton per ha. (bron CBS).

Milieubelastings-punten

De milieumeetlat is een puntensysteem waarmee wordt aangegeven hoe schadelijk een middel is voor het milieu. Hoe meer milieubelastingspunten een middel krijgt des te hoger is het risico voor het milieu.
De meetlat berekening vergelijkt de effecten van gewasbeschermingsmiddelen op drie criteria:

- Risico voor waterleven
- Risico voor bodemleven
- Risico op uitspoeling naar het grondwater

De milieubelasting voor waterleven is afhankelijk van de giftigheid van een middel voor waterorganismen en het percentage drift van middel naar de sloot.
Bij de berekening van de milieubelastingspunten voor bodemleven wordt rekening gehouden met het percentage organische stof in de bodem. Daarnaast zijn de afbraaksnelheid en binding aan bodemdeeltjes van een middel bepalend voor de hoeveelheid middel die in de bodem achterblijft.
Het risico van uitspoeling van middelen naar het grondwater wordt in veel gevallen bepaald door het organische stofpercentage van de grond. Daarnaast bepalen afbraaksnelheid en bindingscapaciteit de mate van uitspoeling van een middel.

Voor de gewassen hennep, vlas en miscanthus zijn met behulp van de saldoberekeningen uit de KWIN AGV (Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, 2022) en de milieumeetlat van CLM de milieubelastingspunten uitgerekend (Tabel 1). De saldoberekeningen in de KWIN geven per gewas de toegerekende kosten en de opbrengsten weer. De kosten bestaan onder andere uit de kosten voor

Tabel 1: Milieubelastingspunten per gewas op zand- en dalgrond en op kleigrond. 0 tot 100 punten is groen weergegeven, 100 tot 1000 punten is oranje weergegeven, >1000 is rood weergegeven

Gewas	Milieubelasting punten		
	Waterleven	Bodemleven	Grondwater
zand- en dalgronden			
Zetmeelaardappelen	357	284	2823
Consumptieaardappelen	481	268	1569
Snijmaïs	118	236	421
Wintertarwe	190	386	6240
Hennep	0	0	0
kleigronden			
Consumptieaardappelen	395	251	2295
Snijmaïs	71	129	402
Engels raaigras overjarig	103	120	473
Engels raaigras 1e jaars	106	176	485
Wintertarwe	599	210	3097
Vlas oude zeeklei	1102	93	480
Miscanthus (1e jaar)	0	85	1

zaaizaad, bemesting en gewasbescherming. De gewasbeschermingsmiddelen zijn per teelt overgenomen uit de KWIN en de bijbehorende milieubelastingspunten zijn opgezocht in de milieumeetlat. Om deze scores te kunnen duiden zijn ter vergelijking ook de gangbare gewassen aardappel, gras, maïs en tarwe uitgewerkt.

Voor miscanthus was geen saldoberekening beschikbaar en is uitgegaan van één bespuiting met Clopyralid in een dosering van 1,2 l/ha (CTGB toelatingenbank, https://toelatingen.ctgb.nl).
De resultaten zijn weergegeven in Tabel 1.

Conclusie

De uitgerekende cijfers geven een indicatie van de milieubelasting in een gangbare teelt. De milieubelasting is terug te dringen door af te zien van bestrijding, de inzet van minder belastende middelen of biologische bestrijdingsmethoden. Over het algemeen zijn de vezelgewassen veel minder belastend voor het milieu dan de gangbare akkerbouwgewassen.

+ Risico waterleven
  Miscanthus en hennep geven geen risico's voor het waterleven, in tegenstelling tot de gangbare gewassen.
  Het gebruik van deltamethrin ter bestrijding van trips in de vlasteelt heeft een grote impact op de milieubelastingspunten op het waterleven. Als van de toepassing van deltamethrin wordt afgezien scheelt dat 930 milieubelastingspunten. Op dit moment wordt er al biologisch vlas geteeld en dit lijkt goede resultaten te geven (Prins, et al., 2023)
+ Risico bodemleven
  Vlas, hennep en miscanthus leveren niet of nauwelijks risico's op voor het bodemleven en scoren veel beter dan de gangbare gewassen.
+ Risico grondwater
  Miscanthus en hennep hebben geen negatieve impact op het grondwater. Vlas scoort vergelijkbaar met de gangbare gewassen.

Bodemkwaliteit

Aaltjesbeheersing

De aanwezigheid van plant parasitaire aaltjes in een perceel kan met bemonstering worden aangetoond (Aaltjesschema.nl). Onderstaande plant parasitaire aaltjes kunnen in een perceel voorkomen en afhankelijk van de grootte van de populatie schade veroorzaken.

Wortelknobbelaaltjes

In het volgende schema (Figuur 1) zijn de vermeerdering en kans op schade door de diverse wortelknobbelaaltjes weergegeven. Vlas zorgt voor een natuurlijke afname van *Meloidogyne chitwoodi* en *Meloidogyne naasi*. Met name de afname van *M. chitwoodi* maakt dat het een goede combinatie is met de teelt van (poot)aardappelen. Voor hennep is niet van alle soorten bekend wat de vermeerdering en schade is. Hennep vermeerdert *Meloidogyne fallax* weinig en *Meloidogyne hapla* matig. Vlas geeft weinig vermeerdering van *M. fallax* en *M. hapla*.

Wortelknobbelaaltjes	*Meloidogyne arenaria* Pindawortelknobbelaaltje	*Meloidogyne chitwoodi* Maiswortelknobbelaaltje	*Meloidogyne fallax* Bedrieglijk maiswortelknobbelaaltje	*Meloidogyne hapla* Noordelijk wortelknobbelaaltje	*Meloidogyne incognita* Katoenwortelknobbelaaltje	*Meloidogyne javanica* Suikerrietwortelknobbelaaltje	*Meloidogyne minor* Wortelknobbelaaltje	*Meloidogyne naasi* Graswortelknobbelaaltje	
	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	
Aardappel	?	●●●	●●●	●●●	?	?	i	-	Aardappel
Hennep	?	?	●	●●	?	?		? i	Hennep
Mais	●●● R	●●	●	-	●●●	●●●		-	Mais
Tarwe	?	●●	●●	-	?	?		●●●	Tarwe
Vlas	?	-	●	●	?	?		-	Vlas
Engels raaigras	?	●	●●●	-	?	?	?	●●●	Engels raaigras

©2025. Dit aaltjesschema is een product van Wageningen University & Research | Open Teelten, Lelystad

Legenda schade	
	onbekend
	geen
	weinig (0-15%)
	matig (16-35%)
	zwaar (36-100%)

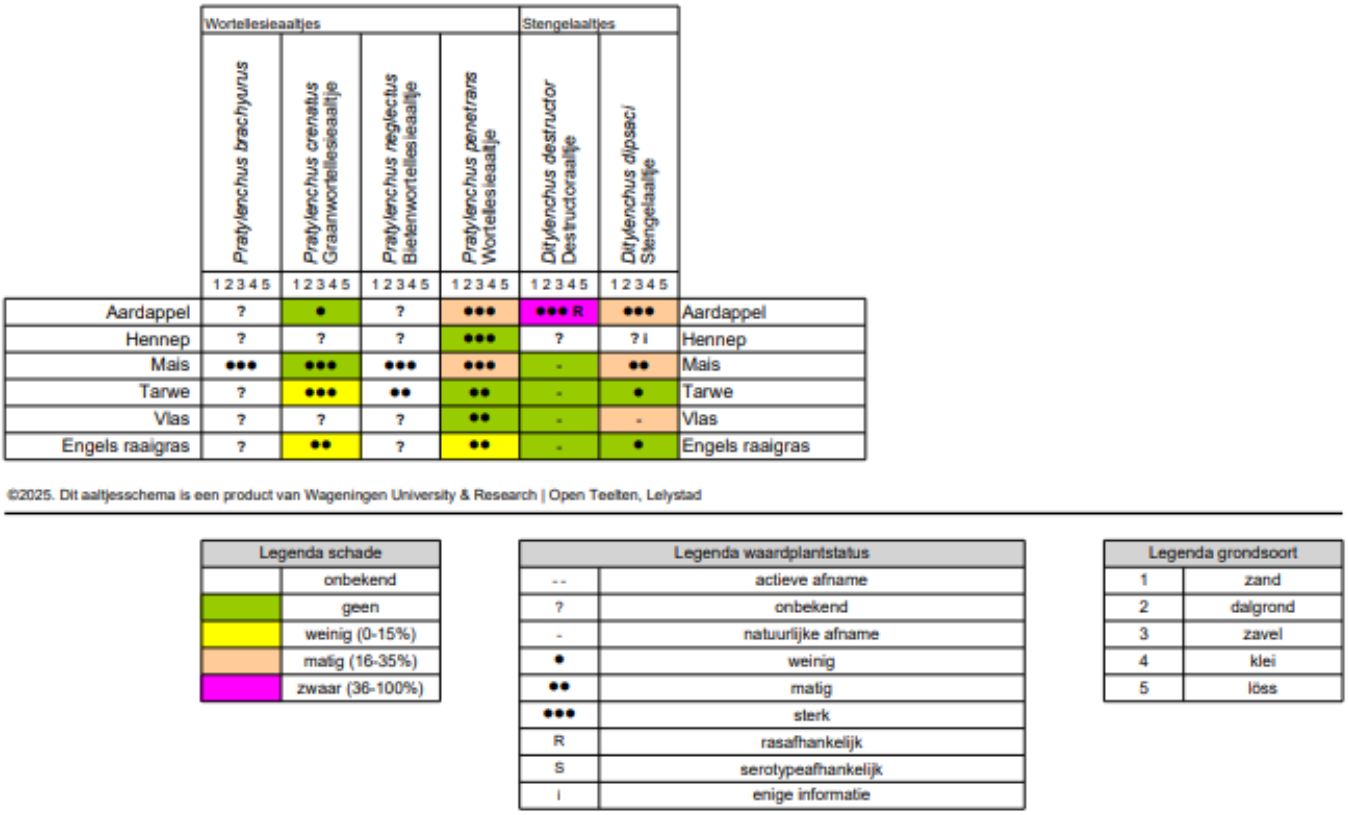
Legenda waardplantstatus	
--	actieve afname
?	onbekend
-	natuurlijke afname
●	weinig
●●	matig
●●●	sterk
R	rasafhankelijk
S	serotypeafhankelijk
i	enige informatie

Legenda grondsoort	
1	zand
2	dalgrond
3	zavel
4	klei
5	löss

Figuur 1: Aaltjesschema wortelknobbelaaltjes (bron aaltjesschema Best4Soil)

Wortellesie- en stengelaaltjes

Wortellesie-aaltjes (*Pratylenchus pene*trans) kunnen vooral voorkomen op zand-, dal- en lichte zavelgronden. Het volgende schema *(*Figuur 2*)* geeft de vermeerdering en schadegevoeligheid voor wortellesie- en stengelaaltjes weer. Hennep is een goede waardplant voor *Pratylenchus penetrans*. Dit bleek uit onderzoek door Wageningen Plant Research (Wijnholds et al., 2009) waar de teelt van hennep een sterke vermeerdering van *Pratylenchus penetrans* gaf. Hiermee is het een aandachtspunt bij de vruchtwisseling. In hennep geeft een besmetting met *Pratylenchus penetrans* geen schade.
In vlas vermeerdert *Pratylenchus penetrans* matig. Ook vlas is niet gevoelig voor schade van *Pratylenchus penetrans.*
De teelt van vlas geeft een natuurlijke afname van het stengelaaltje *Ditylenchus dipsaci*. Vlas is matig gevoelig voor schade van het stengelaaltje *Ditylenchus dipsaci*. Van hennep is onvoldoende bekend of hennep *Ditylenchus dipsaci* vermeerderd en er schade van ondervindt.



	Wortellesieaaltjes				Stengelaaltjes		
	Pratylenchus brachyurus	*Pratylenchus crenatus* Graanwortellesieaaltje	*Pratylenchus neglectus* Bietenwortellesieaaltje	*Pratylenchus penetrans* Wortellesieaaltje	*Ditylenchus destructor* Destructoraaltje	*Ditylenchus dipsaci* Stengelaaltje	
	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	
Aardappel	?	•	?	•••	••• R	•••	Aardappel
Hennep	?	?	?	•••	?	? i	Hennep
Mais	•••	•••	•••	•••	-	••	Mais
Tarwe	?	•••	••	••	-	•	Tarwe
Vlas	?	?	?	••	-	-	Vlas
Engels raaigras	?	••	?	••	-	•	Engels raaigras

©2025. Dit aaltjesschema is een product van Wageningen University & Research | Open Teelten, Lelystad

Legenda schade	
	onbekend
	geen
	weinig (0-15%)
	matig (16-35%)
	zwaar (36-100%)

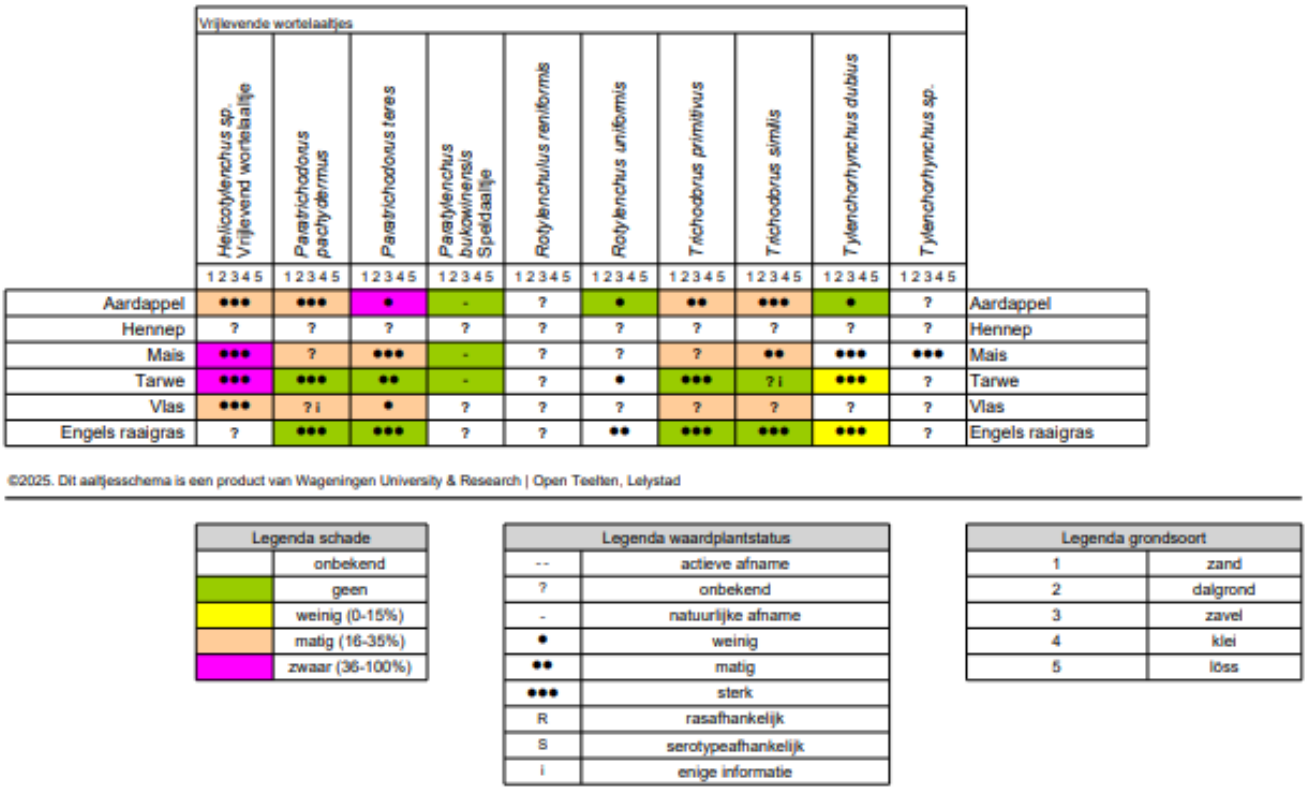
Legenda waardplantstatus	
- -	actieve afname
?	onbekend
-	natuurlijke afname
•	weinig
••	matig
•••	sterk
R	rasafhankelijk
S	serotypeafhankelijk
i	enige informatie

Legenda grondsoort	
1	zand
2	dalgrond
3	zavel
4	klei
5	löss

Figuur 2: Aaltjesschema wortellesieaaltjes en stengelaaltjes (bron aaltjesschema Best4Soil)

Trichodoride en vrijlevende aaltjes

Het volgende schema (Figuur 3) geeft de schadegevoeligheid weer voor Trichodoride aaltjes.



Vrijlevende wortelaaltjes

	Helicotylenchus sp. Vrijlevend wortelaaltje	*Paratrichodorus pachydermus*	*Paratrichodorus teres*	*Paratylenchus bukowinensis* Speldaaltje	*Rotylenchulus reniformis*	*Rotylenchus uniformis*	*Trichodorus primitivus*	*Trichodorus similis*	*Tylenchorhynchus dubius*	*Tylenchorhynchus sp.*	
	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	
Aardappel	●●●	●●●	●	-	?	●	●●	●●●	●	?	Aardappel
Hennep	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	Hennep
Mais	●●●	?	●●●	-	?	?	?	●●	●●●	●●●	Mais
Tarwe	●●●	●●●	●●	-	?	●	●●●	? i	●●●	?	Tarwe
Vlas	●●●	? i	●	?	?	?	?	?	?	?	Vlas
Engels raaigras	?	●●●	●●●	?	?	●●	●●●	●●●	●●●	?	Engels raaigras

©2025. Dit aaltjesschema is een product van Wageningen University & Research | Open Teelten, Lelystad

Legenda schade	
	onbekend
	geen
	weinig (0-15%)
	matig (16-35%)
	zwaar (36-100%)

Legenda waardplantstatus	
--	actieve afname
?	onbekend
-	natuurlijke afname
●	weinig
●●	matig
●●●	sterk
R	rasafhankelijk
S	serotypeafhankelijk
i	enige informatie

Legenda grondsoort	
1	zand
2	dalgrond
3	zavel
4	klei
5	löss

Figuur 3: Vrijlevende wortelaaltjes (bron: aaltjesschema Best4Soil)

Van hennep zijn geen gegevens over de schadegevoeligheid en de vermeerdering van *Trichodoride* en andere vrijlevende wortelaaltjes. Vlas is wel gevoelig voor schade van vrijlevende aaltjes en een sterke vermeerderaar van *Helicotylenchus*. In de Nederlandse literatuur zijn geen meldingen van schade door *Helicotylenchus*.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de schadegevoeligheid de vermeerdering van plant parasitaire aaltjes in de teelt van miscanthus in Nederland. In Oekraïne en Polen is onderzoek naar plant parasitaire aaltjes gedaan en is een grote variatie aan aaltjes gevonden. Schadedrempels voor Europa zijn niet vastgesteld. Alleen in Amerika zijn schadedrempels vastgesteld. (Stefanovska et al., 2021, p 8). Van de gevonden aaltjes overschrijden *Longidorus* en *Pratylenchus* de schadedrempels en kan dit tot oogstverliezen leiden. (Stefanovska et al., 2021, p14-16). In het genoemde onderzoek zijn ook *Trichodoride* en *Paratrichodorus* gevonden, maar hier zijn geen schadedrempels van bekend. *Longidorus*, *Pratylenchus*, *Trichodoride* en *Paratrichodorus* zijn aaltjes die ook in Nederland voorkomen.
Op dit onderwerp is meer onderzoek gewenst, zodat in een bouwplan goede keuzes gemaakt kunnen worden en schade ten gevolge van aaltjes voorkomen wordt.

Conclusie

Vezelgewassen zijn niet gevoeliger voor aaltjesschade dan de gangbare teelten.
De teelt van vlas doet een aantasting met *Meloidogyne chitwoodi* afnemen en is een goede combinatie in een bouwplan met (poot)aardappelen.
Veel gegevens over de schadegevoeligheid en de vermeerdering van aaltjes door hennep zijn nog onbekend. Volgens het aaltjesschema vermeerdert hennep *Pratylenchus penetrans*. In hennep zal dit geen schade opleveren maar het is wel een aandachtspunt bij de vruchtwisseling.
Van miscanthus zijn nog nauwelijks gegevens over de gevoeligheid voor aaltjes en de vermeerdering van aaltjes. Meer onderzoek is wenselijk.

Biodiversiteit

Miscanthus

Behalve de bewerking bij aanplant vinden in de teelt van miscanthus geen grondbewerkingen plaats. Het gewas biedt vooral ’s winters een schuilplaats voor o.a. hazen, muizen en insecten. In de grond onder Miscanthus werden grotere hoeveelheden van bepaalde bacterie- en schimmelgroepen en meer regenworm(activiteit) gevonden. (Van de Goor et al., 2017).

Hennep

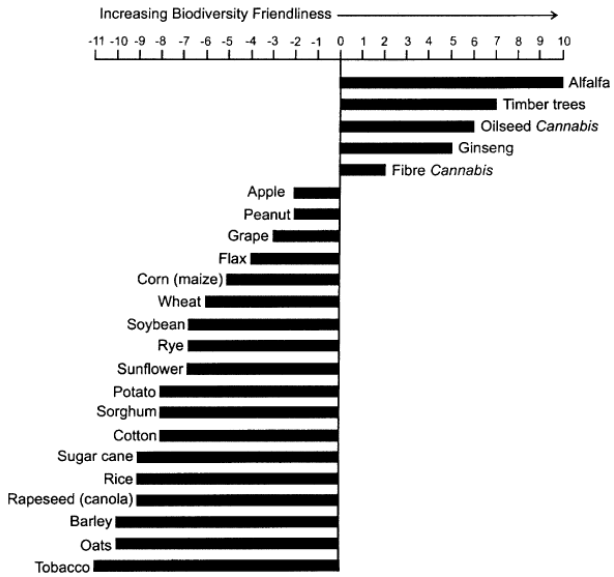
Hennep heeft diepe wortels die de bodemstructuur verbeteren. (Piotrowski et al., 2011, p1). Het gewas biedt ook een goede schuilplaats voor diverse akkervogels (Leendertse et al., 2024, p16). Verder geeft de teelt van hennep een grotere diversiteit in het landschap wat ook gunstig is voor de biodiversiteit (International Hemp Association).

Vlas

Vlas vormt een goed territorium voor diverse akkervogels. (Leendertse et al.,2024, p16). Omdat vlas rijkelijk bloeit trekt het ook insecten aan. (Ruijs, 2024, p24)

Van een groep van 23 gewassen is door Montford & Small (1999) de bijdrage aan biodiversiteit op een rij gezet. Zij hebben hier een 26-tal biodiversiteitsparameters gebruikt, zoals mate van monocultuur, bemesting, impact van de wortels op de bodem en diervriendelijkheid van groei- en oogstproces (Figuur 4). Negatieve scores betekent dat het gewas ongewenst is in relatie tot biodiversiteit, 0 laat zien dat het gewas een gemiddeld of niet te bepalen effect heeft en een waarde van 1 geeft aan dat een gewas gewenst is in relatie tot biodiversiteit.

In Figuur 4 is te zien dat hennep (fibre cannabis) en vlas (flax) hoger scoren dan gewassen als tarwe, aardappel en maïs. Deze cijfers geven een indicatie, de gegevens zijn beperkt bruikbaar voor de Nederlandse situatie omdat zij erg afhankelijk zijn van de context van bijvoorbeeld bouwplan of grondsoort.



Figuur 4: Gewassen in relatie tot biodiversiteit

Waterkwaliteit en -kwantiteit

In het hoofdstuk over de milieubelastingspunten is aangegeven welke impact de teelt van vezelgewassen heeft op de kwaliteit van het grondwater.
Naast de waterkwaliteit is ook gekeken naar de waterkwantiteit *(*Tabel 2*).* De gevoeligheid voor droogte en wateroverlast van de vezelgewassen miscanthus, hennep en vlas is vergeleken met de gangbare gewassen (Leendertse et al., 2024, p 13), (Dekkers, 2000, p30), (Estrella et al., 2022), (Deltaplan Agrarisch Waterbeheer, 2025). Met name hennep en miscanthus zijn goed bestand tegen droogte en wateroverlast.

Tabel 2: Waterkwantiteit: gevoeligheid voor droogte en wateroverlast van miscanthus, hennep, vlas, aardappel, gras, maïs en tarwe

Gewas	Droogtegevoeligheid	Gevoeligheid voor wateroverlast	Opmerkingen
Vlas	Hoog	Hoog	Gevoelig in bloei en oogst
Hennep	Matig tot laag	Matig tot laag	Na zaai voldoende vocht nodig, verder in de teelt tolerant voor droogte, gevoelig bij natte oogst
Miscanthus	Zeer laag (tolerant)	Zeer laag (tolerant)	In het jaar van aanplant gevoelig voor droogte
Aardappel	Zeer hoog	Zeer hoog	Kwetsbaar bij droge en natte perioden
Engels raaigras	Laag	Laag	Herstelt goed
Maïs	Matig	Matig	Gevoelig tijdens bloei/korrelzetting
Tarwe	Matig	Matig	Gevoelig tijdens korrelvulling

Om inzicht te krijgen in het waterverbruik van de diverse gewassen zijn gegevens over de verdamping onmisbaar (Voortman et al., 2021, p1). Van de gangbare gewassen zijn de verdampingscijfers bekend, maar van nieuwe gewassen ontbreken deze nog. De totale verdamping bestaat uit potentiële bodemverdamping en potentiële transpiratie (Voortman et al., 2021, p4). Met verdampingscijfers kunnen we de effecten van gewassen op de waterbalans in een stroomgebied bepalen. (Terink et al., 2023). Er bestaan modellen om de potentiële verdamping uit te rekenen. Het uitwerken van een dergelijk model valt buiten het bestek van deze opdracht, maar is een interessant onderwerp voor vervolgonderzoek. Miscanthus wordt verondersteld een hoog retentiepotentieel te hebben. In Duitsland loopt onderzoek naar het analyseren en kwantificeren van het effect van miscanthus op het verminderen van oppervlakteafvoer (Seeth z.d.).

Doorberekeningen met het NDICEA-model

Om het effect van vezelgewassen op bodem- en waterkwaliteit verder in kaart te brengen zijn doorberekeningen uitgevoerd met het bodemmodel NDICEA. NDICEA is een bodemmodel dat inzicht geeft in o.a. de stikstofdynamiek en organisch stofbalans van een vruchtwisseling. Daarnaast geeft het model inzicht in de effecten van een bouwplan op bodem- en waterkwaliteit met berekeningen over bijvoorbeeld het risico op stikstofuitspoeling en het verloop van organisch stof in de bodem.
Voor dit project zijn de gewassen miscanthus[1] en vezelvlas toegevoegd aan het model. Hennep was al inbegrepen. Met de openbare online versie van NDICEA kunnen gebruikers deze gewassen nu invoeren in het model als onderdeel van hun bouwplan. De webversie van NDICEA is te vinden op www.ndiceaweb.eu. Nadat een account is aangemaakt is een handleiding te vinden in het help-menu van de webversie.

Vezelgewassen als vlas en hennep zijn onderdeel van een bouwplan en kunnen niet los gezien worden van de gehele vruchtwisseling. Voor deze gewassen zijn scenario's ingevoerd in NDICEA waarbij een referentie/gangbaar bouwplan wordt vergeleken met een bouwplan waarin het vezelgewas is opgenomen. De ingevoerde bemesting per gewas is gebaseerd op de stikstofgebruiksnormen (RVO, 2024) en kunnen gevonden worden in Tabel 3.

Tabel 3: Ingevoerde bemesting per gewas voor de NDICEA – doorberekeningen. Aanduidingen van stikstof zijn in eenheden werkzame stikstof per hectare per jaar.

Gewas	N – behoefte (kg N/ hectare)	Drijfmest	Aanvulling met
Tulp	200	n.v.t	KAS
Wintertarwe	240	25 ton (65 kg N)	KAS
Zomergerst	80	15 ton (40 kg N)	KAS
Ui	170	n.v.t	KAS
Consumptieaardappel	250	20 ton (50 kg N)	KAS
Zetmeelaardappel	240	20 ton varkens drijfmest (115 kg N)	KAS
Bieten	150	n.v.t	KAS
Erwten	0 (N-fixerend gewas)	n.v.t.	n.v.t.
Grasland	250	40 ton (100 kg N)	KAS
Snijmaïs	140	25 ton (65 kg N)	Mineralen concentraat
Vlas	70	n.v.t.	KAS
Hennep	100	25-35 ton (60-85 kg N)	n.v.t.
Miscanthus	0-30	n.v.t.	KAS

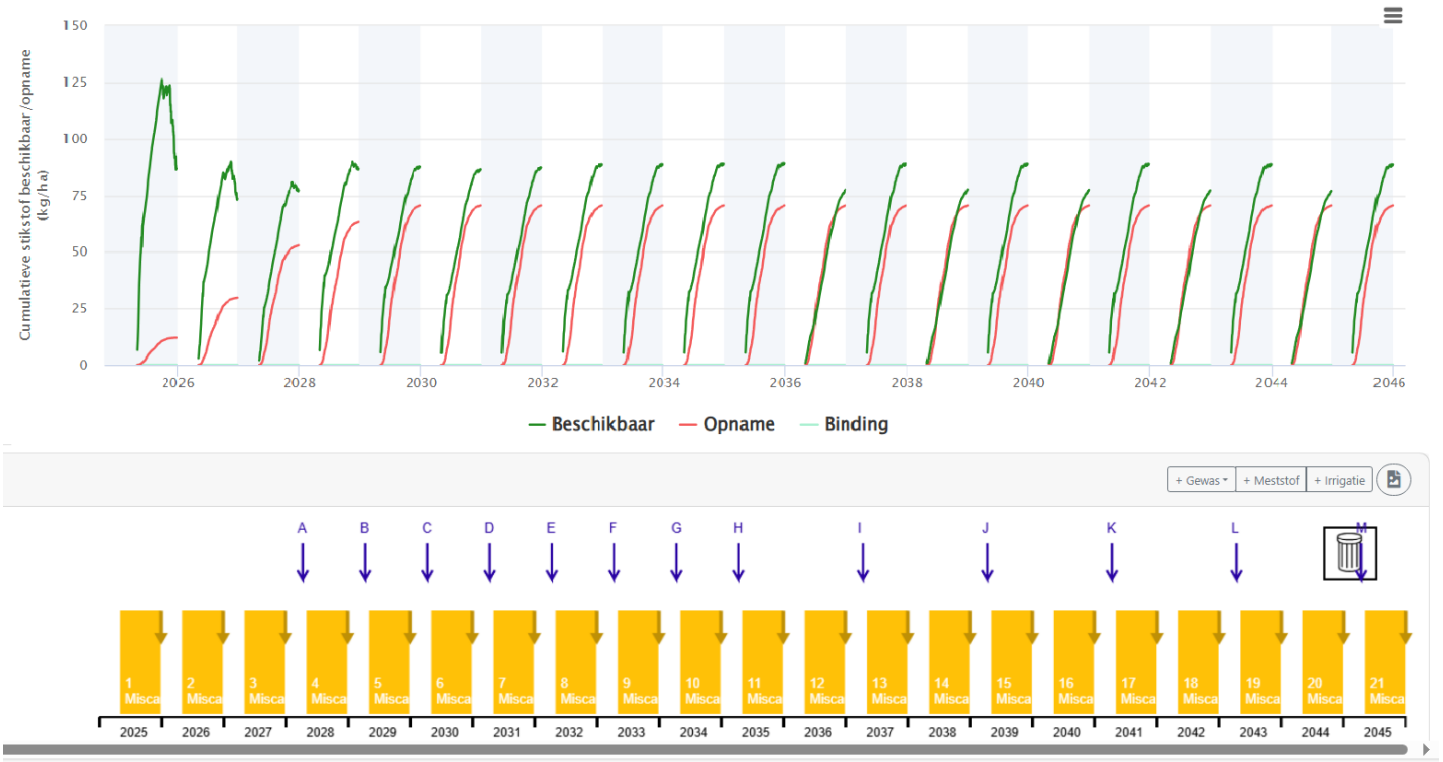
[1] Op het moment van publicatie (Juli 2025) is een demo-versie van miscanthus aan NDICEA toegevoegd. Deze versie vereist bepaalde invoer-aanpassingen in NDICEA. Zie hiervoor Appendix 1.

Miscanthus: meerjarige teelt op zandgrond

Voor het miscanthus scenario wordt de doorberekening uitgevoerd voor zuidelijke zandgronden. Miscanthus wordt in deze doorberekening vergeleken met een 3:3 grasland/maïs bouwplan, inclusief een winterrogge vanggewas na maïs. Het scenario is berekend voor een tijdsperiode van 20 jaar. In jaren met volledige productie is uitgegaan van een opbrengst van 20 ton.

De bemesting van miscanthus is gebaseerd op bestaande teelthandleidingen (Praktijk netwerk “slaap zacht”, 2014; Bestman & Van Eekeren, 2021; Baecke, 2019). Miscanthus heeft over het algemeen zeer weinig stikstofbemesting nodig. Vooral in de eerste jaren na aanplant is bemesting overbodig, en pas vanaf het derde jaar na aanplant kan een kleine stikstofgift nodig zijn. Op kleigrond wordt geadviseerd om niet te bemesten. Echter wordt op zandgrond, zoals het geval in dit scenario, een jaarlijkse gift van 30-60 kg N aangeraden. In dit scenario is miscanthus vanaf het vierde jaar na aanplant jaarlijks bemest met 30 kg N in de vorm van kunstmest (KAS). Resultaten van de doorberekening geven aan dat deze gift voldoende is om de stikstofbehoefte te dekken. Vanaf het tiende jaar na aanplant wordt deze gift om het jaar te geven om inzicht te verkrijgen of een lagere gift ook mogelijk zou zijn op zandgrond. De bemesting van het grasland/maïsbouwplan wordt getoond in Tabel 3.

Stikstofbeschikbaarheid en -opname

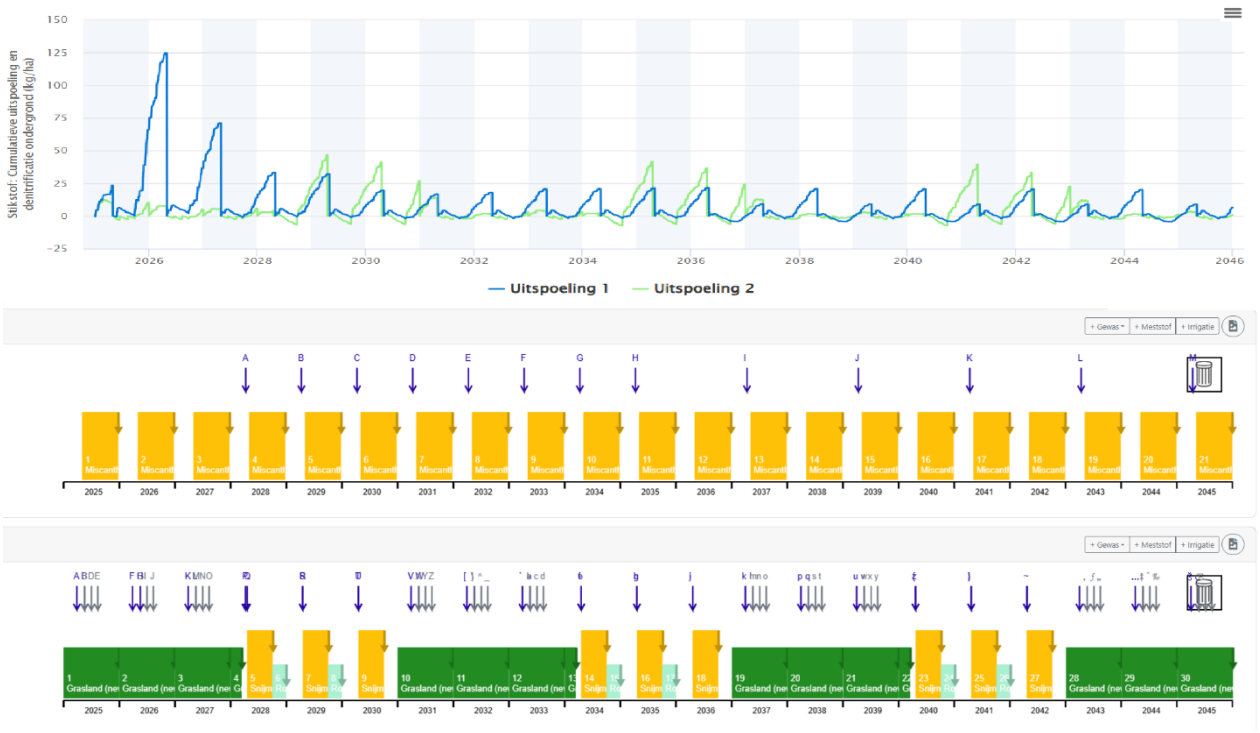


Figuur 5: Beschikbare stikstof en opname van gewassen in het miscanthus bouwplan door de tijd. De groene lijn geeft beschikbare stikstof weer, de rode lijn de opname door het gewas. Onder de grafiek wordt het bouwplan getoond op dezelfde tijdschaal.

In Figuur 5 wordt de beschikbare stikstof en de stikstofbehoefte van het miscanthus bouwplan weergegeven. In de eerste jaren na aanplant is er een duidelijk stikstofoverschot, ondanks dat er nog geen bemesting heeft plaatsgevonden. Dit wordt veroorzaak door de geringe opname van miscanthus in de eerste jaren na aanplant. Deze overschotten nemen echter per jaar af, en vanaf het eerste volledige productiejaar (2028) is het overschot sterk verminderd. De gift van 30 kg N is in de opvolgende jaren

voldoende om de stikstofbehoefte van miscanthus te dekken. Vanaf 10 jaar na aanplant (2036) wordt de N-gift om het jaar aangewend, om inzichtelijk te maken of miscanthus op zandgrond ook met lagere bemesting redelijke opbrengst kan behalen. In de jaren vanaf 2036 dat er niet wordt bemest, loopt de groene lijn van beschikbare stikstof ongeveer gelijk met de rode lijn van opname. Het model berekent dus een licht stikstoftekort in deze jaren. Of met deze lage stikstofgift nog steeds redelijke opbrengsten behaald kunnen worden moet blijken in de praktijk. Eerder onderzoek toont zeer uiteenlopende resultaten wat betreft het effect van stikstofbemesting op de opbrengst van miscanthus (Baecke, 2019).

Stikstofuitspoeling

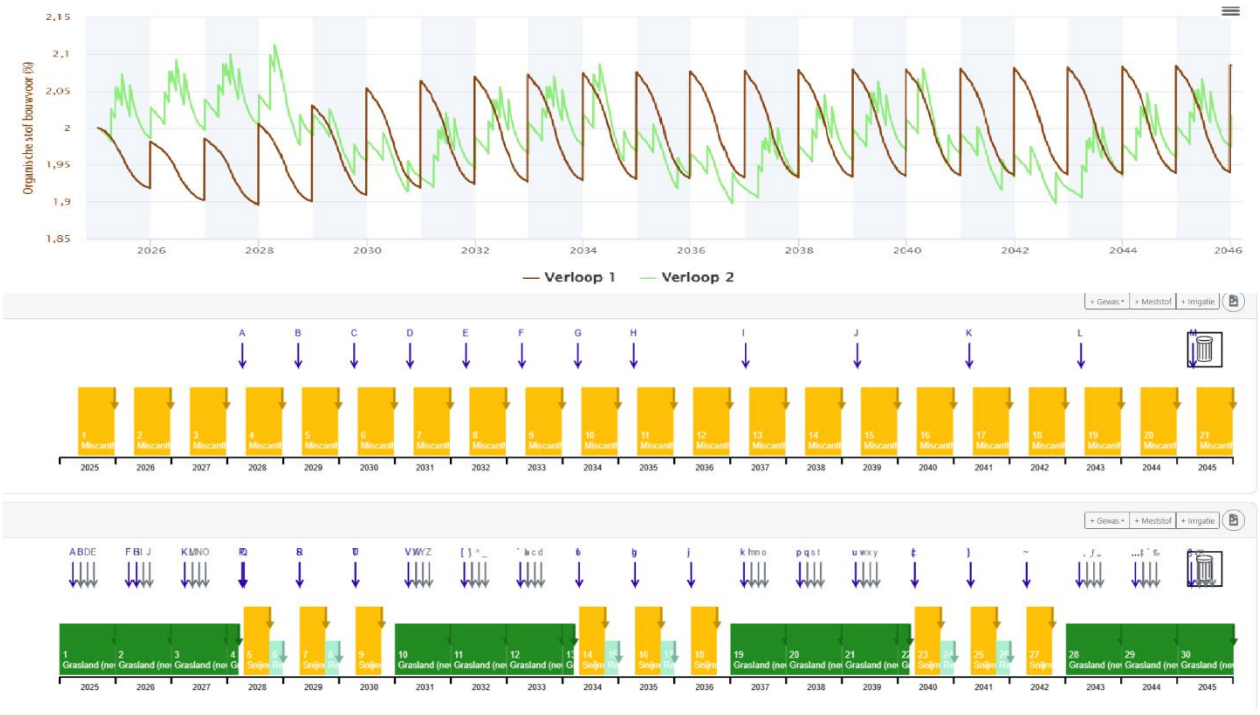


Figuur 6: Berekende cumulatieve stikstofuitspoeling in kg N/ha. De blauwe lijn geeft het miscanthus-bouwplan weer, de groene lijn het referentie-bouwplan. Onder de grafiek worden de bouwplannen op dezelfde tijdschaal vertoond.

Figuur 6 toont de berekende stikstofuitspoeling gedurende de doorgerekende tijdsperiode. De blauwe lijn toont het verloop van het miscanthus-bouwplan, de groene lijn toont de gras/maïs teelt. In de eerste jaren na aanplant van de miscanthus worden hoge stikstofverliezen berekend (respectievelijk 123 kg N/ha, 72 kg N/ha en 33 kg N/ha in het eerste, tweede en derde jaar na aanplant). Het model berekent een hoge afbraak van organisch stof in de bodem, met levering van stikstof als gevolg. De miscanthus produceert nog niet genoeg biomassa in deze eerste jaren om de stikstof goed te benutten, waardoor het risico op uitspoeling hoog is. Het aanplanten van miscanthus zorgt dus niet voor een directe afname in het risico op uitspoeling.
In de opvolgende jaren neemt de berekende uitspoeling echter sterk af. Na het 5^{e} jaar na aanplant (2029) is de uitspoeling per jaar gestabiliseerd, met een jaarlijkse uitspoeling van 16-20 kg N per hectare. In de jaren dat miscanthus volledig productief is en er niet wordt bemest, zoals in 2036 en 2040, is te zien dat de uitspoeling in het najaar miniem is, met een uitspoeling rond de 9 kg N per hectare.

Vergeleken met de gras/maïs-teelt is de berekende uitspoeling van miscanthus zijn er over het algemeen kleine verschillen. Alleen in de eerste jaren na aanplant heeft miscanthus een veel hoger risico op uitspoeling. Tijdens de productieve jaren is de uitspoeling lager bij miscanthus (9-30 kg N/ha/jaar) dan tijdens de teelt van maïs (25-45 kg N/ha/jaar). Als miscanthus niet wordt bemest wordt deze lagere uitspoeling duidelijker waarneembaar. De berekende uitspoeling onder grasland (0-3 kg N/ha/jaar) is lager dan bij miscanthus.
Over het algemeen is grasland in staat stikstof zeer efficiënt op te nemen, tenzij sprake is van overbemesting. Echter wordt vaak hoge uitspoeling van stikstof gemeten na het scheuren van grasland (Velthof et al., 2006). De huidige versie van NDICEA simuleert deze verhoogde levering van stikstof na het scheuren van grasland nog beperkt. Dit zal in een toekomstige update verholpen worden. Het is dus mogelijk dat de berekende uitspoeling in dit scenario wordt onderschat in het gras/maïs-bouwplan.

Organische stof in de bouwvoor



Figuur 7: Organische stof gehalte in de bouwvoor van het miscanthus en grasland-maïs bouwplan. De bruine lijn geeft het miscanthus bouwplan weer, de groene lijn het grasland-maïs bouwplan. Beide bouwplannen worden onder de grafiek getoond op dezelfde tijdschaal.

Figuur 7 geeft het organisch stofgehalte in de bouwvoor van beide bouwplannen weer. Het organisch stofgehalte in het miscanthus-bouwplan toont een duidelijk periodiek patroon. De jaarlijkse piek en toename in organisch stof worden veroorzaakt door de jaarlijkse bladuitval. Deze bladeren verteren vervolgens gedeeltelijk gedurende het groeiseizoen, wat wordt getoond door de afname van organisch materiaal na deze sterke toename. Los van deze jaarlijkse dynamiek toont de grafiek ook een geleidelijk verloop van organisch stof door de jaren heen. De eerste 3 jaar na aanplant van miscanthus neemt het organisch stofgehalte af. De invoer van organisch materiaal is in deze jaren niet genoeg om de natuurlijke afbraak van organische stof te compenseren. Na 2028, zodra de miscanthus volledig productief is, neemt het organisch stofgehalte echter licht toe. Deze toename in organische stof lijkt op een gegeven moment af te vlakken.

De grasland-maïsrotatie toont een duidelijke toename in organische stof tijdens de graslandperiode, maar ook een sterke afname onder maïs. Gedurende de 20 jaar van de doorberekening blijft het organisch stofgehalte van het grasland-maïs scenario ongeveer gelijk, wat overeenkomt met resultaten van eerdere studies (Van Eekeren & Van der Burgt, 2011).

Na 20 jaar berekent het model een toename van 3777 kg organische stof en 1884 kg koolstof in de bodem in het miscanthus scenario, vergeleken met een toename van 517 kg organische stof en 261 kg koolstof in de grasland-maïsrotatie (Tabel 4). Tegelijkertijd is er voor de teelt van miscanthus minder bemesting nodig dan voor grasland/maïs. In Tabel 4 wordt de gemiddelde aanvoer van stikstof (kg N per hectare per jaar) getoond van beide bouwplannen. Jaarlijks werd gemiddeld 215 kg N per hectare meer aangevoerd bij grasland/maïs vergeleken met miscanthus. Vanuit het oogpunt van efficiëntie en verminderde inputs is miscanthus dus beter in het opbouwen van organische stof; met veel minder bemesting wordt een opbouw van organische stof behaald.

Tabel 4: Gemiddelde aanvoer, afvoer en berekend overschot van de doorgerekende bouwplannen in kg N per hectare per jaar en organisch stof en bodem koolstof toename of afname in kg per hectare.

	Miscanthus	Grasland / Maïs	Verschil
Gemiddeld jaarlijks stikstof overschot			
Aanvoer (mest + depositie) (kg N/ha/jaar)	61	283	222
Afvoer (kg N/ha/jaar)	30	237	207
Berekend overschot (kg N/ha/jaar)	30	45	15
Totale toename/afname organische stof in bouwvoor			
Organische stof toename/afname (kg/ha)	3777	517	3260
Bodem koolstof (kg/ha)	1884	261	1623

Discussie

Over het algemeen is de meerjarige miscanthusteelt positief voor de bodem- en waterkwaliteit. Met zeer weinig bemesting is miscanthus in staat om de organische stof in de bodem te verhogen. In het miscanthus scenario was na 20 jaar het organisch stof in de bodem toegenomen met 3777 kg per hectare en de koolstofvoorraad in de bodem met 1884 kg per hectare. In de grasland-maïs rotatie bedroegen deze toenames respectievelijk 517 kg per hectare en 261 kg per hectare.
Uitspoeling onder miscanthus was hoog (33-123 kg N/ha) in de eerste jaren na aanplant. In jaren dat volledige productie wordt gehaald neemt de uitspoeling echter af (9-30 kg N/ha), vooral wanneer niet of weinig wordt bemest. In jaren met bemesting was de uitspoeling onder miscanthus lager dan uitspoeling onder maïs, maar hoger dan grasland. Het beheer van de miscanthusteelt, en het landgebruik dat wordt vervangen door miscanthus is dus een belangrijke factor met het oog op het effect van deze teelt op bodem- en waterkwaliteit.

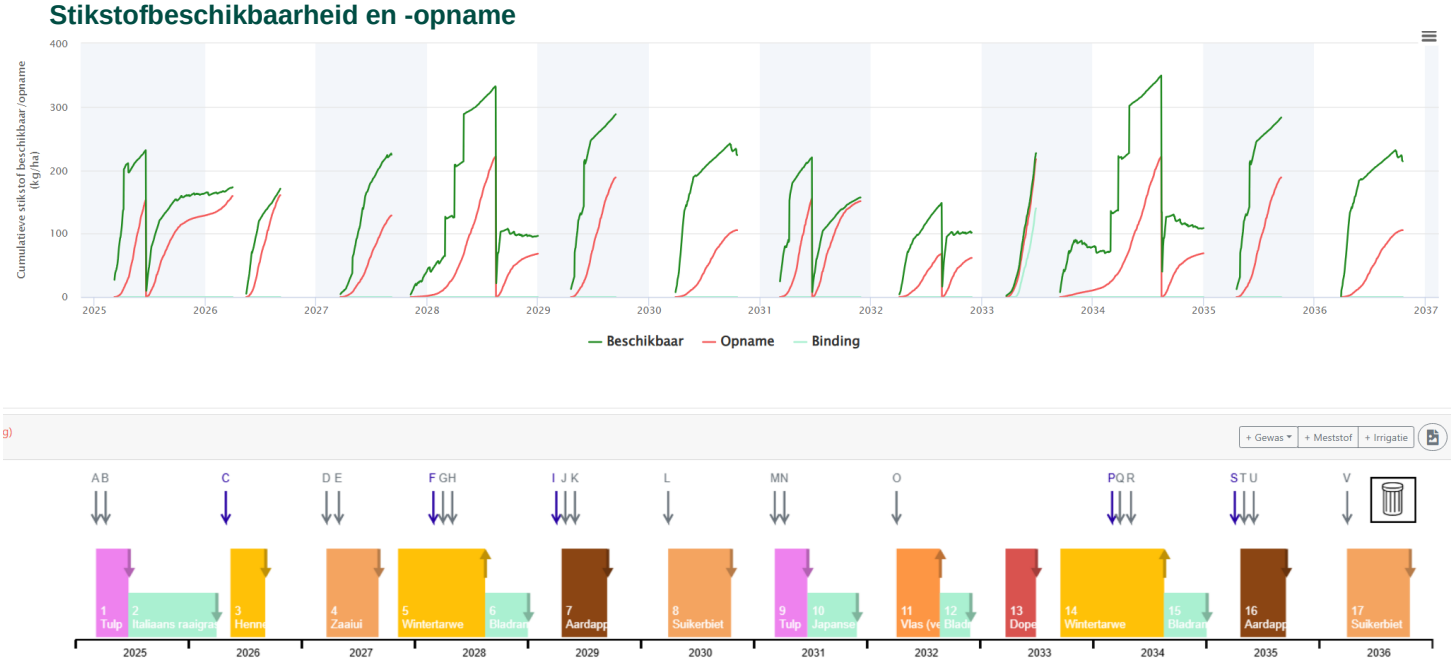
Vlas & Hennep: meerjarige akkerbouwrotatie op zuidwestelijke kleigrond

Voor de doorberekening van vlas en hennep is een meerjarige akkerbouwrotatie doorgerekend. Dit scenario wordt berekend op een zuidwestelijke kleigrond. De bouwplannen volgen een 6-jarige rotatie (Tabel 5). Het scenario wordt doorgerekend voor een periode van 12 jaar, met afwisselend vlas en hennep. De bouwplannen zijn gebaseerd op kennis van experts en openbare perceelgegevens van de regio (https://www.boerenbunder.nl). De ingevoerde bemesting per gewas kan gevonden worden in Tabel 3.

Tabel 5: Gewas rotatie van het referentie en vlas/hennep bouwplan.

Referentie bouwplan		Vlas/Hennep bouwplan	
Jaar	**Gewas**	**Jaar**	**Gewas**
1	Tulp	1	Tulp + groenbemester
2	Wintertarwe + groenbemester	2	Vlas + groenbemester / Hennep (2e rotatie)
3	Uien / Erwten (2e rotatie)	3	Uien / Erwten (2e rotatie)
4	Wintertarwe + groenbemester	4	Wintertarwe + groenbemester
5	Aardappelen	5	Aardappelen
6	Suikerbieten	6	Suikerbieten

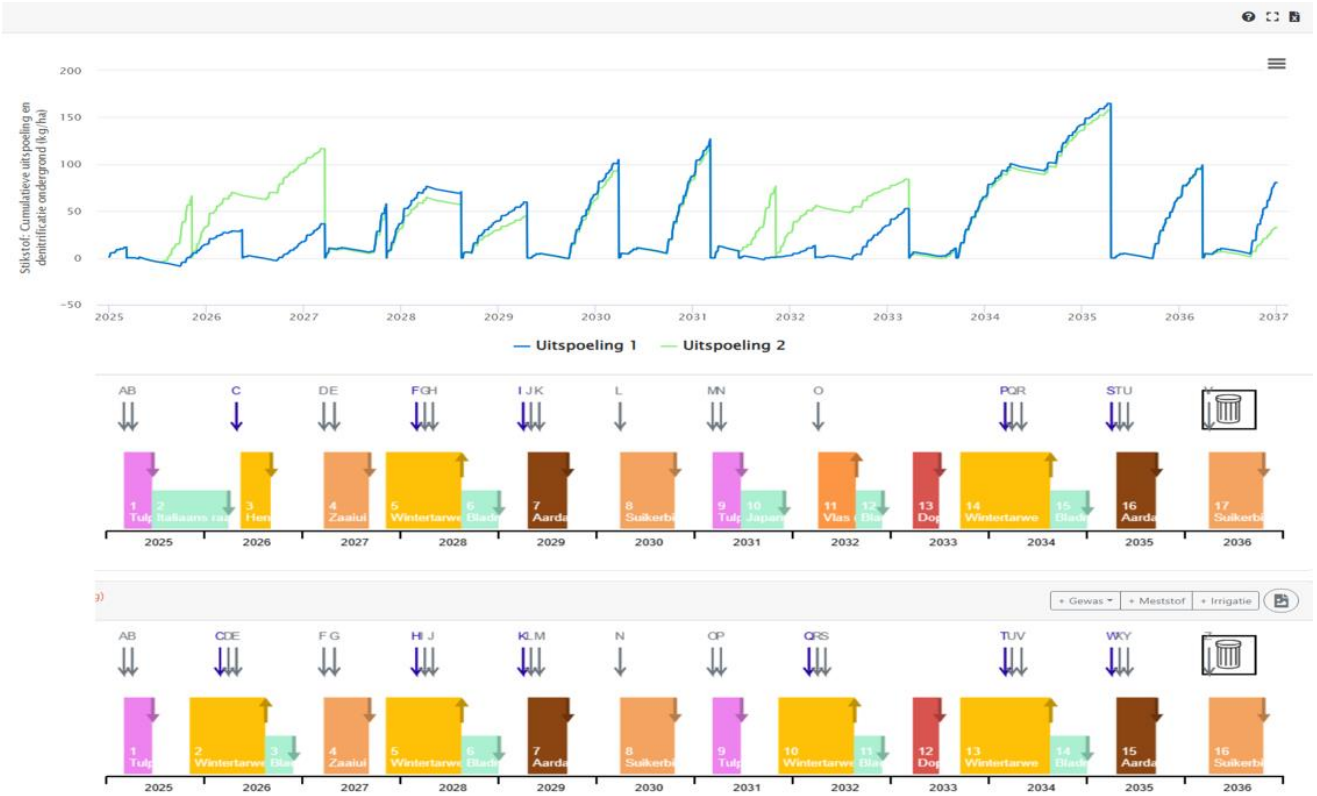
Stikstofbeschikbaarheid en -opname



Figuur 8: Beschikbare stikstof en opname in kg N/ha van gewassen in het vlas/hennep-bouwplan. De groene lijn geeft beschikbare stikstof weer, de rode lijn de opname door het gewas. Onder de grafiek wordt het bouwplan getoond op dezelfde tijdschaal.

Figuur 8 toont de beschikbare stikstof en stikstofopname in het bouwplan met hennep en vezelvlas. Over het algemeen worden er aanzienlijke stikstofoverschotten per gewas berekend, met uitzondering van hennep en doperwten. Hennep heeft dus een hoge stikstofefficiëntie, met lage N-residuen in de bodem in het najaar. Bij vezelvlas wordt echter een relatief groot stikstofoverschot berekend, ondanks een lage gift van 50 kg N. Door de teelt van hennep en vlas is er in dit bouwplan extra ruimte voor de teelt van groenbemesters en vanggewassen, met gevolgen voor uitspoeling en organisch stof opbouw. Dit wordt verder besproken in de volgende secties.

Stikstofuitspoeling



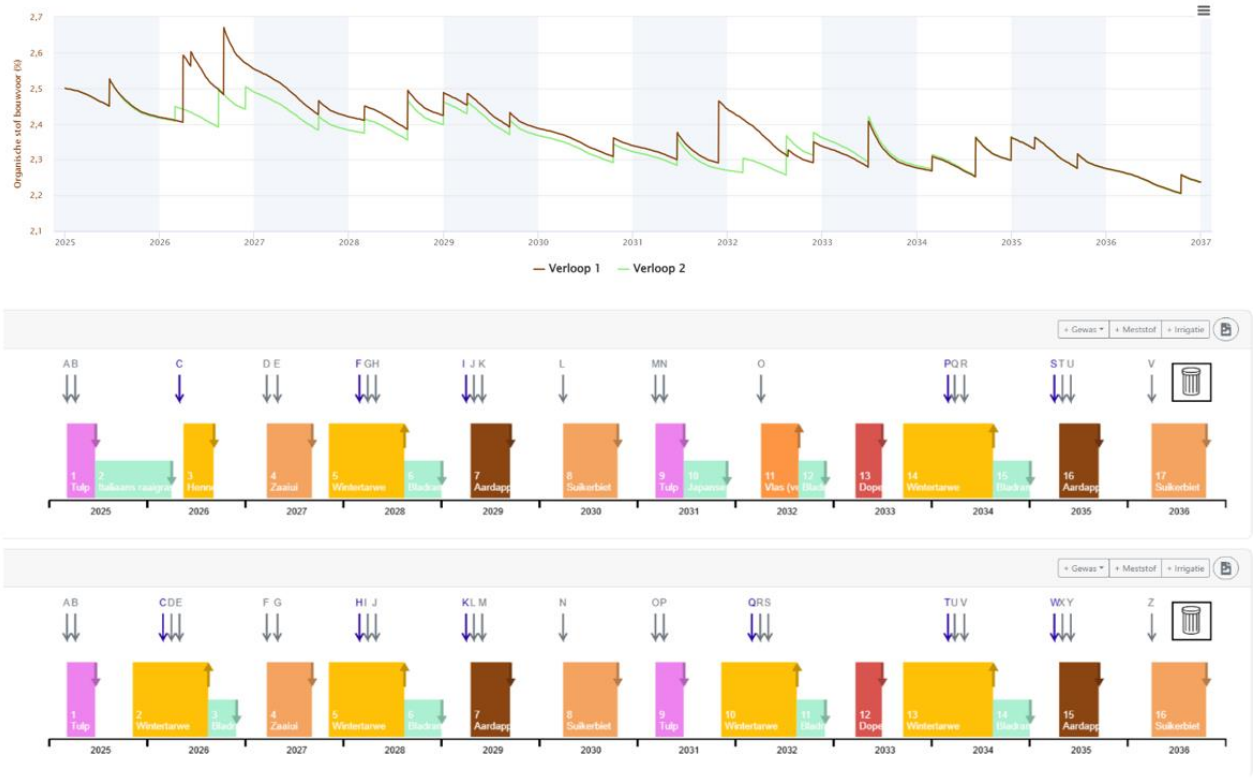
Figuur 9: Berekende cumulatieve stikstofuitspoeling in kg N/ha. De blauwe lijn geeft het vlas/hennep-bouwplan weer, de groene lijn het referentie bouwplan.

Figuur 9 toont de berekende stikstofuitspoeling voor beide bouwplannen. Gedurende het scenario zijn duidelijke verschillen tussen de bouwplannen te zien. Tijdens de teelt van wintertarwe in 2026 (in plaats van hennep) wordt een hogere uitspoeling berekend (117 kg N/ha) dan tijdens de teelt van hennep (36 kg N/ha). Hennep is in dit geval in staat efficiënter om te gaan met de aanwezige stikstof, met minder uitspoeling als gevolg. De teelt van wintertarwe in 2032 (in plaats van vlas) resulteert ook in hogere stikstofuitspoeling (84 kg N/ha) dan bij de teelt van vlas (53 kg N/ha), al is dit verschil kleiner dan bij de hennepteelt.

Door de vervanging van wintertarwe door vezelvlas en hennep ontstaat er ook meer ruimte in het bouwplan voor groenbemesters. Door het late zaaitijdstip van hennep (midden mei) is er meer ruimte voor een vanggewas na de tulpen. Ook voorafgaand aan vlas is er mogelijkheid voor een vanggewas. Vlas

gedijt het best op een stikstofarme bodem om legering te voorkomen. Een vanggewas dat effectief stikstof opneemt, zoals Japanse haver, voorafgaand aan de teelt van vlas kan dit risico verkleinen. Het effect van de inzet van vanggewassen is duidelijk te zien in Figuur 9, met een lagere uitspoeling na de tulpenteelt in het vlas/hennep bouwplan (13-30 kg N/ha) vergeleken met de referentie (62-73 kg N/ha). Echter blijft een tijdige en grondige inwerking van de winterharde groenbemester noodzakelijk. Hennep geeft hier meer mogelijkheid voor door het late zaaitijdstip, maar in de praktijk zijn weer- en bodemomstandigheden doorslaggevend. Vlas wordt in april gezaaid, dus een tijdige inwerking van de (vorstgevoelige) groenbemester is van belang. Gemiddeld genomen over de volledige tijdsperiode van het doorberekende scenario (12 jaar) is het verschil in jaarlijks stikstofoverschot tussen de scenario's slechts 6 kg N per hectare per jaar, ondanks de grote verschillen tijdens de teelten (Tabel 6*)*. Het effect op het stikstofoverschot is tijdens de teelt van vezelgewassen duidelijk zichtbaar, maar dit effect vertaalt zich beperkt op het jaargemiddelde doordat ze maar een beperkt gedeelte van het bouwplan vormen.

Organische stof in de bouwvoor



Figuur 10: Organische stof percentage in de bouwvoor van de twee scenario's. De bruine lijn geeft het vlas/hennep-bouwplan weer, de groene lijn het referentie bouwplan.

Figuur 10 toont het verloop van het organisch stofgehalte in de bodem van beide bouwplannen. Gedurende 10 jaar neemt het organisch stofgehalte in beide scenario's af; van 2,5% naar ongeveer 2,25%. Dit effect wordt ook getoond in Tabel 6. Echter toont de grafiek ook verschillen tussen de bouwplannen. Hennep en vezelvlas hebben direct of indirect een positief effect op de organisch stofbalans. Vooral de productie van biomassa door hennep, en de ruimte die door de vezelgewassen ontstaat voor groenbemesters en vanggewassen pakt positief uit voor het organisch stofgehalte.
In het vlas/hennep bouwplan is er een sterke toename in organische stof na het inwerken van Italiaans raaigras en de oogst van hennep. Beide gewassen produceren veel (ondergrondse) biomassa, en voegen

zo veel organische stof toe aan de bodem. Ook de Japanse haver voorafgaand aan de vezelvlas zorgt voor een toename in organische stof. In beide bouwplannen is het organisch stofgehalte ongeveer stabiel tot 2029, maar neemt het af gedurende de teelt van aardappelen, suikerbieten en tulpen. Het is voornamelijk de opeenvolging van deze intensieve gewassen die de geleidelijke afname in organische stof veroorzaken. De teelt van hennep en vlas kan gezien worden als een belangrijk onderdeel van organischestofbeheer. Echter zijn er aanvullende maatregelen zoals het gebruik van vaste mest en extensivering van het bouwplan nodig om de organische stof in balans te houden.

Tabel 6: Gemiddelde aanvoer, afvoer en berekend overschot van de doorgerekende bouwplannen in kg N per hectare per jaar en organisch stof en bodem koolstof toename of afname in kg per hectare.

	Vlas/hennep	Referentie	Verschil
Gemiddeld jaarlijks stikstof overschot			
Aanvoer (mest + depositie) (kg N/ha/jaar)	213	241	28
Afvoer (kg N/ha/jaar)	117	139	22
Berekend overschot (kg N/ha/jaar)	95	101	6
Totale toename/afname organische stof in bouwvoor			
Organische stof toename/afname (kg/ha)	-10689	-10786	97
Bodem koolstof (kg/ha)	-5345	-5392	47

Discussie

Hennep gaat efficiënt om met stikstof en verlaagt het risico op uitspoeling vergeleken met wintertarwe. Vlas vereist weinig stikstof en kan de bemestingsbehoefte verlagen met vermindering van uitspoeling als gevolg. Door de lage stikstofopname van vlas moet wel extra aandacht worden besteed aan bemesting. Een te hoge gift, of te veel nalevering vanuit de bodem, kan risico op uitspoeling met zich meebrengen en doet de kwaliteit van het product ook niet ten goede. De teelt van hennep zorgde voor een verlaging van de uitspoeling met 81 kg N per hectare vergeleken met wintertarwe, bij vlas bedroeg de verlaging 31 kg N per hectare.

Vlas en hennep kunnen bijdragen aan het behouden en verhogen van het organisch stofgehalte in de bodem. Vooral hennep produceert zeer veel biomassa en voegt veel organische stof toe aan de bodem, wat kan bijdragen aan het verbeteren van de bodemkwaliteit. Daarnaast creëren deze gewassen ruimte in het bouwplan voor groenbemesters, wat ook een positief effect heeft op het organisch stof gehalte. Echter nam het organisch stof gehalte in beide scenario's af. Aanvullende maatregelen zoals gebruik van vaste mest en verdere extensivering van het bouwplan zijn nodig om het organische stofgehalte op peil te houden.

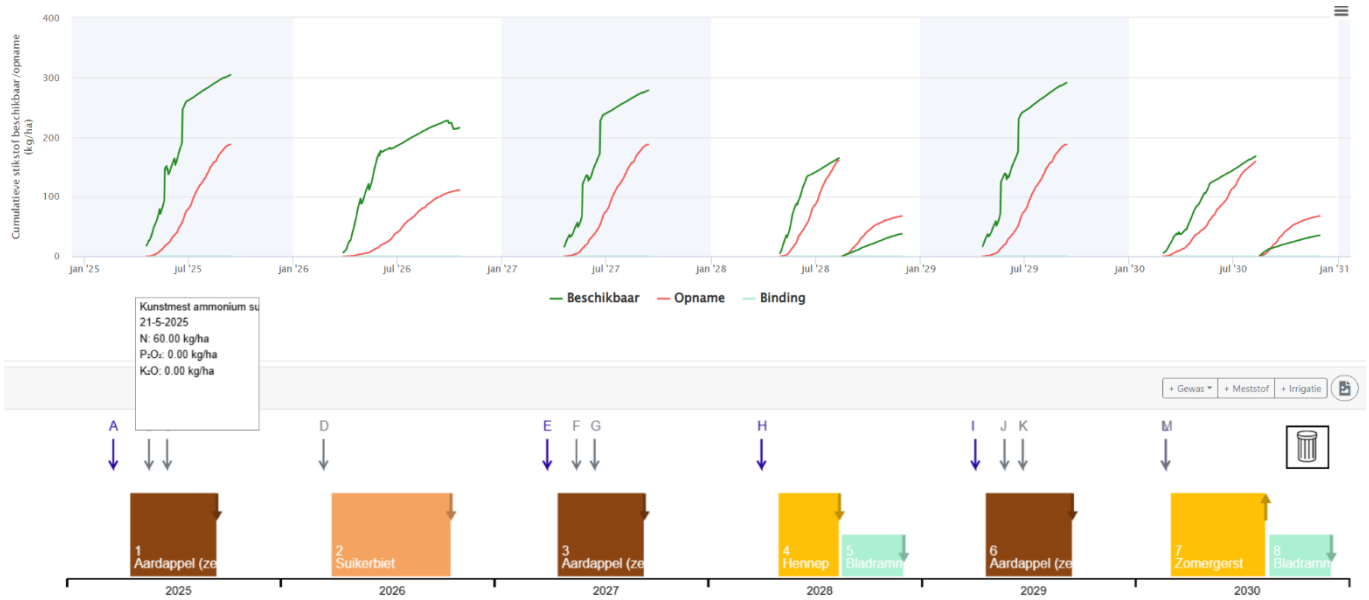
Hennep

Voor het hennep-scenario is een doorberekening uitgevoerd gebaseerd op noordoostelijke dalgronden. De bouwplannen zijn gebaseerd op een studie van De Wolf et al. (2012). Het referentie-bouwplan is een typisch veenkoloniaal 1:2 bouwplan. In het hennep bouwplan wordt in jaar 4 zomergerst vervangen door hennep (Tabel 7). De bemesting per gewas is te vinden in Tabel 3.

Tabel 7: Het referentie en hennep bouwplan die zijn doorgerekend in het NDICEA model.

Referentie bouwplan		Hennep bouwplan	
Jaar	**Gewas**	**Jaar**	**Gewas**
1	Zetmeelaardappelen	1	Zetmeelaardappelen
2	Suikerbieten	2	Suikerbieten
3	Zetmeelaardappelen	3	Zetmeelaardappelen
4	Zomergerst + bladrammenas	4	Vezelhennep + bladrammenas
5	Zetmeelaardappelen	5	Zetmeelaardappelen
6	Zomergerst + bladrammenas	6	Zomergerst + bladrammenas

Stikstofbeschikbaarheid en -opname

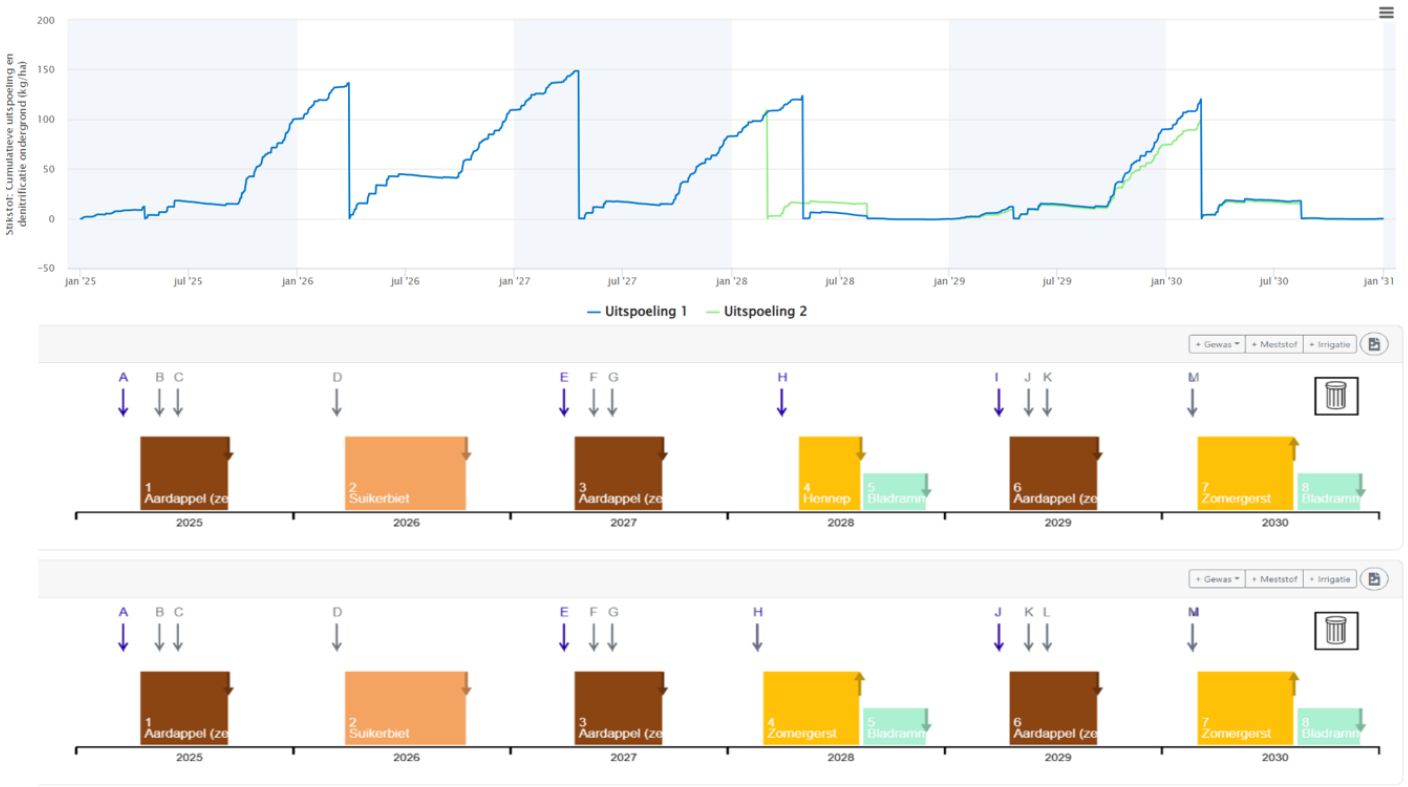


Figuur 11: Beschikbare stikstof en opname van gewassen in het vezelhennep bouwplan door de tijd. De groene lijn geeft beschikbare stikstof weer, de rode lijn de opname door het gewas. Onder de grafiek wordt het bouwplan getoond op dezelfde tijdschaal.

In Figuur 11 wordt de beschikbare stikstof en de stikstofbehoefte van het hennep bouwplan weergegeven. Met uitzondering van hennep en zomergerst worden er duidelijke N-overschotten berekend voor de gewassen. Voor de bladrammenas worden N-tekorten voorspeld. Aangezien dit gewas als vanggewas

wordt geteeld, is hier geen verdere bemesting toegediend. De gevolgen van deze resultaten op N-uitspoeling worden in de volgende sectie besproken.

Stikstofuitspoeling



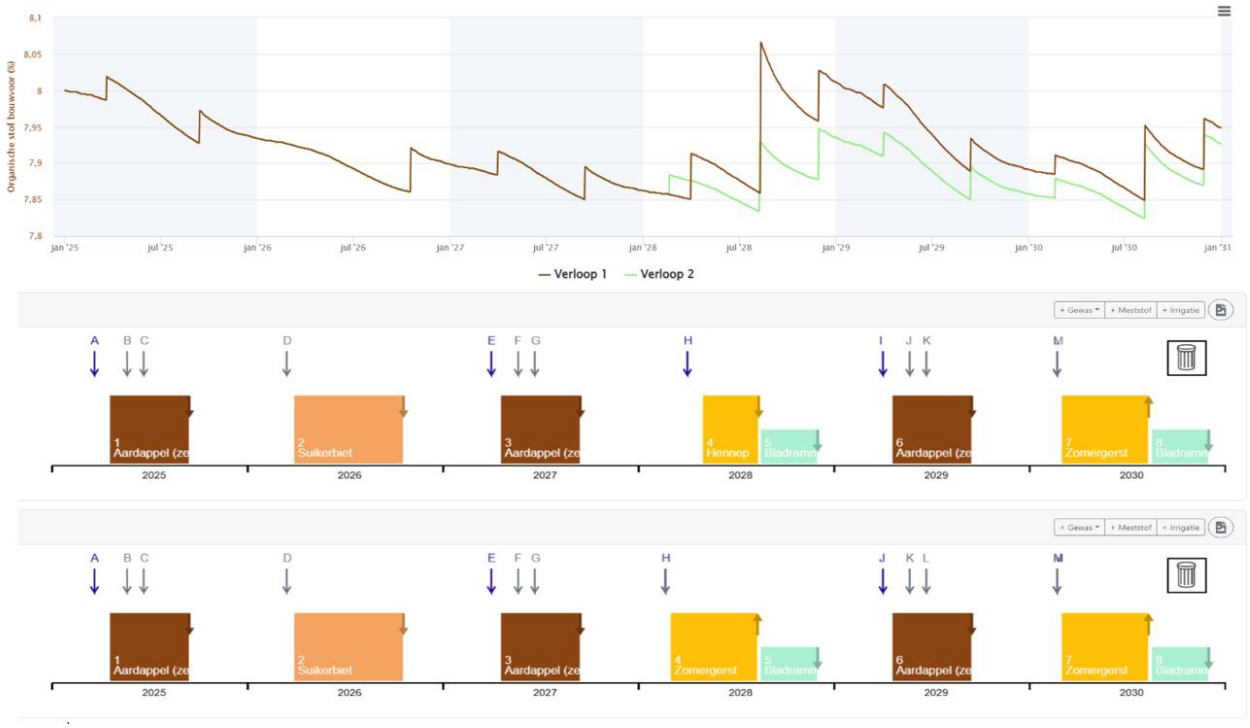
Figuur 12: Berekende cumulatieve stikstof uitspoeling in kg N/ha. De blauwe lijn geeft het hennep-bouwplan weer, de groene lijn het referentie bouwplan.

Figuur 12 laat de berekende stikstofuitspoeling van het vezelhennep-bouwplan en het referentie-bouwplan zien. In het voorjaar van 2028 wordt meer cumulatieve uitspoeling berekend in het vezelhennep-bouwplan (120 kg N/ha) dan in het referentie-bouwplan (106 kg N/ha). Dit wordt veroorzaakt door het latere moment van zaaien bij hennep. Hennep wordt doorgaans eind april/begin mei gezaaid, terwijl zomergerst een maand eerder gezaaid wordt. Hierdoor is de bodem bij de teelt van zomergerst eerder bedekt, en neemt het risico op uitspoeling af. Zodra de hennep wordt ingezaaid is echter te zien dat uitspoeling daalt en gedurende de rest van het jaar nagenoeg verwaarloosbaar blijft. Bij de zomergerst blijft er enige uitspoeling aanwezig gedurende de teelt (15 kg N/ha). Hennep is dus heel goed in staat om de beschikbare stikstof op te nemen en zo verdere uitspoeling gedurende het groeiseizoen te voorkomen.

In het najaar van 2029 is te zien dat de stikstofuitspoeling hoger uitvalt in het hennep bouwplan (120 kg N/ha) vergeleken met de referentie (100 kg N/ha). Twee factoren kunnen dit grotendeels verklaren. Ten eerste is er meer bemest bij de hennep dan bij de zomergerst, namelijk 100 kg N voor hennep, vergeleken met 80 kg N voor zomergerst. De bemesting van hennep bestond daarnaast volledig uit rundveedrijfmest (Tabel 3). Stikstof uit dierlijke mest komt geleidelijk vrij, en niet alle stikstof wordt geleverd in één

groeiseizoen. Het model simuleert dat de stikstof uit de dierlijke mest geleidelijk vrij komt gedurende de opvolgende jaren, wat het verschil in uitspoeling deels verklaart.
Ten tweede is het mogelijk dat er stikstof-nalevering ontstaat door de vertering van de wortel- en gewasresten van de hennep. Figuur 13 laat zien dat de hoge hoeveelheid organisch materiaal dat wordt toegevoegd door de hennep ook weer snel verteert in de opvolgende jaren. Mogelijk komt er veel stikstof beschikbaar uit deze vertering. Er is verder onderzoek nodig om te vast te stellen of de vertering van de gewasresten van hennep inderdaad verloopt zoals getoond in deze doorberekening, en of hier significante stikstoflevering door wordt veroorzaakt. Gemiddeld is het stikstofoverschot in het hennep bouwplan 98 kg N per hectare, vergeleken met 79 kg N per hectare in de referentie (Tabel 8).

Organische stof in de bouwvoor



Figuur 13: organisch stofgehalte in de bouwvoor van de twee scenario's. De bruine lijn geeft het hennep-bouwplan weer, de groene lijn het referentie bouwplan

Figuur 13 geeft het verloop van de organische stof in de bouwvoor van beide scenario's weer. In de grafiek is een duidelijke toename in het organisch stofgehalte te zien na de oogst van hennep in 2028. Deze toename is hoger dan in het referentie bouwplan. Ondanks dat hennep een relatief korte teelt is, is het toch in staat zeer veel biomassa te produceren en toe te voegen aan de bodem. Overigens wordt het stro van de zomergerst in dit scenario afgevoerd. Als er wordt gekozen om het stro in te werken zal het verschil tussen de scenario's afnemen. De grote toename die te zien is in 2028 in het hennep bouwplan neemt geleidelijk af gedurende de opvolgende jaren. Aan het einde van de doorgerekende periode is het verschil tussen hennep en zomergerst afgenomen. Het model berekent dat het organisch materiaal van de hennep dus relatief snel verteert. Na de 6 jaar van de doorberekening is het organisch stofgehalte in het hennep-scenario afgenomen met 1933 kg per hectare, de bodem koolstofvoorraad neemt af met 967 kg per hectare. Bij het referentie scenario wordt een sterkere afname van 2737 kg organisch stof per

hectare en 1369 kg bodem koolstof per hectare berekend (Tabel 8). Ook in dit geval zijn aanvullende maatregelen nodig om het organisch stofgehalte op peil te houden. Desalniettemin kan geconcludeerd worden dat hennep een positief effect heeft op organisch stof opbouw vergeleken met zomergerst.

Tabel 8: Gemiddelde aanvoer, afvoer en berekend overschot van de doorgerekende bouwplannen in kg N per hectare per jaar en organisch stof en bodem koolstof toename of afname in kg per hectare

	Hennep	Referentie	Verschil
Gemiddeld jaarlijks stikstof overschot			
Aanvoer (mest + depositie) (kg N/ha/jaar)	221	214	7
Afvoer (kg N/ha/jaar)	122	135	13
Berekend overschot (kg N/ha/jaar)	98	79	19
Totale toename/afname organische stof in bouwvoor			
Organische stof toename/afname (kg/ha)	-1933	-2737	804
Bodem koolstof (kg/ha)	-967	-1369	402

Discussie

Dit scenario laat zien dat het effect van vezelgewassen op bodem- en waterkwaliteit sterk afhangt van de plek die het vezelgewas inneemt in het bouwplan. In dit scenario werd zomergerst vervangen door hennep. Zomergerst is goed in staat om stikstof op te nemen, en door het relatief vroege zaaitijdstip vergeleken met hennep nam het risico op uitspoeling dan ook eerder af in het referentie-bouwplan. Het risico op uitspoeling voorafgaand aan de hennepteelt kan worden verlaagd door de juiste inzet van groenbemesters. De stikstofopname van hennep was echter wel zodanig efficiënt dat nauwelijks uitspoeling werd berekend tijdens de teelt, terwijl enige uitspoeling aanwezig was bij de zomergerst. Hennep was in staat om veel organische stof toe te voegen aan de bodem in een korte tijd. Ondanks de afname van het organisch stofgehalte in beide scenario's is het effect van hennep in dit geval positief vergeleken met zomergerst. Door de late oogst van aardappelen is er weinig ruimte voor een vanggewas voor de hennep teelt. In het vlas/hennep-scenario op kleigrond was te zien dat de ruimte die in een bouwplan ontstaat voor groenbemesters door het telen van vezelgewassen een positieve invloed heeft op de bodem- en waterkwaliteit. Hoe vezelgewassen in de rotatie worden ingezet en welke kansen dat biedt voor aanvullend beheer, bepaalt in belangrijke mate de uiteindelijke effecten van deze gewassen op stikstofuitspoeling en de opbouw van organisch stof.

Conclusie

In dit rapport is onderzocht wat de impact is van de vezelgewassen miscanthus, hennep en vlas op bodem- en waterkwaliteit. Deze gewassen worden gekenmerkt door een lage milieubelasting, een gunstige invloed op de bodemstructuur en, in veel gevallen, een efficiënte benutting van nutriënten en water. Elk gewas vertoont unieke eigenschappen die van invloed zijn op onder andere bodemstructuur, organische stofopbouw, stikstofdynamiek, waterhuishouding en het gebruik van gewasbescherming.

Miscanthus

Miscanthus scoort overwegend positief op het gebied van bodem- en waterkwaliteit. De milieubelasting van dit gewas is nihil, doordat er nauwelijks gewasbeschermingsmiddelen worden ingezet. Miscanthus is bovendien goed bestand tegen zowel droogte als wateroverlast, met uitzondering van het eerste jaar na aanplant. De diepe beworteling draagt bij aan een goede bodemstructuur en maakt de plant zeer tolerant voor uiteenlopende weersomstandigheden.

Uit de NDICEA-doorberekening bleek miscanthus het organisch stofgehalte met 3777 kg per hectare te verhogen na 20 jaar en de bodemkoolstof voorraad met 1884 kg per hectare. Deze toename was hoger dan in het grasland/maïs referentie scenario (517 kg/ha organische stof, 261 kg/ha bodem koolstof). Daarnaast vereist miscanthus zeer weinig bemesting voor deze opbouw van organisch stof.
In de eerste drie tot vier ja na aanplant is het risico op stikstofuitspoeling bij miscanthus relatief hoog. Naarmate de biomassaopbrengst toeneemt, neemt deze uitspoeling af. Gemiddeld over de volledige levensduur van het gewas (20+ jaar) blijft de stikstofuitspoeling beperkt, al speelt de toegepaste bemesting hierbij een bepalende rol. Miscanthus scoorde over het algemeen beter dan maïs, maar slechter dan grasland wat betreft uitspoeling en organisch stof opbouw.

Hennep

Ook hennep heeft een positieve invloed op bodem- en waterkwaliteit. Het gewas kent geen milieubelastingspunten omdat er geen gewasbescherming nodig is. Hennep is bovendien robuust: het is weinig gevoelig voor droogte of wateroverlast en beschikt over een goed ontwikkeld wortelstelsel, wat de bodemkwaliteit ten goede komt. Daarnaast kan hennep in korte tijd aanzienlijke hoeveelheden organische stof toevoegen aan de bodem. Hennep gaat zeer efficiënt om met stikstof in de bodem, waardoor uitspoeling tijdens de teelt minimaal is. Echter kan het relatief late zaaitijdstip van hennep (eind april/half mei) het risico op uitspoeling in het voorjaar vergroten. Hennep vermeerdert het wortellesieaaltje *Pratylenchus penetrans.* Dit is een aandachtspunt bij de vruchtwisseling.

Vlas

In vergelijking met de andere vezelgewassen vraagt de teelt van vlas om meer aandacht om tot een positief effect op bodem- en waterkwaliteit te komen. Het gebruik van de insecticide deltamethrin ter bestrijding van trips in vlas pakt zeer negatief uit voor de milieubelasting. Als het gebruik van deze insecticide achterwege blijft is de milieubelasting van vlas echter zeer laag. In vergelijking met miscanthus en hennep is vlas gevoeliger voor droogte en wateroverlast. Deze gevoeligheid maakt het gewas kwetsbaarder onder wisselende weersomstandigheden, wat een aandachtspunt is bij de teeltplanning.

Vlas heeft zeer weinig stikstof nodig en kan daarmee de bemesting behoefte in een rotatie verminderen en het risico op uitspoeling verkleinen. Daarnaast blijkt dat de teelt van vlas de populatie van het

wortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi* kan verminderen, wat gunstig is voor de bodemgezondheid in aaltjesgevoelige rotaties.

Vervolgonderzoek

In dit rapport is globaal ingegaan op de waterbehoefte van de vezelgewassen. Het waterverbruik zou gemodelleerd kunnen worden om zo inzichtelijk te krijgen wat het waterverbruik precies is.
Daarnaast zijn er nauwelijks gegevens over de schadegevoeligheid en de vermeerdering van plan parasitaire aaltjes door miscanthus. Op deze onderwerpen is meer onderzoek gewenst. Verdere doorontwikkeling van de teelt van vezelgewassen, met aandacht voor hun plek in het bouwplan, bemesting en de inzet van groenbemesters, kan hun positieve impact op bodem- en waterkwaliteit versterken.

Bronnen

Baecke, F. (2019). *Teelthandleiding Miscanthus giganteus (Olifantsgras)*. Growing A Green Future. https://carbonfarmers.nl/wp-content/uploads/2023/11/Teelthandleiding-Miscanthus-Giganteus-Olifantsgras.pdf

Best4Soil. *Aaltjesschema.* https://nematodeschema.soilhealthtool.eu/nl-nl/Nematode-scheme

Bestman, M., & Van Eekeren, N. (2021). *Teelt van Miscanthus voor strooisel*. Louis Bolk Instituut. https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/teelt-van-miscanthus-voor-strooisel.pdf

Bionext. (2024). *Biologisch en het nieuw gemeenschappelijk landbouwbeleid*. https://bionext.nl/projecten/biologisch-en-het-nieuwe-glb

Boer & Bunder. (z.d.). *Boer & Bunder*. Geraadpleegd op 22 mei 2025, van https://www.boerenbunder.nl

Boerennatuur Brabant. (z.d.). *Monitoring van bodemkwaliteit miscanthuspercelen te Leende*. https://boerennatuurbrabant.nl/monitoring-van-bodemkwaliteit-miscanthuspercelen-te-leende/

Building Balance. (z.d.). *Ketenontwikkeling agro*. https://buildingbalance.eu/ketenontwikkeling/agro

Building Balance. (2025). *Rapport Vezelhennep: Teeltjaren 2023/24*. https://buildingbalance.eu/app/uploads/2025/02/Rapport-hennepteelt-teeltjaren-2023_24-2.pdf

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2022). *Akkerbouwgewassen*. StatLine. https://www.cbs.nl/statline

Dacom Farm Intelligence. (2025). *Boer&Bunder: Open data over percelen in een oogopslag*. https://boerenbunder.nl/

Delphy. (2024). *Nadere uitwerking effect vezelgewassen*. Nationaal Kenniscentrum Biobased Bouwen (NKBB). https://nkbb.org/doc/nadere-uitwerking-effect-vezelgewassen/

Den Toonder, J. (2025). *Miscanthus en ondergrondse organische stofopslag*. Louis Bolk Instituut.

Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (2025) *Overzicht: welke vezelteelt is geschikt voor welke grondsoort?* Overzicht: welke vezelteelt is geschikt voor welke grondsoort? - Deltaplan Agrarisch Waterbeheer

Estrella, D[1]. Bartholomeus, R.[2], Vanden Nest, T.[1], Garré, S.[1] *Effect van grondwaterstanden en wateroverlast op teeltfactoren.*(2022) ILVO[1], KWR, WUR[2] https://doi.org/10.5281/zenodo.7730522

Inagro. (z.d.). *Aandachtspunten bij een duurzame ziektebestrijding van vlas*. https://inagro.be/teelt-en-dier/akkerbouw/nijverheidsgewassen/vlas/aandachtspunten-bij-een-duurzame-ziektebestrijding

Inagro. (z.d.). *Hoe hennep telen?* https://inagro.be/themas/groene-grondstoffen/hoe-hennep-telen

Inagro. (z.d.). *Hoe teel je industriële hennep?* https://inagro.be/themas/groene-grondstoffen/hoe-hennep-telen/hoe-teel-je-industriele-hennep

International Hemp Association. (z.d.). *A comparison of the biodiversity friendliness of crops*. https://internationalhempassociation.org/jiha/jiha6206.html

Jacobsson, E. (2018). *Environmental impact analysis of flax fibre cultivation for composite reinforcement* [Master's thesis, Mid Sweden University]. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1242461

Kennisakker. (2005). *Teelthandleiding vezelvlas: Insecten en aaltjes*. https://kennisakker.nl/archief-publicaties/teelthandleiding-vezelvlas-insecten-en-aaltjes652

Leendertse, P., Lageschaar, L., Hees, E., Van Well, E., & Rietberg, P. (2020). *Bijdrage vlas en hennep aan milieu- en klimaatdoelstellingen van het toekomstig EU-landbouwbeleid*. CLM.

Meeusen, M. J. G., & Van Ruiten, C. A. J. (2024). *Opties voor de teelt van vezelgewassen voor biobased bouwmaterialen in de Nederlandse landbouw* (pp. 44–46).

Peters, R., Visser, J., & Van der Gugten, A. (2024). *Effecten op de bodemgezondheid van vezelgewassen in de rotatie*. Wageningen University & Research.

Piotrowski, S.,Carus, M., (2011) *Ecological benefits of hem pand flax clultivation and products.* Nova Institut

Praktijknetwerk 'Slaap Zacht'. (2014). *Teelthandleiding Miscanthus*. Veenweiden Innovatiecentrum, PPP-Agro Advies, & Wageningen UR Livestock Research. https://www.veenweiden.nl/wp-content/uploads/2014/07/Teelthandleiding-Miscanthus-door-Netwerk-Slaap-Zacht-maart-2014-def.pdf

Prins, U., Heupink, D., (2023) *Landbouwmonitoring 2021 Buijtenland van Rhoon.* Louis Bolk Instituut

Ruijs, S. (2014). *Vlas en biodiversiteit*. In opdracht van Landschap Overijssel.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2024, december). *Tabel 2: Stikstof landbouwgrond – 2025* [PDF]. RVO. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-12/Tabel-2-Stikstof-landbouwgrond-2025_0.pdf

Sativa University (2025) Environmental Benefits of Hemp: A Sustainable Solution

Schröder, J. J., & Van Middelkoop, J. C. (2016). *Milieukundige voetafdruk van de teelt van ruwvoergewassen*. Wageningen Plant Research.

Stefanovska, T. R., Skwiercz, A., & Pidlisnyuk, V. (2021). *Plant feeding insects and nematodes associated with Miscanthus*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14–16.

Sunbelt Biofuels. (2010). *About Giant Miscanthus*. http://www.sunbeltbiofuelsllc.com/about-giant-miscanthus.html

Van Dam, A. M., Clevering, O. A., Voogt, W., Aendekerk, T. G. L., & Van der Maas, M. P. (2017). *Zouttolerantie van landbouwgewassen*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Van de Bilt Zaden. (z.d.). https://vandebiltzadenvlas.com

Van de Goor, S., Van Eekeren, N., De Vliegher, A., Pannecoucque, J., Vandecasteele, B., & Van Waes, J. (2017). *Sorghum als derde gewas in de melkveehouderij*. Louis Bolk Instituut & ILVO.

Van den Oever, M., De Wagenaar, D., Hosper, G., Reinders, M., Vermeire, S., De Raeve, A., Scheffer, M., Sauveur, R., Calciolari, L., Jurrius, A., Mahy, J. (2023). *Handboek vezelhennep, -verwerking en -toepassingen*. Wageningen University & Research.

Van Houwelingen, P. (2014, 9 september). *Aardappel heel efficiënt met water*. Akkerwijzer. https://www.akkerwijzer.nl/artikel/107531-aardappel-heel-efficient-met-water/

Van Houwelingen, P. (2024). *Rendement Miscanthus beter dan van maïs*. Nieuwe Oogst. https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2024/11/06/rendement-miscanthus-beter-dan-van-maïs

Velthof, G. L., Conijn, J. G., Aarts, H. F. M., Van der Salm, C., Voogd, J. C., Groenendijk, P., & Hoving, I. E. (2006). *Effect van tijdstip van scheuren op N-mineralisatie en -uitspoeling*. Alterra, Plant Research International (PRI), & Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (P-ASG). https://edepot.wur.nl/39057

Voortman, B., Sleiderink, J., Van Deijl, D., Hoekstra, N., Van den Hout, M., Van der Wel, J., … Van den Eerteg, G. (2022). *Een generieke methode voor het berekenen van potentiële gewasverdamping op basis van gemeten gewaseigenschappen*. Artikel voor de Nederlandse Hydrologische Vereniging.

Waegebaert, S., & De Mey, V. (z.d.). *Teelthandleiding miscanthus ten behoeve van biocomposietenmateriaal voor bouwapplicaties* (p. 3). Inagro.

Wander, J. G. N. (1999). *Teelt van vezelvlas*. PAGV, IKC.

Werkverband Friese Rassen. (z.d.). *Teelthandleiding vezelvlas*. https://www.werkverband-frieserassen.nl/images/stories/brochures/teelthandleiding_vezelvlas.pdf

Wiersma, P., Ottens, H. J., Kuiper, M. W., Schlaich, A. E., Klaassen, R. H. G., Vlaanderen, O., Postma, M., & Koks, B. J. (2014). *Analyse effectiviteit van het akkervogelbeheer in provincie Groningen*. Stichting Werkgroep Grauwe Kiekendief.

Wijnholds, K.H., Hoek, H. (2009). *Effect van hennep op de populatiedichtheid van Pratylenchus penetrans.* PPO in opdracht van Hempflax Agro BV en Productschap Akkerbouw

Wikimedia Commons (2015) *Flax field Morsan*. Gebruiker: Stanzilla. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flax_field_Morsan.jpg

Zhipin, A., Hanasaki, N., Hasegawa, T., & Fujimori, S. (2020). *Simulating second-generation herbaceous bioenergy crop yield using the global hydrological model H08 (v.bio1)*. https://gmd.copernicus.org/articles/13/6077/2020/

Seeth, F. tho, (z.d.) *Miscanthus in der Kaskadennutzung: Retentiepotential von Dauerkulturflächen auf Abflussbildingprozesse zur Reduktion von Hochwasserrisiko & Nutzung der Biomasse in regionalen Wertschöpfungsketten* https://www.inres.uni-bonn.de/nawaro/de/forschung/biomasseanbau

Appendix

Appendix 1: Invoer gegevens voor miscanthus (demo-versie) in NDICEA

Jaar	Invoer gegevens
1	Opbrengst: 1500 kg *Geavanceerde gewas opties* Dry matter distribution: 0,4-0,3-0,3 Ingewerkt deel: 1,00 – 1,00
2	Opbrengst: 5000 kg *Geavanceerde gewas opties* Dry matter distribution: 0,5 - 0,25 – 0,25 Ingewerkt deel: vanaf nu default waarden
3	Opbrengst: 15000 kg Dry matter distribution: vanaf nu default waarden
4+	Opbrengst: 18000 – 20000