



Verkennde studie toepassingsmogelijkheden Aziatische duizendknoop

C.J. van Dijk, I.M. van der Meer, R.C.H. de Vos en A.K. van der Werf



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Verkennde studie toepassingsmogelijkheden Aziatische duizendknoop

C.J. van Dijk, I.M. van der Meer, R.C.H. de Vos en A.K. van der Werf

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, augustus 2020

Rapport WPR-1003

Van Dijk, C.J., I.M. van der Meer, R.C.H. de Vos en A.K. van der Werf, 2020. *Verkennde studie toepassingsmogelijkheden Aziatische duizendknoop*. Wageningen Research, Rapport WPR-1003. 44 blz.; 9 fig.; 2 tab.; 36 ref.

Trefwoorden: Aziatische duizendknoop, Fallopi, spoorwegen, inhoudsstoffen, grondstoffen

© 2020 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; 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 vervoelvoudigd, 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-1003

Foto omslag: Aziatische duizendknoop langs het spoor (Foto: Christel Tijhuis)

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	9
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Gangbare bestrijdingsmethoden	10
	1.3 Projectdoelstelling	10
2	Achtergrondinformatie Aziatische duizendknoop	12
	2.1 Soorten	12
	2.2 Verspreiding	13
	2.3 Gevolgen	15
3	Opzet deskstudie	16
4	Kick off meeting	17
5	Waarde uit groenresten	18
	5.1 Inhoudsstoffen	18
	5.1.1 Gezondheid-bevorderende eigenschappen en claims	18
	5.1.2 Potentieel gezondheid-bevorderende inhoudsstoffen	19
	5.1.3 Overige inhoudsstoffen:	21
	5.1.4 Humane voeding en supplementen	21
	5.1.5 Diervoeder	22
	5.2 Grondstoffen	22
	5.2.1 Bioraffinage	22
	5.2.2 Composteren	25
	5.2.3 Bokashi	26
	5.2.4 Vergisting (biobrandstof)	26
	5.2.5 Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen	27
	5.3 Overige toepassingen	28
	5.3.1 Fytoremediatie	28
	5.3.2 Honingproductie	28
	5.3.3 Design gebruiksvorwerpen	28
6	Volumestromen	29
	6.1 Biomassa	29
	6.2 Aziatische duizendknoop rond het spoor	29
	6.3 Gangbare beheermethoden rond het spoor	30
7	Evaluatie	33
8	Conclusies en aanbevelingen	36
	Literatuur	39
	Bijlage 1 Bestrijdingsmethoden Aziatische duizendknoop (algemeen)	41

Samenvatting

Invasieve exotische plantensoorten zijn soorten die van nature niet in Nederland voorkomen en door menselijk handelen hier terecht zijn gekomen en schade aanrichten of kunnen aanrichten aan natuur, economie, veiligheid of gezondheid van mens en dier. Aziatische duizendknoop is zo'n invasieve exoot. Deze soort is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Aziatische duizendknoop is een vaste plant die 3-4 meter hoog kan worden. De stengels groeien uit de lange, vertakte en sterk woekerende ondergrondse wortelstokken. De aanwezigheid van duizendknoop leidt tot het verdwijnen van inheemse flora, veroorzaakt schade aan kapitaalgoederen, vormt een risico voor de veiligheid en leidt tot tientallen miljoenen euro per jaar aan extra kosten.

ProRail heeft Wageningen UR gevraagd een verkennende studie uit te voeren naar de gebruiks- en/of toepassingsmogelijkheden van Aziatische duizendknoop. Indien (delen van) de plant nuttig toepasbaar zouden zijn wordt de bestrijding van de plant mogelijk commercieel en technisch aantrekkelijker waardoor nieuwe ontwikkelingen worden aangejaagd. Dit draagt bij aan de duurzaamheidsdoelstellingen van ProRail. De resultaten uit deze studie laten zien dat in Azië de duizendknoop voor verschillende doeleinden wordt toegepast.

Humane voeding, medicinale toepassingen en supplementen

In Aziatische landen wordt de duizendknoop onder andere gebruikt als een traditioneel (folklore) medicijn. Medicinale of gezondheid-gerelateerde effecten zijn aangetoond met diverse humane cellijnen en proefdieren en worden vooral toegeschreven aan de inhoudsstoffen resveratrol en emodin, die in met name in de wortels in hoge concentraties aanwezig zijn. Het ontbreekt echter aan wetenschappelijk bewijs voor de effectiviteit in de mens.

Duizendknoop wordt in Aziatische landen ook gebruikt in de keuken. Jonge scheuten worden gegeten als asperges of dienen, door de lichte zure smaak, als vervanger voor rabarber. Aziatische duizendknoop bevat ook stoffen die mogelijk gebruikt kunnen worden voor de productie van harsen en kleurstoffen.

Dat de duizendknoop in Aziatische landen veel wordt gebruikt, betekent niet automatisch dat het dan ook in Europa is toegestaan. In Europa geldt dat voedsel dat niet voor 15 mei 1997 op een significant niveau werd geconsumeerd in Europa wordt gezien als een 'Novel Food' en niet op de markt kan worden gebracht zonder dat er eerst toestemming is verleend door de European Food and Safety Authority (EFSA). Om die toestemming te krijgen moet wetenschappelijk- en technisch bewijs worden aangeleverd waaruit blijkt dat het nieuwe voedsel veilig geconsumeerd kan worden en geen schadelijke effecten heeft op de mensen die het consumeren. Daarnaast moet aangetoond worden dat het 'nieuwe' gewas veilig geproduceerd kan worden, dat wil zeggen dat de teelt gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden plaatsvindt. Aziatische duizendknoop die in het wild langs het spoor groeit voldoet dus per definitie niet aan deze EFSA voorwaarde voor teelt. Daarnaast is bekend dat duizendknoop relatief veel zware metalen uit de bodem kan opnemen, en het is aannemelijk dat dit het geval zal zijn op locaties nabij het spoor. Daarmee is de kans dat Aziatische duizendknoop in Europa ingezet kan gaan worden voor humane voeding, medicinale toepassingen of voor de supplementenmarkt klein (in ieder geval op korte termijn).

Diervoeder

Ook voor de directe toepassing van biomassa in diervoeder gelden EFSA eisen met betrekking tot een gecontroleerde teelt onder hygiënische omstandigheden. Echter, als de biomassa eerst een extractieproces ondergaat en alleen de voldoende zuivere geëxtraheerde component, bijvoorbeeld eiwit, aan diervoeder wordt toegevoegd, geldt de voorwaarde van gecontroleerde teelt niet.

Bioraffinage

Bioraffinage technieken bieden de mogelijkheid biomassa te gebruiken als grondstof voor productie van eiwitten, vezels, en sap waaruit fosfaat, suiker, mineralen en zout kan worden gewonnen. De ontwikkeling van deze technologie is volop in ontwikkeling voor met name de verwerking van (berm)gras en biomassa die vrijkomt bij het waterbeheer. Concrete voorbeelden van producten die op experimentele schaal uit biomassa worden geproduceerd zijn papier en karton, isolatiemateriaal, vervanger van veen en turf, bio-composiet voor boompalen, beschoeiingsmateriaal, vangrail en eenvoudig tuinmeubilair, verwerking in beton voor tegels, trappen, en verhardingsplaten voor wandelen en fietspaden. Voorbewerkt bamboe wordt gebruikt als constructiemateriaal. Toepassing van bio-based producten geproduceerd uit 'eigen' groenresten draagt bij aan de ProRail duurzaamheidsdoelstellingen. Specifieke voorbeelden van bioraffinage van resten van Aziatische duizendknoop zijn echter niet gevonden. Dat neemt niet weg dat deze ontwikkelingen mogelijk kansen bieden voor de verwerking van duizendknoop al of niet in combinatie met andere groenresten die vrijkomen bij het beheer van het spoor. Het huidige gangbare maaibeheer rond het spoor, primair ingericht op kostenefficiënte logistiek, zal dan anders moeten worden ingericht.

Energieterugwinning

Aziatische duizendknoop levert een relatief hoge hoeveelheid biomassa met een energiewaarde vergelijkbaar met droge houtsnippers en houten briketten of pellets. In combinatie met andere groenreststromen is vergisting of verbranding als pellet een mogelijkheid voor energierecuperatie. Door de bovengrondse biomassa van de duizendknoop jaarlijks te 'oogsten' worden de groeiplaatsen in stand gehouden. Dit draagt echter niet bij aan een bestrijdingsdoelstelling.

Fytoremediatie

Fytoremediatie met behulp van Aziatische duizendknoop is een bewezen technologie om vervuiling in de bodem te immobiliseren of te verwijderen. Dit geldt met name voor met zink, cadmium en koper vervuilde bodems. Het principe van fyto-remediatie berust op het periodiek verwijderen van bovengrondse plantendelen waarin zich de verontreiniging heeft opgehoopt. De groeiplaats moet daarvoor gedurende lagere tijd intact worden gehouden. Dat past niet in een eliminatiedoelstelling. Bestaande groeiplaatsen van duizendknoop op verontreinigde bodem zou je kunnen laten bestaan ten behoeve van het saneren van die bodem en pas later, als de bodemgehalten voldoende zijn teruggebracht, weghalen. Als de periodiek te oogsten bovengrondse delen, rekening houdende met de accumulatie van zware metalen, dan ook nog nuttig kunnen worden toegepast, geeft dat extra voordeel.

Volumes

De hoeveelheid biomassa van duizendknoop wortelstokken is vergelijkbaar met die van aardappelknollen, ca 15 ton droge stof per ha. Echter, in Nederland werd in 2019 op ca. 80.000 ha consumptie-aardappelen geteeld (CBS) terwijl het areaal aan duizendknoop rond het spoor geschat wordt op ca. 10 ha. Het is niet aannemelijk dat op basis van uitsluitend dit relatief kleine areaal van Aziatische duizendknoop een haalbare verwerking kan worden opgezet. Door de versnipperde ligging van de groeiplaatsen zullen in de huidige situatie en met bestaande machines de kosten voor het 'oogsten' in verhouding hoog zijn. Om tot een betere business case te komen biedt het slim combineren van toepassingsmogelijkheden van biomassa en nieuwe technologieën mogelijk perspectief. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Opschalen van het oogstbare volume aan duizendknoop door betere inventarisatie langs het spoor en meer samenwerking met andere beheerders van terreinen met duizendknoop, of verwerking in combinatie met andere groenresten zoals bermmaaisel;
- De duizendknoop lokaal inzetten voor bodemsanering in combinatie met de verwerking van het vrijkomend plantmateriaal tot bio-based materialen en producten, met inachtneming van de opgehoopte zware metalen. Hiervoor kan worden aangesloten bij lopende initiatieven voor verwerking van groenresten zoals (berm)gras, bamboe en Olifantsgras;
- Verbeteren van de 'oogst-technieken' voor verwijderen van wortelstokken en bovengrondse plantendelen. Hiermee kunnen problemen (en kosten) met de stabiliteit en zetting van de grond, verstoring van de waterhuishouding rond het spoor, en onbedoelde verdere verspreiding van de duizendknoop als gevolg van het grondverzet worden voorkomen.

Aanbevelingen

- Ontwikkelingen op het gebied van bio-raffinage bieden mogelijkheden voor verwerking van duizendknoop in bijvoorbeeld diervoeder al of niet in combinatie met andere groenresten die vrijkomen bij het beheer van het spoor. Aanbevolen wordt om aansluiting te zoeken bij lopende initiatieven.
- Vezels uit groenresten zijn geschikt als grondstof voor specifieke producten zoals papier en karton, inrichtingsmaterialen of als toepassing in constructies (naar analogie van voorbewerkt bamboe). Aanbevolen wordt om producten te (laten) ontwikkelen uit groenresten die bij het huidige beheer rond het spoor vrijkomen. Dit draagt bij aan de duurzaamheidsdoelstelling van ProRail. Daarnaast wordt aanbevolen nader onderzoek te doen of vezels uit duizendknoop dezelfde eigenschappen en toepassingsmogelijkheden hebben als vezels uit (berm)maaisel, bamboe en Olifantsgras. Mocht dat zo zijn dan kunnen ook deze vezels toegepast worden in specifiek producten.
- Onderzoeken of energierugwinning mogelijk en rendabel is door duizendknoop te verwerken tot brandstofpellets of door middel van vergisting. Eventueel in combinatie met andere groenreststromen.
- Voor het toepassen van de duizendknoop moet deze eerst geoogst worden. Hierbij vindt momenteel meestal grootschalig grondverzet plaats, met alle risico's van dien, en de kosten hiervoor zijn relatief hoog. Nieuwe technologieën zijn nodig waarbij zo weinig mogelijk grondverzet plaatsvindt. Aanbevolen wordt om na te gaan of de ontwikkelingen op het gebied van bijvoorbeeld sensor technologie, robotica en autonome voertuigen in de landbouw mogelijkheden bieden om dit proces te optimaliseren.
- Onderzoeken of opname van zware metalen door Aziatische duizendknoop een rol kan spelen bij het saneren van bodemverontreinigingen rond het spoor (fytoremediatie). Bestaande groeiplaatsen op vervuilde gronden kunnen intact blijven voor fytoremediatie, op niet vervuilde gronden kan de duizendknoop worden verwijderd. Bewust aanplanten van duizendknoop op vervuilde gronden langs het spoor ten behoeve van bodemsanering wordt echter niet aanbevolen.
- Mocht er een nuttige toepassing voor Aziatische duizendknoop zijn gevonden, dan blijft het lastig om op basis van het huidige geschatte areaal een sluitende business case op te zetten. Opties om de business case te verbeteren zijn opschaling van biomassa en het combineren van toepassingen door:
 - Verhogen van de biomassa hoeveelheden door samenwerking met andere terreinbeheerders zoals RWS, gemeenten, provincies en waterschappen. Of internationale samenwerking zoeken.
 - Resten van duizendknoop verwerken in combinatie met andere groenreststromen waardoor er meer volume beschikbaar komt. Voorwaarde hiervoor is dat het huidige gangbare maaibeheer, primair ingericht op kostenefficiënte logistiek, anders moet worden ingericht.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Invasieve exotische plantensoorten zijn soorten die van nature niet in Nederland voorkomen en door menselijk handelen hier terecht zijn gekomen en schade aanrichten of kunnen aanrichten aan natuur, economie, veiligheid of gezondheid van mens en dier. Transport, handel en toerisme zijn de belangrijkste routes. Exoten kunnen per ongeluk hier terechtkomen, bijvoorbeeld door transporten, of opzettelijk door het verhandelen van exotische vijver- en tuinplanten. Een klein deel van de exoten kan zich vestigen in onze natuur. Gaat een soort zich snel vermeerderen dan spreken we van een invasieve exoot.

Een invasieve exoot die door ProRail als een belangrijke plaagsoort wordt aangemerkt is Aziatische duizendknoop (*Fallopia spp.*). Duizendknoop is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Aziatische duizendknoop is een vaste plant die 3-4 meter hoog kan worden. De stengels groeien uit de lange en sterk vertakte ondergrondse wortelstokken. Rond 1830 is de soort vanuit Japan als tuinplant naar Nederland gehaald en heeft zich van daaruit verspreid over grote delen van Europa. In Nederland komen deze duizendknoopsoorten voor op zeer uiteenlopende standplaatsen, o.a. in stedelijk gebied, spoordijken, braakliggende terreinen, wegbermen (ook middenbermen van snelwegen), rivierkribben, bosranden, beekoevers en dijken (www.verspreidingsatlas.nl).

Lokaal vindt verspreiding van uitheemse soorten vaak plaats langs de (hoofd)transportwegen zoals autosnelwegen, spoorwegen, kanalen en rivieren (Hulme *et al.*, 2009; 2008). Duizendknoop komt vooral voor in de groenstroken langs het spoor en op spoortaluds (Figuur 1). De aanwezigheid van duizendknoop langs het spoor leidt tot het verdwijnen van inheemse flora, veroorzaakt schade aan kapitaalgoederen, vormt een risico voor de veiligheid (groeit in relaïskasten ed., grotere erosiegevoeligheid van taluds) en leidt tot extra kosten voor beheerwerkzaamheden. Fragmenten van duizendknoop kunnen door het rijdend materieel of via luchtverplaatsing verder langs het spoor worden verspreid en nieuwe haarden vormen.



Figuur 1 Aziatische duizendknoop langs het spoor (Foto: Christel Tijhuis).

1.2 Gangbare bestrijdingsmethoden

Voor de bestrijding van Aziatische duizendknoop zijn momenteel verschillende bestrijdingsmethoden beschikbaar zoals mechanisch, thermisch, chemisch of biologisch (<https://www.invasieve-exoten.info>). Elke methode heeft z'n specifieke voor- en nadelen en variëren sterk in effectiviteit. De meeste gangbare bestrijdingsmethoden zoals maaien en heet water zijn gericht op het regelmatig verwijderen van de bovengrondse delen van de plant. Deze aanpak heeft echter, ook op lange termijn, vaak niet het gewenste effect omdat de wortelstokken (ondergrondse stengels) intact blijven. Op de wortelstokken bevinden zich zogenaamde 'slapende' knopen die na het afmaaien van de stengels actief worden en waaruit nieuwe stengels groeien. Uit de wortelstokken groeien ook 'echte' wortels voor opname van water en voedingsstoffen. Langjarig praktijkonderzoek naar bijvoorbeeld maaien en begrazen heeft aangetoond dat deze methoden hoogstens leiden tot een beheersing van de duizendknoophaard, de stengels worden op termijn wel wat kleiner en dunner, maar leidt niet tot een volledige verwijdering (Oldenburger *et al.*, 2017). Nieuwe bestrijdingsmethoden zoals heet water of elektriciteit lijken ook niet tot volledige verwijdering van haarden te leiden, ondanks frequente toepassing. Ook biologische methoden in ontwikkeling (bladvlo en bladschimmel) richten zich primair op de bovengrondse delen van de plant. Voor een effectieve bestrijding van duizendknoop bieden methoden die de wortelstokken aanpakken meer perspectief. Echter, methoden of technieken die direct aangrijpen op de wortelstokken zijn niet voorhanden behalve grootschalig afgraven of het toepassen van onkruidbestrijdingsmiddelen.

Grootschalig afgraven van groeiplaatsen is effectief maar deze aanpak genereert een groot volume van met duizendknoop besmette grond waarvoor momenteel nog geen effectieve verwerking bestaat behalve storten of thermisch reinigen dat weinig duurzaam en relatief duur is. Afgraven is op veel locaties niet mogelijk en het geeft ook een groot risico op verdere verspreiding van de duizendknoop via machines en grondtransporten. Het toepassen van onkruidbestrijdingsmiddelen (o.a. glyfosaat) is effectief (Oldenburger *et al.*, 2017) en wettelijk toegestaan maar wordt door de meeste terreinbeheerders niet (meer) toegepast vanwege de maatschappelijke weerstand tegen het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Het gebruik van onkruidbestrijdingsmiddelen wordt ook wettelijk steeds verder ingeperkt.

Een korte beschrijving van de meest gangbare methoden voor bestrijding van Aziatische duizendknoop en een inschatting van de effectiviteit is te vinden in Bijlage 1. De ervaring leert dat er niet één methode is aan te wijzen als meest geschikt, de beste resultaten worden geboekt door het combineren van bestrijdingsmethoden en deze over langere periode (jaren) toe te passen.

1.3 Projectdoelstelling

ProRail beheert de hoofdspoorweg infrastructuur. Hieronder valt ook het groenbeheer rondom het spoor. Op relatief veel plaatsen langs het spoor komt Aziatische duizendknoop voor in bermen en op spoortaluds. In de meeste beheercontracten is de wijze waarop de duizendknoop opstanden moeten worden aangepakt niet specifiek uitgewerkt. Dat wil zeggen dat het aan de uitvoerende aannemer is te bepalen hoe hij hiermee omgaat. In de meeste gevallen zal het gaan om maaien van de opstanden, eventueel in combinatie met het afvoeren van de duizendknoop resten. Daarnaast worden pilots uitgevoerd met heet water en elektriciteit.

ProRail heeft Wageningen UR gevraagd een verkennende studie uit te voeren naar de gebruiks- en/of toepassingsmogelijkheden van Aziatische duizendknoop planten. De achterliggende gedachte is de bestrijding van duizendknoop vanuit een ander perspectief te benaderen dan gebruikelijk. Indien (delen van) de plant nuttig toepasbaar zouden zijn wordt de bestrijding van de plant mogelijk commercieel en technisch aantrekkelijker waardoor nieuwe ontwikkelingen worden aangejaagd. Naast vormen van hergebruik en nuttige toepassingen zoals *biobased* materialen kan hierbij ook gedacht worden aan nieuwe oogstmethodeken die minder milieu impact hebben dan de huidige technieken.

Onderwerpen die in de desk studie aan de orde zullen komen, zijn:

- Gebruik als grondstof (biomassa);
- Constructiemateriaal (vezels, vervanging voor bamboe of hout);
- Perspectief voor gebruik van gezondheidbevorderende stoffen (*health claims*) en *novel food*;
- Eventuele andere toepassingen die uit de studie naar voren komen.

2 Achtergrondinformatie Aziatische duizendknoop

2.1 Soorten

De bekendste Aziatische duizendknoop is de Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*). Deze soort is inheems in Japan, China, Taiwan en Korea. Rond 1830 is de soort vanuit Japan als tuinplant naar Nederland gehaald (Figuur 2). Vanuit de hortus in Leiden heeft de soort zich verspreid over Nederland en grote delen van Europa. In Nederland is de soort pas na 1950 op grote schaal gaan verwilderen als gevolg van het storten van tuinafval met plantenresten en inmiddels komt de soort in vrijwel heel Noordwest-Europa voor. Planten worden aangetroffen op zeer uiteenlopende niet te voedselarme en/of te droge standplaatsen zoals spoorlijnen, braakliggende terreinen, wegbermen (ook middenbermen van snelwegen), rivierkribben, bosranden en beekoevers. De soort gedijt goed op zogenaamde geroerde gronden, bijvoorbeeld na graafwerkzaamheden of storten van met duizendknoop besmette grond.

Naast de Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*, synoniemen: *Reynoutria japonica*, *Polygonum cuspidatum*) komen in Nederland ook de Reuze of Sachalinse duizendknoop (*Fallopia sachalinensis*, synoniemen *Reynoutria sachalinensis*, *Polygonum sachalinense*) en de Boheemse duizendknoop (*Fallopia x bohemica*) voor. De Boheemse duizendknoop is een hybride tussen *F. japonica* en *F. sachalinensis* en wordt in Nederland op steeds meer plaatsen aangetroffen. Gezamenlijk worden deze soorten vaak aangeduid als Aziatische duizendknoop. In dit rapport worden de duizendknoop soorten verder aangeduid als Aziatische duizendknoop, tenzij anders aangegeven. Ook met betrekking tot de wijze van bestrijden en de effectiviteit van bestrijdingsmethoden is er weinig verschil tussen de soorten.



Figuur 2 Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) in bloei (augustus).

Duizendknoop is een vaste plant met lange en sterk vertakte ondergrondse wortelstokken (ondergrondse stengels). Het merendeel van de wortelstokken bevinden zich in de laag tot 80-100 cm onder maaiveld, maar dieper komt ook voor. De wortelstokken kunnen variëren in dikte van 5 mm tot vuistdikte (Figuur 3). Bij oude groeiplaatsen groeien de dikste stengels vaak vanuit een grote centrale 'stronk'. In het voorjaar groeien vanuit de knopen op wortelstokken in korte tijd veel dicht bij elkaar staande stengels met een groot bladoppervlak. Afhankelijk van de standplaats kunnen de stengels 3 tot 4 m hoog worden.

De planten verdragen zware schaduw minder goed. De plant bloeit in augustus en september met crème-witte bloemen. Tegen de winter sterven de bovengrondse delen van de plant weer af.



Figuur 3 Vitale wortelstokken (ondergrondse stengels) drie dagen na opgraven. De nieuwe naar boven gerichte scheuten en de witte, naar beneden groeiende wortels zijn goed te onderscheiden.

2.2 Verspreiding

Menselijk handelen vormt het grootste risico met betrekking tot de verspreiding van de soort over grotere afstanden. Denk hierbij aan transport van wortel- en stengelfragmenten na machinale maaiwerkzaamheden of transport van grond waarin zich nog delen van wortelstokken en stengels bevinden. Ook het laten liggen van maaisel van duizendknoop vormt een risico op verdere verspreiding door versleping. Bovendien draagt het niet bij aan verbetering van de biodiversiteit omdat de gewenste verschraling van bermen op deze wijze niet wordt gerealiseerd. Fragmenten van wortelstokken en/of bovengrondse stengels kleiner dan één cm kunnen uitgroeien tot nieuwe planten. Komen deze fragmenten op een andere plek op de grond terecht dan groeien daar weer nieuwe planten uit. Jonge, individuele planten zijn nog relatief eenvoudig te verwijderen. Eenmaal gevestigde haarden zijn moeilijk weg te krijgen. De stengels die in de winter afsterven vormen geen risico op verdere verspreiding (meer informatie over Aziatische duizendknoop: [Kennisnetwerk Invasieve Exoten](#)).

In Nederland worden bij Japanse duizendknoop steeds vaker kiemkrachtige zaden aangetroffen. In veel gevallen blijkt Chinese bruidssluier de stuifmeelbron te zijn. Op dit moment lijkt de kans op kieming in het veld van de zaden van de hybride tussen Japanse duizendknoop en Chinese bruidssluier (*Fallopia* × *conollyana*) klein, de hybride lijkt niet erg concurrentiekrachtig en is in Nederland nog niet in het wild aangetroffen. Echter, het feit dat deze zaden gevormd kunnen worden brengt twee nieuwe gevaren met zich mee:

- door zaadvorming ontstaat een extra vermeerderings- en verspreidingswijze naast de verspreiding via wortel- en stengelfragmenten, en zaden worden gemakkelijk verspreid met de wind en via water, waardoor de duizendknoop zich nog sneller kan verspreiden.

- Door generatieve voortplanting wordt de genetische variëteit van de duizendknopen groter waardoor ze zich mogelijk beter kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden waardoor de concurrentiekracht nog groter wordt. Om vergroting van de genetische diversiteit te voorkomen moet de bestrijding van mannelijke planten van de Japanse duizendknoop, maar ook van de bastaardduizendknoop en de Sachalinse duizendknoop hoge prioriteit krijgen (Leferink, *et al.*, 2020).

Voor de meeste plantensoorten geldt dat het merendeel van de wortels zich bevindt in de laag tot ca. 100 cm onder maaiveld. Soort-specifieke eigenschappen en bodemopbouw spelen daarbij een rol. Ook de wortelstokken van Aziatische duizendknoop bevinden zich overwegend in deze bovenste bodemlaag, maar dieper gelegen wortelstokken komen soms ook voor. Een specifiek, spoor-gerelateerd voorbeeld is het spoortalud ter hoogte van Kop Weespertrekvaart in Amsterdam waarvan bekend was dat er Aziatische duizendknoop op voorkomt. Als gevolg van de gelaagdheid in deze bodem kwamen de duizendknoop wortelstokken hier vrijwel uitsluitend voor in de bovenste 80-100 cm van het talud, in de afdeklaag (Figuur 4). In het onderliggende zandbed zijn geen wortelstokken aangetroffen maar wel 'echte' wortels van de duizendknoop voor opname van water en nutriënten, maar deze 'echte' wortels zijn met betrekking tot bestrijding niet van belang omdat deze niet opnieuw uitlopen (Van Dijk, 2018). Wortelstokken van duizendknoop zijn te herkennen aan de karakteristieke oranje kleur (Figuur 5).



Figuur 4 Wortelstokken van Aziatische duizendknoop in de donkere afdeklaag van het spoortalud (Kop Weespertrekvaart, Amsterdam).



Figuur 5 *Wortelstokken van Aziatische duizendknoop met de karakteristieke oranje kleur.*

2.3 Gevolgen

Door de snelle groei en het gesloten bladerdek van Aziatische duizendknoop worden inheemse plantensoorten verdrongen, de wortelstokken woekeren sterk en zijn daarmee in staat om schade te veroorzaken aan bouwwerken, leidingen en infrastructuur. Oevers en taluds worden instabieler en erosiegevoeliger door verdringing van de ondergroei, vooral in de winterperiode als duizendknoop bovengronds afsterft en daarmee de bodem onbedekt is.

De aanwezigheid van Aziatische duizendknoop betekent extra kosten voor beheerwerkzaamheden zoals monitoring, bestrijding, voorlichting personeel en nazorg. Extra kosten kunnen ook zitten in voorzorgmaatregelen om verdere verspreiding te voorkomen zoals schoonmaken van machines, reinigen van grond, controleren van grond op aanwezigheid van Japanse duizendknoop etc. Het gaat hierbij om tientallen miljoenen euro's per jaar aan extra kosten die zowel door publieke (o.a. gemeenten, waterschappen) als private partijen (o.a. infra, projectontwikkeling, GWW sector) moeten worden opgebracht.

Het investeren in de aanpak van de Aziatische duizendknoop kan voorkomen dat de situatie in Nederland vergelijkbaar wordt met die in Engeland. Daar zijn de problemen zo groot dat er zelfs sprake van waardevermindering van bouwkavels en vastgoed als de duizendknoop er groeit.

3 Opzet deskstudie

Voorafgaande aan de studie is een kick-off meeting georganiseerd voor uitwisseling van ideeën en denkrichtingen met vertegenwoordigers van ProRail en Wageningen UR experts op gebied van plantaardige inhoudsstoffen, *biobased economy* en beheer van invasieve exoten.

Om na te gaan waar kansen liggen met betrekking tot (hoogwaardige) verwerking van plantmateriaal van Aziatische duizendknoop is gezocht naar bestaande specifieke toepassingen van Aziatische duizendknoop in de (wetenschappelijke) literatuur. Vanuit breder perspectief gaat het hier om een specifieke deelstroom binnen de bulk aan groenresten die vrijkomen bij het beheer rond het spoor. Mogelijk bieden de ontwikkelingen op het gebied van verwerking van maaisel uit (weg)bermen of groenresten uit het waterbeheer daarvoor aanknopingspunten. Er lopen diverse onderzoeken en initiatieven waarbij wordt gezocht naar methoden om groenresten hoogwaardig(er) te verwerken en te vermarkten. Voor zover relevant zijn deze initiatieven in de studie betrokken.

Voor het verzamelen van informatie over de gebruik en toepassingsmogelijkheden van duizendknoop is gebruik gemaakt van verschillende bronnen en databases. Allereerst is de interne documentatie geraadpleegd en daarnaast is via verschillende zoekmachines en databases naar aanvullende informatie gezocht, zoals Google Scholar, Wageningen Library en Groen Kennisnet.

4 Kick off meeting

Op 18 februari 2020 is een kick-off meeting gehouden met vertegenwoordigers van ProRail en Wageningen UR. Uit dit overleg zijn ambities, ideeën en denkrichtingen naar voren gekomen die zijn meegenomen in de studie.

- De ambitie van ProRail is om op termijn de Aziatische duizendknoop volledig te elimineren. Men realiseert zich dat dit niet op korte termijn valt te realiseren maar iets is van de lange adem (jaren). Impliciet betekent dit dat groeiplaatsen niet in stand worden gehouden om duizendknoop te kunnen 'oogsten';
- Belangrijk aspect is duurzaamheid; ProRail wil laten zien dat het inzet op circulariteit, vermindering CO2 footprint ed. Daarvoor zoekt ProRail o.a. naar mogelijkheden om [specifieke spoorproducten](#) zoals dwarsliggers, geluidsschermen en energiekasten van biobased materiaal te maken;
- Beheer wordt nu vooral gezien als kostenpost. Zou de bestrijding van duizendknoop door deze vanuit een ander perspectief te bekijken dan gebruikelijk commercieel en technisch aantrekkelijker kunnen worden waardoor nieuwe ontwikkelingen worden aangejaagd? Mogelijk bevordert de studie op die manier het proces om op termijn tot concrete innovaties te komen;
- Het ontwikkelen van nuttige toepassingen in combinatie met de beheerdoelstelling 'elimineren' is op termijn niet houdbaar. Mogelijk ligt er meer perspectief in het combineren van opgraven wortelstokken (en welke technieken zijn daarvoor beschikbaar?) en toepassingsmogelijkheden van de wortelstokken. Dit past in de bestrijdingsdoelstelling;
- Exploitatiekosten zijn niet het belangrijkste aspect, het gaat meer om het identificeren van denkrichtingen zoals aanjagen van *biobased* ontwikkelingen (materialen/biocomposiet) (uit te werken in vervolgresearch);
- Perspectiefvolle richtingen kunnen worden opgepakt in samenwerking met andere (grote) terreinbeheerders (o.a. Rijkswaterstaat).

5 Waarde uit groenresten

Het hoogwaardig hergebruik van afval- en reststromen staat volop in de belangstelling (*Nederland circulair in 2050*). Doel hiervan is een economie waarin onder meer biotische grondstoffen efficiënt worden ingezet en optimaal worden hergebruikt. Hierbij wordt ook nadrukkelijk gekeken naar groenafvalstromen die vrijkomen bij het beheer van groenvoorzieningen en (weg)bermen. Groenresten zoals bermmaaisel en snoeihout worden niet langer gezien als afval maar als potentiële grondstof die nuttig kan worden toegepast. Daarnaast concurreren groenresten niet met de voedselproductie op hoogwaardige landbouwgronden. Hierdoor verandert het perspectief, want zoals graan, mais en grasland economische waarde hebben in de huidige lineaire economie, zo krijgen groenresten een economische waarde in de circulaire economie.

Het doel van verwaarden van groenresten is vaak tweeledig:

- Het compenseren van de beheerkosten door toepassing van bioraffinage en andere technieken die toegevoegde waarde (geld) opleveren;
- Verduurzaming door realiseren van een reductie van de uitstoot van broeikasgassen, gesloten kringlopen/circulariteit, creëren van natuurwaarde etc.

5.1 Inhoudsstoffen

Van Aziatische duizendknoop is bekend dat delen van de plant eetbaar zijn en dat de plant inhoudsstoffen bevat waaraan gezondheid-bevorderende eigenschappen worden toegeschreven. Echter, planten die op ongecontroleerde wijze in het wild groeien en niet voor 1997 op grote schaal gegeten werden, mogen onder EU regelgeving niet commercieel als voedingsmiddel of voedselproduct op de markt worden gebracht. Voor gebruik als geneesmiddel zijn de regels nog strikter. Die route als toepassingsmogelijkheid op korte termijn en onder deze 'teeltomstandigheden' is daarmee op voorhand al afgesloten. Voor toepassing als veevoer geldt min of meer hetzelfde. Dan is met name de hygiënische teelt erg belangrijk. Voor de winning van supplementen is de regelgeving iets minder strikt. ProRail heeft aangegeven dit aspect wel verder uitgewerkt te willen zien om een zo compleet mogelijk overzicht te hebben van de (on)mogelijkheden. Om die reden worden deze aspecten als onderdeel van de desk studie wat uitgebreider beschreven.

5.1.1 Gezondheid-bevorderende eigenschappen en claims

Aziatische duizendknoop is een traditioneel (folklore) medicijn in onder meer China, Korea, Taiwan en Japan. De gedroogde wortel van duizendknoop staat in de Chinese geneeskunde bekend onder de naam 'Hu Zhang' en is een van de medicinale kruiden genoemd in de "Pharmacopoeia of the People's Republic of China". Dit geneeskundig handboek is samengesteld door het Chinese Ministerie van Gezondheid en erkend door de Wereld Gezondheidsorganisatie (WHO) als de officiële Chinese Farmacopoea. Duizendknoop, of Hu Zhang, staat echter niet vermeld in de Europese Farmacopoea. Zowel de wortelstokken als de bovengrondse delen van duizendknoop bevatten een verscheidenheid aan plant-specifieke inhoudsstoffen, ook wel fytochemicaliën genoemd (zie hieronder). Medicinale extracten worden verkregen door de fytochemicaliën uit de gedroogde en fijngemalen onder- of bovengrondse plantendelen te onttrekken met heet water ('kruidenthee') of met een alcoholische oplossing (tinctuur).

In China worden duizendknoop extracten vaak samen met extracten van andere kruiden toegepast, als traditioneel medicijn bij een legio van aandoeningen of klachten, waaronder darmproblemen, hoesten, aderverkalking, galstenen, overgangsklachten, slangenbeten, (brand)wonden, en ontstekingen en allergische reacties; ook wordt vermeld dat duizendknoop extracten antivirale en antikanker-activiteiten vertonen (Zhang *et al.*, 2013; El-Readi *et al.*, 2016). Door diverse, veelal Aziatische, universitaire onderzoeksgroepen zijn verschillende gezondheid-gerelateerde effecten

aangetoond in humane celkweken (*in vitro*) en in proefdieren (*in vivo*). Er wordt onder meer gerapporteerd dat extracten van duizendknoop de groei van enkele voor de mens schadelijke virussen en bacteriën remmen, en ontstekingsremmende en wond-helende eigenschappen vertonen in muizen en ratten. De voornaamste inhoudsstoffen van duizendknoop (zie hieronder) in zuivere vorm hebben een ontstekingsremmende werking en geven in proefdieren een verbetering van de werking van het immuunsysteem, verlaging van risicofactoren voor hart- en vaatziekten, bescherming van het zenuwstelsel en hersencellen, of verbeterde herstel van huidwonden. Daarnaast vertonen de ruwe extracten of bepaalde individuele stoffen opgezuiverd uit duizendknoop diverse chemo-beschermende werkingen in diverse kankercellijnen, waaronder leukemie-, borst-, prostaat-, alvleesklier-, darm- en leverkankercellen.

Al deze potentieel therapeutische of gezondheid-bevorderende effecten van duizendknoop zijn vooralsnog vooral in humane cellijnen of in dierproeven onderzocht. Vaak zijn de concentraties van plantenextracten waarbij effecten worden geconstateerd in cellijn-experimenten echter onnatuurlijk hoog. Daarnaast is de bio-beschikbaarheid en het metabolisme van veel plantenstoffen in de mens anders dan in (dikwijls aan elkaar genetisch identieke, en onder gecontroleerd condities opgekweekte) diermodellen zoals muis, rat en konijn. Voor de mens zelf is er tot nu toe weinig wetenschappelijk-onderbouwd bewijs voor de veronderstelde therapeutische of gezondheid-bevorderende werkingen van duizendknoop: er zijn met deze supplementen nog nauwelijks interventie of klinische studies uitgevoerd zoals in Europa gebruikelijk is voor reguliere medicijnen en functionele voedingsstoffen. Een relatief kleine interventiestudie in Amerika met 20 gezonde mensen gaf aan dat het bloed van de 10 deelnemers die 6 weken lang elke dag een dosis van 200 milligram duizendknoop extract hadden gekregen vanaf week 3 gemiddeld een betere onderdrukking van ontstekingsreacties lieten zien dan dat van de 10 deelnemers die een placebo hadden gekregen (Ghanim *et al.*, 2010). Dit onderdrukkingseffect kan gunstig zijn bij ontstekings-gerelateerde processen en ziektebeelden. Wel zijn er met zuiver resveratrol, een van de belangrijkste inhoudsstoffen van duizendknoop en ook voorkomend in wijn, meerdere interventie en klinische studies in relatie tot gezondheid uitgevoerd (samengevat in onder meer Berman *et al.*, 2017 en Ramirez-Garza *et al.*, 2018); zie ook hieronder.

5.1.2 Potentieel gezondheid-bevorderende inhoudsstoffen

Hoewel er dus nog geen goed onderbouwd wetenschappelijk bewijs is voor positieve gezondheidseffecten in de mens, bevat duizendknoop een grote serie aan potentieel bioactieve inhoudsstoffen. De belangrijkste componenten en hun farmaceutische activiteiten zijn onder meer samengevat in een artikel van Zhang *et al.*, (2013) en worden hieronder besproken. De vermelde hoeveelheden van de plantenstoffen zijn slechts ter indicatie, omdat de werkelijke waarden sterk afhangen van de groei-condities, plantontwikkelingsstadium en manier waarop de chemische analyses zijn uitgevoerd.

Resveratrol is een fenolische antioxidant, die vooral bekend is van rode wijn maar waarvan de hoogste gehalten binnen het plantenrijk worden gemeten in de wortelstokken van duizendknoop; duizendknoop is dus de rijkste bekende bron van deze potentieel gezondheid-bevorderende plantstof. Op duizendknoop gebaseerde thee, bekend in Japan, en zou een alternatieve bron van resveratrol kunnen zijn voor mensen die geen rode wijn (mogen) drinken. Biochemisch gezien behoort resveratrol tot de grote groep van flavonoiden, of polyfenolen. Resveratrol is een van de vele zogenoemde fyto-alexines: plantaardige afweerstoffen tegen schimmels, bacteriën en virussen. De stof komt voor in onder meer druif (schil en pit), pinda, cacao, eucalyptus en pijnbomen, en dus vooral in Aziatische Duizendknoop. Gehaltes aan vrij resveratrol in duizendknoop rhizoom kunnen oplopen tot 2 gram per kg versgewicht (in rode wijn 2 tot 12 milligram per liter) Naast deze vrije vorm is resveratrol in duizendknoop wortelstok, net als in druiven, ook aanwezig in geconjugeerde vorm met glucose: deze resveratrol-glucoside wordt polydatin of piceid genoemd. De hoeveelheid polydatin in wortelstok kan oplopen tot 3 gram per kg versgewicht, hetgeen overeenkomt met 1.5 gram resveratrol eenheden in gebonden vorm; dus in totaal zo'n 3.5 gram resveratrol per kg versgewicht van de wortelstok. Exacte gehalten van zowel resveratrol als polydatin zijn onder meer afhankelijk van de groeilocatie en seizoen; de hoogste gehalten zijn gemeten in het voorjaar (Kurita *et al.*, 2014). De gehalten van resveratrol en polydatin zijn bijna duizend keer lager in blad (tot 5 microgram per kg versgewicht) en tienduizend keer lager in stengels ten opzichte van die in de wortelstok. Een andere

studie met ge(vries)droogd *Polygonum multiflorum* planten meldt 25-50 gram polydatin per kg drooggewicht in wortels, 1-6 g per kg in stengel en minder dan 2 g per kg in blad (Rui *et al.*, 2018).

Er is wereldwijd veel onderzoek gedaan naar potentiële gezondheidseffecten van resveratrol voor de mens, met name gebruikmakend van cellijnen (*in vitro*). Zo wordt er gerapporteerd over antimicrobiële, antikanker, antioxidant, ontstekingsremmende activiteiten en bescherming van hersenfuncties en bloedvaten. Resveratrol remt, *in vitro*, zelfs infectie door het "Middle East Respiratory Syndrome"-virus MERS-CoV, een coronavirus vergelijkbaar met SARS-CoV, de voorloper van Covid-19 (=SARS-CoV-2).

Resultaten van *in vitro* studies met cellijnen of proefdieren laten zich echter moeilijk vertalen naar medicinale of gezondheid-gerelateerde effecten in de mens. Zoals geldt voor de meeste fenolische plantenstoffen, is de biobeschikbaarheid van resveratrol, en daarmee de circulatie in het lichaam en de potentiële farmaceutische effecten, sterk afhankelijk van zowel de voedingsmatrix of formulering van het voedingssupplement als van de persoons-specifieke samenstelling van de darmflora. Interventiestudies uitgevoerd met resveratrol betroffen veelal gezonde mensen en geven aan dat inname van (zuiver) resveratrol veilig is tot 5 gram per dag, maar ook dat de resultaten ten aanzien van gezondheidseffecten tegenstrijdig zijn (Ramirez-Garza *et al.*, 2018). Klinische studies met resveratrol zijn met name gericht op ziektes waarbij schade door oxidatieprocessen en ontstekingsreacties een belangrijke rol speelt, en waarbij antioxidanten dus in potentie een positief effect kunnen hebben (Berman *et al.*, 2017). Uit deze klinische studies komt naar voren dat een resveratrol supplement van 1 à 2 gram per dag gunstig kan zijn voor Alzheimer patiënten en patiënten met hart- en vaatziekten en diabetes II, maar dat het ook negatieve effecten kan hebben op patiënten met bepaalde kankervormen en niet-alcoholische leververvetting. Alle onderzoeksgroepen geven duidelijk aan dat meer onderzoek noodzakelijk is voordat bepaalde medicinale of gezondheid-bevorderende claims gelegd kunnen worden op (zuiver) resveratrol.

Emodin, of 3-Methyl-1,6,8-trihydroxyanthraquinone, is een anthraquinone, een andere klasse van fenolische antioxidanten. De groep van anthraquinonen staan in het algemeen bekend als reactieve stoffen, een eigenschap waarop ook hun bioactiviteiten gebaseerd zijn. Duizendknoop is bekend om zijn hoge concentratie emodin: gerapporteerde gehalten van emodin in duizendknoop variëren van 15-40 g/kg droge stof in wortels, 7-20 g/kg in stengel en 5-25 g/kg in blad (Rui *et al.*, 2018). Emodin komt ook veel voor in *Rheum palmatum* (Chinese- of sierrabarber), een soort die net als JD bekend is in de traditionele Chinese geneeskunde. Verder is emodin gevonden in andere planten van de Duizendknoopfamilie, waaronder gewone rabarber (*Rheum rhabarbarum*: ~20mg/kg droge stengel) en diverse zuring soorten, en in sporkehout (*Frangula alnus*) en een aantal korstmossen.

Emodin heeft antimicrobiële, antivirale, ontstekingsremmende and laxerende werkingen. Een vergelijkbare anthraquinone (1,8-dihydroxy-3-hydroxymethylantraquinone, of aloe-emodin) wordt gevonden in de bekende medicinale vetplant *Aloe vera* en wordt beschouwd als de belangrijkste bioactieve component in deze plant. *Aloe vera* extracten, met aloe-emodin, worden toegepast in huidverzorgende cosmetica en zalfjes. In diverse humane kankercellijnen en in proefdieren blijkt emodin, gewonnen uit JD of Chinese rabarber, de effectiviteit van veelgebruikte cytostatica te verhogen. Er wordt daarom bekeken of emodin zelf, of chemische derivaten ervan die minder bijwerkingen hebben, een onderdeel kan zijn van chemotherapie. Emodin, tezamen met het borstkankermiddel toremifene, is zeer recentelijk door Amerikaanse onderzoekers voorgesteld als onderdeel van een experimenteel therapeutisch medicijn tegen Covid-19, omdat emodin remmend werkt op de aanhechting van SARS-CoV, de voorloper van Covid-19, aan de menselijke receptoreiwit ACE2 (Zhou *et al.*, 2020).

Emodin is, net als een aantal andere anthraquinonen, een natuurlijke kleurstof (Singh *et al.*, 2015). Emodin wordt gebruikt voor het kleuren van papier, leer, wol, zijde, verf voor kunstschilders, en ook voedsel. De stof zelf is geel-oranje (de karakteristieke gele kleur van de wortels, zie Figuur 5), maar eenmaal gezuiverd kan het worden gemengd met metalen om specifieke verfkleuren te krijgen zoals bruin (met koper), olijfgroen (ijzer), rood-violet (chromium) of felgeel (tin). Emodin-kleuren zijn licht- en waterbestendig.

5.1.3 Overige inhoudsstoffen:

Fenolische stoffen: naast de hoofdcomponenten resveratrol en emodin (en hun derivaten) bevat de Aziatische duizendknoop een grote serie andere fenolische stoffen. Veel fenolische stoffen vertonen antioxidant-activiteit, en worden mede daarom beschouwd als potentieel gezondheidbevorderend:

- flavonoiden, zoals derivaten van quercetine (bekend van bijvoorbeeld ui en appel) en luteoline (in ondermeer selderij, prei en paprika). Quercetine-derivaten komen met name voor in het blad: tot 3g/kg versgewicht. Dit is vergelijkbaar met kappertjes, de rijkste voedingsbron van quercetine in Europa, en zo'n 10 keer meer dan in uien. De wortels van duizendknoop bevatten 100 keer minder quercetine dan het blad.
- catechines (flavan-3-ols) en hun polymeren, ook wel procyanidines of gecondenseerde tannines genoemd (bekend van ondermeer appel, thee en cacao). Catechines zijn in de hele plant aanwezig, met hoogste waarden in stengels: tot 4 g/kg versgewicht (in wortels 2 keer minder). Ter vergelijking: verse theebladeren (thee wordt gezien als gezonde drank met name vanwege deze catechines) bevatten bijna 25 g/kg versgewicht.
- koffiezuur-derivaten (bekend van ondermeer koffie en sla).

Polygoacetophenoside: een glucose-derivaat van acetophenone. Acetophenonen worden gebruikt als industrieel oplosmiddel, in bereiding van harsen, en als aromastof in parfums, en hebben ook insecticide-achtige werking. Of de specifieke vorm van acetophenone in Aziatische duizendknoop (namelijk tetrahydroxy-acetophenone) hier ook geschikt voor is, is echter nog niet bekend. Polygoacetophenoside komt vooral voor in het blad van de duizendknoop met gehalten tot 7 g/kg versgewicht (in wortels 50 keer minder).

Carotenoiden: zijn een groep van vetoplosbare plantaardige kleurstoffen met antioxidant-activiteit, en vormen samen met het chlorofyl (bladgroen) een essentieel onderdeel van het fotosynthese systeem van planten. Carotenoiden dienen ook als gele, oranje of rode kleurstoffen in bepaalde vruchten (bijvoorbeeld tomaat en paprika) en bloemen (zoals chrysant, goudsbloem). Carotenoiden, en met name alfa en beta-caroteen (oranje worteltjes), staan ook bekend als pro-vitamine A, nodig voor aanmaak van retinol in de ogen. Carotenoiden komen in duizendknoop alleen in blad voor, waarbij luteine de belangrijkste is met 25-140 mg/kg versgewicht (vergelijkbaar met spinazie: 20-125 mg/kg), gevolgd door beta-caroteen met 60-100 mg/kg (spinazie 10-100 mg/kg; worteltjes 10-50 mg/kg). Totaal aan carotenoiden in groen duizendknoop blad is ongeveer 350 mg/kg versgewicht, in geel (herfst)blad is dit 3 keer minder (Metlicar *et al.*, 2019).

Net als alle andere planten bevat duizendknoop waarschijnlijk nog vele honderden, mogelijk enkele duizenden andere inhoudsstoffen, waarvan de meeste nog onbekend of niet verder onderzocht zijn. Het is ook nog onduidelijk welke van deze stoffen, naast de hierboven genoemde inhoudsstoffen bio-activiteit vertonen en daarmee belangrijk kunnen zijn voor de farmaceutische/medicinale werking van duizendknoop extracten.

5.1.4 Humane voeding en supplementen

Duizendknoop wordt in Aziatische landen ook gebruikt in de keuken. Jonge scheuten worden gegeten als asperges of dienen, door de lichte zure smaak, als vervanger voor rabarber. Het zou ook een goede voedingsbron zijn van vitamine A (caroteen), vitamine C (ascorbinezuur), mineralen en fenolische antioxidanten zoals resveratrol (zie 5.1.2). Dat de jonge scheuten in Aziatische landen worden gegeten, betekent niet automatisch dat het dan ook in Europa toegestaan zou zijn voor humane consumptie.

De Europese autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA, European Food and Safety Authority) heeft een regelgeving ingesteld dat voedsel dat niet voor 15 mei 1997 op een significant niveau werd geconsumeerd in Europa wordt gezien als een 'Novel Food' en niet op de markt kan worden gebracht zonder dat er eerst toestemming is verleend door de EFSA. Om die toestemming te verkrijgen moet er een *Novel Food* dossier bij de EFSA ingediend worden met zo veel mogelijk wetenschappelijk- en technisch bewijs dat het nieuwe voedsel op een veilige manier geproduceerd kan worden, dat het veilig geconsumeerd kan worden en geen toxische componenten, allergenen en contaminanten bevat

en geen schadelijke effecten heeft op de mensen die het consumeren. Dit alles vraagt gedetailleerd en kostbaar onderzoek en de behandeling van een dossier nadat het is ingediend kan 1.5 tot meer jaren duren voor de mogelijke toekenning. De kans dat Aziatische duizendknoop ingezet kan gaan worden voor humane voeding is daarmee klein (in ieder geval op korte termijn) en vraagt een heel grote investering. Daar bovenop is deze toepassingsmarkt vooral ook klein omdat de 'teelt' niet op gecontroleerde en hygiënische manier plaatsvindt. Het is een vereiste van de EFSA om te beschrijven in het *Novel Food* dossier hoe het nieuwe gewas geteeld wordt en dan ook aan te tonen dat het aantal bacteriële laag genoeg is voor consumptie.

Toepassingen van componenten uit Aziatische duizendknoop voor gebruik als medicijn op korte termijn is ook niet waarschijnlijk omdat de toelating daarvoor met alle faseringen van type studies mogelijk nog kostbaarder is en langere termijnen kent. Bovendien is daar ook weer de gecontroleerde en constante 'teelt' essentieel, wat niet past met het voorkomen van deze plaagsoort op de taluds en bermen rond het spoor.

Het gebruik van planten en plantenstoffen voor de supplementenmarkt kent minder regelgeving, maar ook daar moet gehouden worden aan de regels van de Warenwetbesluit Kruidenpreparaten ([Richtlijn 2002/46/ EG Europese Gemeenschap](#)). Hier geldt dan ook weer dat de 'teelt' van de Aziatische duizendknoop nu niet gecontroleerd plaatsvindt en onder niet-hygiënische omstandigheden.

5.1.5 Diervoeder

Bladeren en jonge stengels van duizendknoop kunnen dienen als diervoeder voor schapen en varkens. Echter, dit is voor een boer alleen toegestaan als de duizendknoop van eigen land afkomstig is. Met betrekking tot de gezondheid van de dieren mag het dieet niet uitsluitend uit duizendknoop bestaan. Voor het toepassen van diervoeder en/of strooisel van dieren mag het materiaal geen zwerfvuil en schadelijke kruiden (zoals Jacobskruiskruid) bevatten. Transport van vers plantmateriaal betekent echter een bijzonder groot risico op verdere verspreiding. Stengelfragmenten die op een andere plek op de grond terecht komen kunnen weer uitgroeien tot nieuwe planten. Wanneer het op grote schaal toegevoegd zou worden aan veevoer en als commercieel product wordt aangeboden, geldt ook hier de voorwaarde dat de 'teelt' van de Aziatische duizendknoop gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden moet plaatsvinden. Bij duizendknoop die in (spoor)bermen groeit wordt niet aan deze voorwaarden voldaan.

5.2 Grondstoffen

Het verwerken en opwaarderen van biomassa is volop in ontwikkeling. Waar mogelijk zijn specifieke toepassingen van biomassa van Aziatische duizendknoop vermeld. Echter omdat de biomassa van duizendknoop een relatief kleine deelstroom betreft binnen de stroom van groenresten die vrijkomt bij het beheer rond het spoor, zijn ook de ontwikkelingen op het gebied van verwerking van maaisel uit (weg)bermen of groenresten uit het waterbeheer meegenomen. Er worden een aantal voorbeelden benoemd van methoden om groenresten hoogwaardig(er) te verwerken en te vermarkten.

5.2.1 Bioraffinage

Eén van de oplossingsrichtingen is om groenresten na verwijderen te verwaarden via zogenaamde bioraffinage technieken. Op deze manier kan biomassa dienen als grondstof voor productie van eiwitten (technische toepassingen), vezels (diverse toepassingen), als bron van specifieke inhoudsstoffen en van mineralen (specifiek mest substraat) en energie. Onderstaande voorbeelden van bioraffinage hebben betrekking op de verwerking van maaisel uit (weg)bermen of groenresten uit het waterbeheer (Van Lieshout *et al.*, 2019; Biomassa Alliantie, 2017). Er zijn geen specifieke voorbeelden van bioraffinage van resten van Aziatische duizendknoop bekend. Mogelijk bieden deze initiatieven aanknopingspunten voor verwerking van duizendknoop resten al of niet in combinatie met andere groenresten die vrijkomen bij het beheer van het spoor.

Eiwit

De firma Grassa werkt aan technologie en machines die uit groenafval stoffen als eiwitten, vezels en mineralen halen waarmee vervolgens veevoer en eiwit-supplementen voor krachtvoer worden gemaakt. Het eiwit wordt gescheiden van de vezels en geschikt gemaakt als grondstof voor veevoer. Dit eiwit kan niet voor humane consumptie ingezet worden voordat een *Novel Food* dossier is ingediend en goedgekeurd (zie 5.1.4). Een dergelijk *Novel Food* dossier is dan specifiek gericht op de extractie van eiwitten uit deze plant en de veiligheidsaspecten van dit geïsoleerde eiwit. Naast eiwitten worden ook vezels, suiker, mineralen en fosfaten uit het maaisel gewonnen die toegepast kunnen worden zoals bodemverbeteraar. Ten aanzien van deze verwerkingstechniek zijn niet alle maaisels geschikt voor directe inzet. Harvestagg heeft een technologie ontwikkeld waarbij de sappen uit maaisel worden verwerkt tot eiwit- en koolhydraatrijk veevoer. De vezelrijke reststroom die bij dit proces vrijkomt wordt vergist tot biogas voor het opwekken energie.

Lignocellulose

Indugas is momenteel, in samenwerking met TNO, bezig met de ontwikkeling van een ontsluitings-technologie. Door middel het verhitten van biomassa met super heated steam kan lignocellulose uit maaisel worden ontsloten om bruikbare componenten, zoals cellulose, hemicellulose en lignine vrij te maken. Dergelijke componenten kunnen worden gebruikt worden als energierijke veevoertoepassing. De technologie is momenteel uitsluitend nog op labschaal uitgevoerd en is hierdoor nog niet commercieel beschikbaar.

Sap

Naast fosfaat, suiker en mineralen kan uit het sap van maaisel ook zout worden gewonnen. Grassa! en NewFoss extraheren naast vezel en eiwit ook sap uit het gras. Grass2grit heeft een techniek ontwikkeld waarbij het zout van het sap kan worden gescheiden. Het zout kan hierdoor worden toegepast als biobased dooimiddel op wegen. Uiteindelijk wordt het *biobased* zout gemengd met vast zout (verhouding 20%– 80%) waardoor het een overeenkomstige werking krijgt als bestaand strooizout.

Fermentatie/bio-ethanol

Door middel van fermentatie van maaisel kan bio-ethanol geproduceerd worden. Suikers worden hierbij omgezet in ethanol. Op dit moment wordt fermentatie vooral toegepast op suikerhoudende gewassen zoals suikerriet, suikerbieten of zetmeelhoudende gewassen zoals maïs en tarwe. Maaisel bevat doorgaans een hoog gehalte aan cellulose dat het omzetproces lastig maakt. Dit maakt een voorbehandeling noodzakelijk waarbij de cellulose wordt ontsloten in fermenteerbare suikers. Hiervoor zijn verschillende technologieën in ontwikkeling zoals enzymatische hydrolyse (ECN) en super heated steam-proces (Indugas).

Vezels

Er zijn geen specifieke toepassingen van Aziatische duizendknoop gevonden in relatie tot het (her)gebruik van vezels anders dan voor energierugwinning door vergisting en verbranding (zie 5.2.4 en 5.2.5). Algemeen geldt dat vezels die vrijkomen bij extractieprocessen van groenreststromen zoals bermgras en Olifantsgras (*Miscanthus*) als grondstof kunnen dienen voor verschillende doeleinden, waaronder papier, bio-composiet en bouwmaterialen (zie kader). Voor constructieve doeleinden zijn biobased materialen een aantrekkelijk alternatief voor conventionele constructiematerialen, mits de mechanische sterkte voldoende groot is.

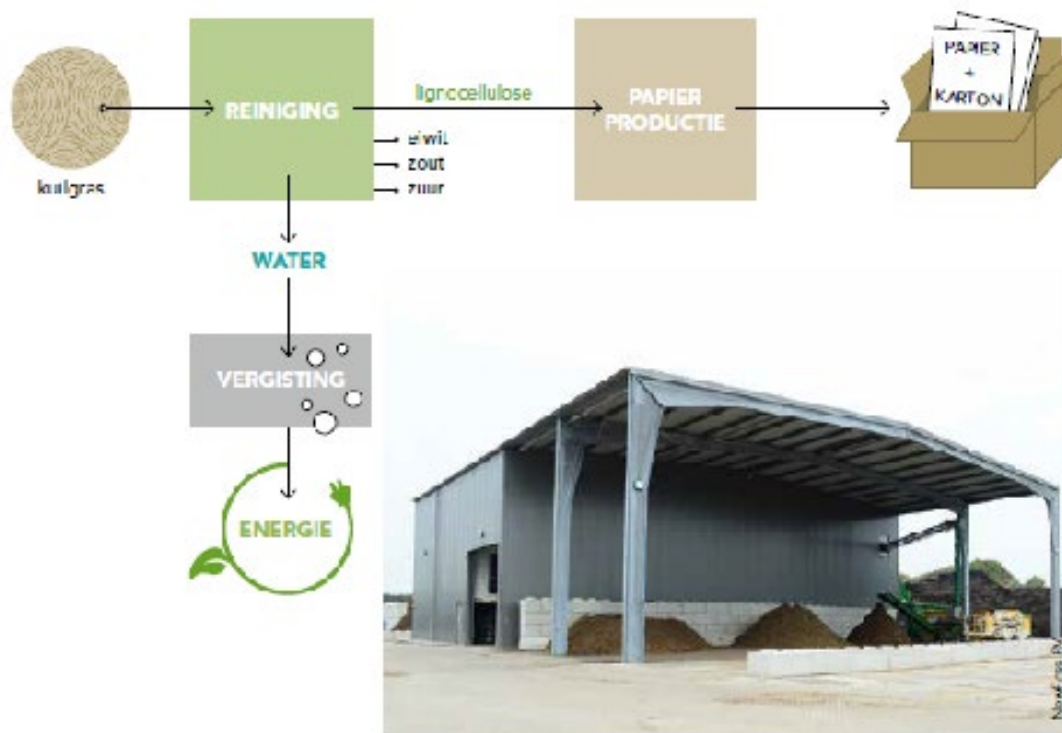
Bamboe is een voorbeeld van een biobased constructiemateriaal. In veel Aziatische landen wordt natuurlijk bamboe gebruikt voor de bouw van o.a. huizen en bouwsteigers. Uit onderzoek van Chen *et al.* (2020) blijkt dat de mechanische eigenschappen van bamboe verbeterd kunnen worden door het voor te bewerken waardoor de toepassingsmogelijkheden toenemen. Het voorbewerkingsproces bestaat uit twee stappen, namelijk een gedeeltelijke de-lignificatie gevolgd door verhitting door microgolven (magnetron). De-lignificatie maakt de celwanden van bamboe zachter waardoor een betere verdichting ontstaat tijdens de warmtebehandeling. Verwarmen met microgolven heeft als voordeel dat het materiaal snel en uniform wordt verwarmd en het water uit de bamboe wordt verdreven zonder de structuur aan te tasten. Het kunstmatig verouderde bamboe heeft betere mechanische eigenschappen dan het oorspronkelijke natuurlijke bamboe. De specifieke treksterkte

van het gemodificeerde bamboe bedraagt $560 \text{ MPa cm}^3 \text{ g}^{-1}$, bij een relatief lage dichtheid van $1,0 \text{ g cm}^{-3}$. Deze eigenschappen maken het materiaal geschikt voor lichtgewicht, technische toepassingen.

Voorbeelden van Nederlandse initiatieven waarbij vezels uit groenreststromen (vnl. bermmaaisel en Miscanthus) als grondstof worden gebruikt voor verschillende producten (Van Lieshout *et al.*, 2019; Biomassa Alliantie, 2017)

NewFoss

Bij Newfoss wordt door middel van microbiologische processen maaisel geraffineerd, waarbij eiwitten, zuren en zouten worden onttrokken waarna lignocellulose overblijft dat als grondstof voor de papier-industrie kan worden toegepast (Figuur 6). De zouten vormen een plantaardige kunstmestvervanger of strooizout. De valorisatie van de zuren wordt nog onderzocht en de waterige component wordt geleverd aan een vergistingsinstallatie. Inmiddels heeft Newfoss al zijn eerste commerciële installatie geopend waar jaarlijkse 40.000 ton biomassa wordt verwerkt tot papier en karton (pilot [Van Berm tot Bladzijde](#); [BeeGreen graseierdoosje](#)). NewFoss levert lignocellulose vezels als grondstof voor vervanger voor glas- en steenwol in isolatietoepassingen, vervanger van veen en turf in dekaarde bij champignonkweek, in potgrond en andere kweekmedia en als duurzaam alternatief voor hout gebaseerde grondstof in papier en karton (<https://newfoss.com>).



Figuur 6 Schematische voorstel van de verwerking van gras tot papier en energie (Foto: NewFoss BV).

Grassbloxxx

Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Amsterdam, Provincie Noord Holland, Waterschap Zuiderzeeland en NewFoss zijn in april 2018 een consortium gestart om een biomassaketen te realiseren op basis van regionaal beschikbaar maaisel. Het is de bedoeling om 50.000 en uiteindelijk zelfs 100.000 ton gras en andere biomassa per jaar om te zetten in [isolatieplaten](#) en andere vezelproducten ([Grass2grit](#)).

Millvision en NPSP

Naast papier kan uit vezels ook een composiet worden gevormd. Het natuurlijke vezel wordt met een bindmiddel gemengd, waarna het met biologisch hars kan worden samengeperst tot bio-composiet dat gebruikt kan worden voor onder andere inrichtingsmateriaal (boompalen, beschoeiingsmateriaal) en eenvoudig tuinmeubilair. [Millvision](#) werkt aan een road map om maaisel uit drie grensgebieden Biesbosch-Altana, Het Dommeldal en de Vallei van de Zwarte Beek en De Zoom-Kalmhoutse Heide te verwerken in regionale streekproducten. Rijkswaterstaat experimenteert i.s.m. Millvision met toepassingen van bermgras zoals de biobased vangrail in Zeeland en [biobased bankjes](#) om het straatbeeld te verduurzamen. NPSP produceert onder het **Nabasco**[®]-label momenteel al verschillende met natuurlijke vezels versterkte composiet producten die geschikt zijn voor binnen- en buitentoepassingen (<http://www.npsp.nl/index.asp>).

Biobound

Biobound gebruikt maaisel van Miscanthus (olifantsgras) voor verwerking in bouwmaterialen zoals straatmeubilair, parkbanden, tegels en trappen, en verhardingsplaten voor wandel- en fietspaden (Figuur 7). De betonproducten worden gemaakt van gerecycled betonpuingranulaat (van zand- tot grindfractie) en bevatten een halve m³ los gestorte miscanthus per m³ beton. De Miscanthus komt uit de directe omgeving van Schiphol en was aanvankelijk bedoeld om ganzen te weren van de start- en landingsbanen (<https://biobound.nl/>).



Figuur 7 Verwerking van Olifantsgras (Miscanthus) in verhardingsplaten voor fietspaden (Foto: Biobound).

NTP-groep

De NTP-groep heeft een technologie ontwikkeld waarbij asfalt geproduceerd op basis van Miscanthus (olifantsgras). Bij deze technologie wordt de bitumen vervangen door het bio-based bindmiddel lignine dat afkomstig is uit olifantsgras. Het product wordt onder de naam 'Grasfalt' geproduceerd, maar is nog in ontwikkeling. Momenteel wordt 50% van de bitumen vervangen door lignine (<https://www.ntp.nl/>).

Grasgoed

Voor organisaties als Natuurmonumenten die jaarlijks duizenden tonnen maaisel afvoert uit haar natuurgebieden, is compostering altijd een grote kostenpost geweest. In het [Interreg project GrasGoed](#) wordt gewerkt aan het omzetten van maaisel in duurzame isolatiematten. Natuurmonumenten experimenteert op dit moment met het gebruik van de matten voor hun kantoor in Hedel.

Pilots voor meubels, strooizout en veevoer

Een aantal Drentse gemeenten onderzoekt i.s.m. kennisinstellingen en ondernemers hoe ze bermgras kunnen inzetten voor de productie van kantoormeubelen en karton. De TU Delft, de provincie Noord-Holland en het regionale bedrijfsleven onderzoeken momenteel of er uit bermgras ook strooizout gemaakt kan worden. De provincie Noord-Brabant laat het gemaaid gras direct verwerken; het wordt gekneusd en vermalen (grasraffinage). Het sap wordt gebruikt als grondstof voor veevoer, en de vezels kunnen gebruikt worden als grondstof voor de productie van karton.

5.2.2 Composteren

Op het gebied van biomassaverwerking worden groenresten momenteel voornamelijk ingezet als grondstof voor compostering. Compostering levert een stabiele organische stof op die ingezet kan worden als bodemverbeteraar (geen meststof). Door toevoegen van compost ofwel organisch materiaal wordt uitputting en structuurverval van de bodem voorkomen. Nutriënten uit de groenresten

komen weer beschikbaar voor het bodemleven en voor opname door planten, maar de energie wordt niet benut. In vergelijking met vers materiaal bevat compost een hoog aandeel stabiele organische stof die na een jaar nog aanwezig is in de bodem. In tegenstelling tot stro, riet en takken is grasmaaisel minder geschikt voor compostering door de aanwezigheid van grote hoeveelheden lignine en cellulose. In de praktijk wordt maaisel gemengd met andere groenreststromen om het composteringsproces optimaal te laten verlopen en een kwalitatief goede organische stof te krijgen.

Compost is gehygiëniseerd, dat wil zeggen dat plantpathogenen en onkruidzaden zijn afgedood. Uit composteerproeven blijkt dat vitale plantendelen, zoals bladeren, stengels, wortelstokken en zaden van invasieve exoten zoals Aziatische duizendknoop, Reuzenbalsemien en Reuzenberenklauw in een gecontroleerd composteerproces kunnen worden gedood (BVOR, 2017; Fuchs, 2017; MacFarlane, 2011). Voor Japanse duizendknoop geldt dat de temperatuur van al het plantmateriaal minimaal 50 °C gedurende 72 uur moet zijn geweest om effectief te zijn (Xian *et al.*, 2011). Praktijkproeven van composteerbedrijven laten vergelijkbare resultaten zien. Reststromen van Aziatische duizendknopen kunnen dus zonder risico worden gecomposteerd en toegepast als bodemverbeteraar mits aan de vereiste procescondities tijdens het composteren is voldaan. Voor de borging van de procescondities kunnen composteerbedrijven zich laten certificeren als 'erkende verwerker invasieve exoten' (www.bvor.nl).

5.2.3 Bokashi

Bokashi is een product dat van bijna elk type vers organisch materiaal gemaakt kan worden. De organische resten worden goed verdeeld in laagjes waaraan kleimineralen, zeeschelpenkalk en micro-organismen worden toegevoegd. De hoop wordt luchtdicht afgedekt (zoals bij inkuielen) en in 8 tot 10 weken zuurstofarm gefermenteerd. In de Bokashi-kuil blijft de organische stof behouden, deze breekt pas af nadat het materiaal op het land is uitgereden en in contact komt met zuurstof. Op het land komt de opgeslagen koolstof vrij als CO₂ en draagt daarmee niet bij aan het tegen gaan van klimaatverandering. Voor de bodemkwaliteit op lange termijn is vooral de humus die langjarig in de bodem blijft gebonden van belang. Het aandeel humus in compost is groter dan in Bokashi (BVOR, 2017).

Er bestaan op dit moment nog de nodige onzekerheden rond de meerwaarde en de risico's van Bokashi. Het is (nog) niet aangetoond dat onkruidzaden en plantpathogenen in Bokashi effectief worden afgedood. Dat geldt ook voor resten van invasie plantensoorten zoals Aziatische duizendknoop. Gemeente Amersfoort heeft in 2019 enkele praktijkproeven gedaan om na te gaan of duizendknoop het proces overleeft. De proeven zijn uitgevoerd conform de methode van firma *Bij de Oorsprong*. Uit de resultaten bleek dat de duizendknoop geen kiemkracht meer had nadat ze waren gebokasheerd (Tijhuis, pers. mededeling). Het is niet bekend welke bandbreedte rond de procescondities nog afdoende zijn om verspreiding van duizendknoop tegen te gaan. Bokashi biedt derhalve geen garantie op afdoding van zaden en andere plantdelen waaruit invasieve soorten zich kunnen vermeerderen.

Bokashi is op dit moment geen toegestane bodemverbeteraar en mag niet als zodanig worden verhandeld en toegepast (Bokashi staat niet vermeld in bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet en is daardoor geen erkende meststof). Bokashi dat op eigen terrein met eigen organisch materiaal is geproduceerd mag worden toegepast als bodemverbeteraar (BVOR Factsheet Bokashi).

5.2.4 Vergisting (biobrandstof)

In Nederland wordt vergisting van biomassastromen grootschalig toegepast. Bij vergisten wordt biomassa d.m.v. van een gecontroleerd biologisch proces omgezet in energie en meststof (digestaat). De meest gebruikte vorm is natte vergisting. Gangbare gft-vergistingsinstallaties en co-vergistingsinstallaties kunnen in beperkte mate groenreststromen zoals (berm)maaisel verwerken, tot ca 10% van de totale input. Mechanische voorbewerking van het maaisel (o.a. verkleinen en ontsluiten) is noodzakelijk. Groenreststromen van 'ongecontroleerde teelt' kunnen verontreinigingen bevatten zoals zand en zwerfvuil wat voor problemen in de vergistingsinstallatie kan zorgen (schade aan pompen en

mengsystemen, vorming van bezink- en drijfslagen). Er zijn momenteel al een aantal vergistingsinstallaties die op commerciële schaal grote hoeveelheden gras kunnen verwerken ([Wabico](#)). Aziatische duizendknoop wordt beschouwd als een potentiële energiebron, vanwege de hoge fotosynthese efficiëntie, sterke groei­kracht, geschikt voor groei op marginale gronden en de afwezigheid van ziekten en plagen. Bij een opbrengst van 15 ton ha⁻¹ droge stof wordt een methaan productie bereikt van 3800 m³ CH₄ ha⁻¹ wat overeenkomt met ongeveer 47.000 autokilometers ha⁻¹ (Stražil & Kára, 2010; [Lehtomäki et al.](#), 2008). In combinatie met andere groenreststromen, om het totale volume te verhogen, is vergisting van duizendknoop een mogelijkheid voor biogasproductie.

Gft-vergistingsinstallaties en co-vergistingsinstallaties zijn technisch en financieel in staat zijn om bermmaaisel (vnl. grassen) deels mee te verwerken (Brinkman, 2014). Voorwaarde hiervoor is dat het huidige gangbare maaibeheer rond het spoor, primair ingericht op kostenefficiënte logistiek, anders wordt ingericht. Bij vergisting dient de keten te worden ingericht op een meer continue productie van kwalitatief goed substraat, dat vervolgens bij de vergisting geld oplevert met biogasproductie. De kosten voor het verkrijgen van duizendknoop als kwalitatief goed substraat zullen echter hoger zijn dan bij gangbare beheer,

Naast natte vergisting bestaat er ook droge vergisting waarmee hernieuwbare energie worden geproduceerd. Deze verwerkingsmethode wordt nog vrijwel niet toegepast, maar vormt mogelijk de sleutel tot een optimale bermgrasvergisting. Droge vergisting leent zich namelijk uitstekend voor vergisting van GFT-afval i.c.m. bermgras én GFT-vergisters beschikken standaard over een uitgebreide voorbehandeling, waardoor zand en zwerfvuil geen probleem vormt. Droge vergisting van bermgras kan een besparing opleveren ten opzichte van aardgasgebruik op de broeikasgasemissie. Bruto bedraagt deze besparing circa 150 ton per 1000 ton bermgras, netto is de besparing ruim 60 ton (Zwart & De Boer, 2015). In 2019 is in de provincie Utrecht een [praktijkproef](#) gestart van Rijkswaterstaat, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Attero.

Digestaat is een nevenproduct van vergisting van biomassa. In het geval van de (co-)vergisting van mest komt het leeuwendeel van de mineralen (NPK) in het digestaat terecht. Digestaat wordt geclassificeerd als dierlijke mest kan worden gebruikt voor landbouwkundige toepassingen. De totale hoeveelheid dierlijke mest neemt hierdoor toe. Een alternatief in ontwikkeling is het opwerken van digestaat tot producten met een hogere toegevoegde waarde zoals mineralenconcentraat, of gft-compost in geval van een gft-vergister. Vergisten zonder opwerking van digestaat is bewezen technologie, het opwerken van digestaat is nog in ontwikkeling (BVOR, 2017).

5.2.5 Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen

Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen zijn thermische behandelingen waarbij biomassa wordt omgezet in energie, brandstoffen en/of andere producten. Conventionele installaties opereren hoofdzakelijk op houtachtige biomassa. Verschillende onderzoeken laten zien dat Aziatische duizendknoop een gewas is met een hoog energiepotentieel (Brunerova *et al.*, 2017; Stražil & Kára, 2010).

Biomassa van duizendknoop heeft een relatief hoge energiewaarde (18.402 MJ kg⁻¹ d.s. voor bovengrondse plantendelen) en laag asgehalte. De energiewaarde hangt af van het vochtgehalte (moment van oogsten), bij 25% vocht is de energiewaarde 14.563 MJ kg⁻¹, maar bij 60% vocht slechts 7.809 MJ kg⁻¹. Het gemiddelde as gehalte in de plant varieerde van 3,12-4,6% afhankelijk van de locatie van herkomst. Een laag as gehalte heeft een gunstig effect op de emissie die bij verbranding vrijkomen. Aziatische duizendknopen leveren een stabiele en relatief hoge hoeveelheid biomassa met een energiewaarde vergelijkbaar met droge houtsnippers en houten briketten of pellets (Stražil & Kára, 2010). Uit biomassa van duizendknoop kunnen brandstofpellets geproduceerd worden die voldoen aan de chemische en mechanische standaarden voor briketproductie (vochtgehalte 8,84%, asgehalte 1,14%, bruto calorische waarde 19,43 MJ kg⁻¹, netto calorische waarde 17,71 MJ kg⁻¹).

Bij een biomassa-opbrengst is circa 30 t ha⁻¹ droog stof betekent dat 583,32 GJ ha⁻¹ (Brunerova *et al.*, 2017).

5.3 Overige toepassingen

5.3.1 Fytoremediatie

Fytoremediatie is een technologie waarbij planten worden gebruikt om vervuiling in de bodem te immobiliseren of te verwijderen. Meest bekende vorm van fytoremediatie is de techniek waarbij planten giftige zware metalen vanuit verontreinigde grond opnemen en vervolgens accumuleren in hun weefsels. Door vervolgens deze planten, met daarin de verontreiniging, te oogsten en af te voeren neemt de bodemverontreiniging af (Jan & Parray, 2016). Voordeel is dat de biologische en fysieke structuur van de bodem behouden blijft (Baker & McGrath 1994). Fytoremediatie is een relatief goedkoop en duurzaam proces maar het kan jaren duren voor de verontreiniging tot een acceptabel niveau is teruggebracht.

Duizendknoop lijkt meer zware metalen te accumuleren dan andere plantensoorten en is een 'hyperaccumulator' voor Zn en Cd. Duizendknoop wordt bijvoorbeeld als een geschikte soort aangemerkt voor fytoremediatie van met Zn en Cd vervuilde bodems (Hulina and Đumija, 1999). Uit onderzoek in Japan is gebleken dat duizendknoop die groeit op verontreinigde bodems verschillende zware metalen als koper (Cu), zink (Zn) en cadmium (Cd) kan accumuleren. De metalen hopen zich met name op in de celwanden van de wortelstokken en de bladeren (Hulina and Đumija, 1999). In planten afkomstig van niet-verontreinigde bodems werden Cu, Zn en Cd gehalten gevonden van respectievelijk 20, 110 en 2 mg kg⁻¹ ds. In planten afkomstig van met zware metalen verontreinigde bodems (Cu: 3.000 mg kg⁻¹ ds, Zn: 10.000 mg kg⁻¹ en Cd: 100 mg kg⁻¹) bedroegen de gehalten respectievelijk 2.300, 6.700 en 62 mg kg⁻¹ ds (Rahmonov *et al.*, 2014). Onderzoeken in Tsjechië lieten vergelijkbare resultaten zien met hoge gehalten aan Cu, Zn, Pb en Cd in de bladeren. Duizendknoop wordt als een geschikte soort aangemerkt voor fytoremediatie van met Zn en Cd vervuilde bodems (Hulina & Đumija, 1999). Deze eigenschappen maken het moeilijk zo niet onmogelijk om Aziatische duizendknoop dat in het wild groeit en waarin ongewenste stoffen vanuit de bodem kunnen ophopen, ingezet kan gaan worden voor humane voeding of veevoer.

5.3.2 Honingproductie

Aziatische duizendknoop bloeit vanaf augustus tot eind september met crème-witte bloemen. De bloemen worden intensief bezocht door bijen voor de nectar. Voor bijen vormt de duizendknoop relatief laat in het seizoen nog een aantrekkelijke nectarbron omdat de meeste andere planten dan al zijn uitgebloeid. De honing die de bijen maken uit de nectar van duizendknoop is een milde versie van boekweithoning, donker van kleur die donkerrood lijkt wanneer hij tegen het licht wordt gehouden. De honing blijkt een goede bron van mineralen te zijn, met name K en Na met gehalten van respectievelijk 1187-6196 mg kg⁻¹ en 58,8-68,8 mg kg⁻¹. Daarnaast bevat de honing ook veel calcium (Bobis *et al.*, 2019).

5.3.3 Design gebruiksvorwerpen

Ontwerper en ontwikkelaar Amy Vorsselmans maakt uit plaatmateriaal van *biobased* plastic en vezels uit agrarische reststromen of afkomstig van kruiden design vazen en lampen waarin o.a. Japanse duizendknoop zit verwerkt (AIYMES).

6 Volumestromen

6.1 Biomassa

Om een inschatting te kunnen maken van de mogelijkheden tot opwerken en vermarkten van groenreststromen zoals Aziatische duizendknoop is het van belang inzicht te hebben in de arealen en de hoeveelheid biomassa per oppervlakte-eenheid van zowel de boven- als ondergrondse delen van de plant.

Biomassametingen aan volledig gesloten opstanden in Tsjechië laten zien dat bij het oogsten in het najaar, wanneer er vrijwel geen bladeren meer aanwezig zijn (alleen stengels) voor *F. bohemica* hoeveelheden werden gehaald van gemiddeld 13.2 tot 21.4 ton droge stof per hectare. Voor *F. japonica* lag de hoeveelheid biomassa rond de 9 ton ha⁻¹ d.s. (Stražil & Kára, 2010). Vergelijkbare metingen in Slowakije lieten biomassa opbrengsten zien van ongeveer 21 ton ha⁻¹ voor *F. japonica*, bij de dichtheid van 12 scheuten m⁻². Voor *F. × bohemica* lag de opbrengst rond 24,2 ton ha⁻¹ d.s. (Eliáš, 1998).

Bepalingen van de biomassa van *F. japonica* opstanden in Engeland waarbij in het najaar zowel de bovengrondse als ondergrondse biomassa is bepaald laten een gemiddelde opbrengst zien van 9.4 ton ha⁻¹ voor de bovengrondse delen en 14.7 ton ha⁻¹ voor de wortelstokken tot een diepte van 25 cm (Brock, 1994).

Tabel 1 Biomassa (ton ha⁻¹ droge stof) van boven- en ondergrondse delen van Aziatische duizendknoop soorten in vergelijking met de biomassa van aardappel.

Soort	Biomassa (ton ha ⁻¹ droge stof)			Referentie
	Stengels en bladeren	Stengels (najaar)	Wortelstokken	
<i>F. japonica</i>		9		Stražil & Kára, 2010
	21			Eliáš, 1998
	9.4		14.7	Brock, 1994
<i>F. bohemica</i>		13.2-21.4		Stražil & Kára, 2010
	24.2			Eliáš, 1998
Aardappel*	5	0	15	Van Oort (pers. med.)

* bladeren en stengels sterven af na de piek in de zomer, aardappel is een knol.

Als gevolg van het afvallen van bladeren en jonge scheuten neemt de biomassa in de winterperiode af met ca. 42% voor *F. japonica* en 34,5% voor *F. × bohemica*. Ook het vochtgehalte van het geoogste materiaal varieert over de seizoenen. In de herfstperiode was het gemiddelde vochtgehalte in *F. japonica* ca. 68%, terwijl dit in het voorjaar slechts 24% was. Voor *F. × bohemica* was dit respectievelijk 67% en 23%. Het oogsten van duizendknoop opstanden voor energieopwekking kan het beste plaatsvinden na de winter (periode februari-maart) omdat door het relatief lage vochtgehalte voordrogen van het materiaal dan niet nodig is (Stražil & Kára, 2010).

6.2 Aziatische duizendknoop rond het spoor

Het totale oppervlakte van opstanden met duizendknoop rond het spoor is nog onderdeel van nadere studie waarbij verschillende databronnen worden samengebracht. Uit beheergegevens en meldingen van ProRail is bekend dat groeiplaatsen globaal 20-25 m² groot zijn maar dat er ook opstanden zijn van enkele honderden tot duizenden vierkante meters. Uit het totaal aantal van 260 gemelde

groeiplaatsen en de bijbehorende oppervlakken is met de nodige slagen om de arm een gemiddelde grootte van 400 m² per groeiplaats geschat. Dat zou betekenen dat het totale areaal van de gemelde groeiplaatsen uitkomt op ongeveer 100.000 m² (10 ha). In hoeverre het aantal gemelde groeiplaatsen een accuraat beeld geeft van het werkelijk aantal opstanden rond het spoor en het bijbehorende oppervlakte is niet bekend.

Op basis van een doorvertaling van biomassa-productie gegevens uit de literatuur (Tabel 1) en het geschatte areaal van de opstanden (10 ha), ligt de totale hoeveelheid bovengrondse biomassa (stengels en bladeren) voor Japanse duizendknoop (*F. japonica*) globaal tussen de 94 en 210 ton d.s. Voor Boheemse duizendknoop (*F. bohemica*) liggen de hoeveelheden tussen 132 en 242 ton d.s. Deze hoeveelheden kunnen jaarlijks worden 'geogst' op voorwaarde dat wordt afgezien van beheer- en bestrijdingsmaatregelen wat tot een structurele afname van de biomassa zou leiden. De totale hoeveelheid ondergrondse biomassa (wortelstokken) kan op basis van literatuurgegevens worden geschat op eenmalig 147 ton d.s.

In algemene zin is Aziatische duizendknoop in Europa een algemeen voorkomende en ingeburgerde soort met uitzondering van de meest zuidelijk landen (www.verspreidingsatlas.nl). Het betreft niet alleen terreinen rond het Europese spoornet maar ook daarbuiten zoals in stedelijk gebied, langs wegen en in natuurterreinen. Het ontbreekt aan accurate areaal-gegevens van duizendknoop opstanden, maar op Europees niveau gaat het weliswaar om een substantieel maar sterk versnipperd oppervlak dat begroeid is met Aziatische duizendknoop.

6.3 Gangbare beheermethoden rond het spoor

Het bermonderhoud langs het spoor en daarmee ook de bestrijding van de duizendknoop is integraal opgenomen in de PGO-systematiek. Dat betekent dat ProRail prestatie-eisen stelt aan het werk en van de aannemers resultaten vraagt die zij binnen de wet en de contractregels moeten bereiken. In de meeste prestatiecontracten is de wijze waarop met invasieve exoten zoals Aziatische duizendknoop moet worden omgegaan (nog) niet specifiek uitgewerkt. Opdrachtnemers dienen bij uitvoering van werkzaamheden wel maatregelen te treffen om te voorkomen dat invasieve exoten worden geïntroduceerd of verder verspreid. Het gaat hierbij om maatregelen als een visuele inspectie op aanwezigheid van invasieve exoten voor aanvang van de werkzaamheden, melden van groeiplaatsen en deze duidelijk zichtbaar te markeren en alert zijn bij de verwerking en transport van grond. Binnen de gestelde kaders is het aan de aannemer zelf te bepalen hoe hij hiermee omgaat. Als gevolg daarvan is detail-informatie over de gehanteerde beheermethoden binnen het contract en de bijbehorende kosten niet voorhanden.

De meest gangbare beheermethoden voor Aziatische duizendknoop rond het spoor zijn:

- Bij alle werkzaamheden voor bermonderhoud moet rekening worden gehouden met de kosten voor veiligheidsmaatregelen die moeten worden getroffen.
- **Klepelen**, de duizendknoopopstanden worden meegenomen in het reguliere maaibeheer. Door het klepelen worden de bovengrondse plantendelen tot kleine fragmenten geslagen. *Dat maakt deze techniek ongeschikt indien men de biomassa voor andere doeleinden wil gebruiken.*
- **Apart maaien en afvoeren**, de duizendknoopopstanden worden in een aparte werkgang gemaaid en het maaien wordt verzameld en afgevoerd naar een erkende verwerker (meestal storten, geen hergebruik van de biomassa). *Apart maaien en afvoeren sluit goed aan op het proces indien men de biomassa voor andere doeleinden wil gebruiken.*
- **Thermisch d.m.v. heet water**, de duizendknoopopstanden worden meermaals per seizoen behandeld (besproeid) met heet water. De bovengrondse plantendelen worden als het ware geblancheerd. *Dat maakt deze techniek ongeschikt indien men de biomassa voor andere doeleinden wil gebruiken.*
- **Thermisch d.m.v. elektriciteit**, de duizendknoopstengels worden meermaals per seizoen kort boven maaiveld afgebrand. Om werknemers te beschermen tegen schokken door omvallende stengels worden deze voor aanvang van de behandeling getopt op ca. 50-60 cm boven maaiveld. Indien men de bovengrondse plantendelen verzameld is *deze techniek geschikt indien men de biomassa voor andere doeleinden wil gebruiken.*

Klepelen en heet water zijn geen geschikte methoden indien men de bovengrondse biomassa voor andere doeleinden wil gebruiken. Apart maaien en afvoeren met een maai-zuig combinatie is daarvoor de beste optie en relatief goedkoop. De bereikbaarheid van de groeilocaties speelt daarbij wel een belangrijke rol. Elektriciteit is in principe ook geschikt maar is zeer bewerkelijk en daarom kostbaar en de risico's voor o.a. kabels en leidingen rond het spoor moeten nog in kaart worden gebracht. Ontgraven van de wortelstokken is een effectieve saneringsmethode maar brengt een risico met zich mee op verdere verspreiding van de duizendknoop en is duur (Tabel 2).

Tabel 2 Globale schatting van de kosten voor beheer van 10 ha duizendknoop opstanden met verschillende methoden op basis van expert judgement.

	Klepelen	Apart maaien en afvoeren (maai-zuig combinatie)	Heet water	Elektriciteit	Ontgraven
Frequentie per jaar	1	1	5 a 6	4 a 5	eenmalig
Veiligheidsmaatregelen	€ 12.000	€ 12.000	€ 12.000	€ 12.000	€ 12.000
Beheer	€ 9.000	€ 11.000	€ 190.000	€ 800.000	
Vervoer en storten (450 ton vers)	n.v.t.	€ 20.000	n.v.t.	n.v.t.	
Ontgraven en zeven					≈20 M€
Totaal	€ 21.000	€ 43.000	€ 202.000	€ 812.000	≈20 M€
Prijs/m ²	€ 2,1	€ 4.3	€ 20,2	€ 81,2	≈€ 2000

Voor het 'oogsten' van wortelstokken moeten de groeiplaatsen worden ontgraven en de wortelstokken uitgezeefd. Ontgraven en zeven brengt grote risico's met zich mee op verdere verspreiding van de duizendknoop door fragmenten van de wortelstokken die verslept worden met de grond of via het materieel. Voor het ontgraven van een groeiplaats wordt geadviseerd de duizendknoop als een bodemverontreiniging te beschouwen en onder sanerende omstandigheden te verwijderen. Dat maakt het werk vrij uitgebreid qua aanvullende maatregelen en vraagt een verhoogde mate van ervaring van de uitvoerende partij. Belangrijkste nadelen van grootschalig ontgraven zijn dat er veel grond wordt ontgraven met een lage besmettingsverwachting, de grond verlaat de grondketen, is weinig circulair of duurzaam en is organisatorisch complex door de vereiste vergunningen, meldingen, transport-administratie etc.

Ontgraven, ter plekke zeven en de grond direct op de locatie verwerken heeft als voordeel dat er geen tussentijdse opslag nodig is en er redelijk snel gewerkt kan worden. Het nadeel is dat er geen controle is op achterblijvers in de putbodem en -wanden en er mogelijk fragmenten van de wortelstokken achterblijven in de gezeefde en teruggebrachte grond. Nazorg is aan te bevelen, dat wil zeggen gedurende 1 a 2 seizoenen de locaties monitoren en nieuwe opgekomen plantjes (handmatig) uitgraven.

Voor het ontgraven en ter plekke zeven wordt gebruik gemaakt van trommel- of vlakzeven met een zeeffractie van 1-2 cm (Figuur 8). Op deze manier worden alle grotere wortelstukken uit de grond verwijderd. Deze uitgezeefde wortelstukken kunnen worden afgevoerd voor verwerking. Zeven werkt vooral goed op zanderige gronden. Daarnaast zijn er speciale graafbakken met roterende 'vingers' op de markt die aan een mobiele kraan kunnen worden gekoppeld. Door de roterende delen valt grond door de bak, de grovere delen (>2 cm) blijven achter in de bak (Figuur 9). Dit type machines is geschikt voor het uitgezeven van Aziatische duizendknoop wortelstokken. Zeven van met duizendknoop besmette grond leidt tot een substantiële afname van hergroei (aantal scheuten) ten opzichte van onbehandelde grond maar er blijven vitale wortelstokfragmenten achter.



Figuur 8 Machinaal uitgraven en zeven (trommelzeef) van wortelstokken van Aziatische duizendknoop.



Figuur 9 Mobile kraan met een graafbak met roterende 'vingers' voor graven en uitzeven. De grond valt door de bak, grovere delen (>2 cm) blijven achter in de bak.

7 Evaluatie

Bestaande toepassingen en gebruik van Aziatische duizendknoop, met name in Azië, worden in perspectief geplaatst met de Europese wet en regelgeving. Verder worden de ontwikkeling puntsgewijs benoemd op het gebied van opwerking van biomassa in het algemeen zoals bio-raffinage, opwerken tot bodemverbeteraar, energierterugwinning en fyto-remediatie. Tenslotte wordt aangegeven op welke wijze de mogelijkheden tot opwerking van duizendknoop biomassa past binnen de ProRail beheerdoelstellingen.

Inhoudsstoffen

- De Aziatische duizendknoop is een traditioneel (folklore) medicijn in onder meer China, Korea, Taiwan en Japan.
- Zowel de wortelstokken als de bovengrondse delen van duizendknoop bevatten een verscheidenheid aan plant-specifieke inhoudsstoffen, ook wel fytochemicaliën genoemd. Traditionele medicinale extracten worden verkregen door de fytochemicaliën uit de gedroogde en fijngemalen onder- of bovengrondse plantendelen te onttrekken met heet water ('kruidenthee') of met een alcoholische oplossing (tinctuur).
- Aziatische duizendknoop bevat relatief hoge concentraties van fenolische inhoudsstoffen zoals resveratrol en emodin die positieve gezondheidseffecten zouden hebben. Een goede wetenschappelijke onderbouwing van deze effecten in de mens ontbreekt echter. De exacte hoeveelheden van deze stoffen zijn afhankelijk van de groeiomstandigheden, ontwikkelingsstadium en manier waarop de chemische analyses zijn uitgevoerd.
- In de EU mogen planten die op ongecontroleerde wijze in het wild groeien en niet voor 1997 op grote schaal gegeten werden, niet commercieel als voedingsmiddel of voedselproduct op de markt worden gebracht. Voor gebruik als geneesmiddel zijn de regels nog strikter.
- Emodin is een natuurlijke kleurstof die wordt gebruikt voor het kleuren van papier, leer, wol, zijde, verf voor kunstschilders.

Humane voeding

- Duizendknoop wordt in Aziatische landen gebruikt in de keuken. Jonge scheuten worden gegeten als asperges of dienen, door de lichte zure smaak als vervanger voor rabarber. Het zou ook een goede voedingsbron zijn van vitamine A (caroteen), vitamine C (ascorbinezuur), mineralen en fenolische antioxidanten zoals resveratrol.
- In Europa wordt voedsel dat niet voor 15 mei 1997 op een significant niveau werd geconsumeerd gezien als een 'Novel Food' en kan niet op de markt worden gebracht zonder toestemming van de EFSA. Om toestemming te krijgen moet een *Novel Food* dossier bij de EFSA ingediend worden met wetenschappelijk- en technisch bewijs dat het nieuwe voedsel op een veilige manier geproduceerd en geconsumeerd kan worden en geen toxische componenten, allergenen en contaminanten bevat. Daarnaast geldt de voorwaarde dat de teelt gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden moet plaatsvinden. Aziatische duizendknoop die in het wild langs het spoor groeit, voldoet niet aan deze voorwaarden.

Diervoeder

- Voor biomassa die toegevoegd wordt aan veevoer en als commercieel product wordt aangeboden geldt de voorwaarde dat de 'teelt' gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden moet plaatsvinden. Aziatische duizendknoop die in het wild langs het spoor groeit, voldoet niet aan deze voorwaarde.
- Als de planten eerst een extractieproces ondergaan en alleen de geëxtraheerde component, bijvoorbeeld eiwit, aan veevoer wordt toegevoegd geldt de voorwaarde van gecontroleerde teelt niet omdat veel van de eventuele verontreinigingen door het extractieproces niet in het eindproduct terechtkomen. Uiteraard moet het eindproduct wel voldoende zuiver zijn om veilig gebruikt te kunnen worden. Verwerking van duizendknoop uit de omgeving van het spoor zou een optie kunnen zijn mits de relevante inhoudsstoffen (eiwitten) op een goedkope wijze in voldoende hoeveelheid en zuiverheid kunnen worden geëxtraheerd en ingezet worden voor diervoeding.

Bioraffinage

Er zijn geen specifieke bioraffinage toepassingen van Aziatische duizendknoop gevonden.

Onderstaande opsomming betreft bioraffinage-voorbeelden van andere plantensoorten. Van Aziatische duizendknoop is niet bekend wat de samenstelling is met betrekking tot vezelsopbouw, -sterkte etc. Daarvoor is nader onderzoek nodig.

- Het verwerken en opwaarderen (bioraffinage) van maaisel uit (weg)bermen of groenresten uit het waterbeheer is volop in ontwikkeling en kan mogelijk aanknopingspunten bieden voor verwerking van groenresten van Aziatische duizendknoop. Of de duizendknoop op dezelfde wijze als grasmaaisel kan worden verwerkt en toegepast zal nog nader onderzocht moeten worden.
- Groenresten kunnen dienen als grondstof voor productie van eiwitten (technische toepassingen; zie ook 'diervoeder'), vezels (diverse toepassingen) en sap waaruit fosfaat, suiker, mineralen en zout kan worden gewonnen.
- Vezels die vrijkomen bij extractieprocessen van groenreststromen zoals bermgras en Olifantsgras (*Miscanthus*) kunnen als grondstof dienen voor verschillende doeleinden, zoals papier, bio-composiet en bouwmaterialen.
- Natuurlijk bamboe is een voorbeeld van een bio-based materiaal dat gebruikt wordt voor constructiedoeleinden. De toepassingsmogelijkheden kunnen mogelijk worden verbeterd en uitgebreid door specifieke voorbehandeling van het materiaal.
- Acetophenonen worden gebruikt voor industriële toepassingen, o.a. in de bereiding van harsen. Acetophenone komt ook voor in Aziatische duizendknoop, maar of deze specifieke vorm van acetophenone (namelijk tetrahydroxy-acetophenone) hier ook voor geschikt voor is, is niet bekend.

Composteren/bokashi

- Compostering van biomassa levert een stabiele organische stof op die ingezet kan worden als bodemverbeteraar.
- Reststromen van Aziatische duizendknopen kunnen zonder risico worden gecomposteerd en toegepast als bodemverbeteraar (onder certificaat).
- Er bestaan op dit moment nog de nodige onzekerheden rond de meerwaarde en de risico's van Bokashi. Het is (nog) niet aangetoond dat onkruidzaden, plantpathogenen en invasie plantensoorten zoals Aziatische duizendknoop effectief worden afgedood.
- Bokashi is op dit moment geen toegestane bodemverbeteraar en mag niet als zodanig worden verhandeld en toegepast. Uitzondering is bokashi dat op eigen terrein met eigen organisch materiaal is geproduceerd, dat mag op eigen terrein worden toegepast als bodemverbeteraar.

Energie

- Duizendknoop wordt vanwege z'n snelle groei beschouwd als een potentiële energiebron. In combinatie met andere groenreststromen is vergisting van duizendknoop een mogelijkheid voor biogasproductie.
- Aziatische duizendknopen leveren een stabiele en relatief hoge hoeveelheid biomassa met een energiewaarde vergelijkbaar met droge houtsnippers en houten briketten of pellets. Hieruit kunnen brandstofpellets geproduceerd worden. Bij een biomassa-opbrengst is circa 30 t ha⁻¹ droge stof betekent dat 583,32 GJ ha⁻¹.

Fytoremediatie

- Fytoremediatie is een bewezen technologie waarbij planten worden gebruikt om vervuiling in de bodem te immobiliseren of te verwijderen.
- Aziatische duizendknoop wordt als een geschikte soort aangemerkt voor fytoremediatie, met name voor met zink en cadmium vervuilde bodems mits het niet bijdraagt aan verdere verspreiding van de duizendknoop.

Volumestromen

- Het oppervlak aan Aziatische duizendknoop rond het spoor wordt geschat op ca. 10 ha.
- De totale hoeveelheid bovengrondse biomassa (stengels en bladeren) ligt globaal tussen 100-250 ton d.s. per jaar. Bij jaarlijks 'oogsten' zal deze hoeveelheid in de tijd afnemen.
- De biomassa van de wortelstokken wordt geschat op ca. 150 ton d.s.

Beheerdoelstellingen

- De ambitie van ProRail is om op termijn de Aziatische duizendknoop volledig te elimineren.
- Bij het jaarlijks 'oogsten' van de bovengrondse biomassa van de duizendknoop worden de groeiplaatsen in stand gehouden. Dit draagt niet bij aan de eliminatie-doelstelling.
- Indien er een nuttige toepassing voor de wortelstokken beschikbaar zou komen, kunnen de wortelstokken 'geoogst' worden. Daarvoor zijn geschikte machines voorhanden maar die zorgen wel voor grondverzet met een groot risico op verder verspreiding van de duizendknoop door wortel- en stengelfragmenten. Grondverzet in de nabijheid van het spoor kan invloed hebben op de stabiliteit en zetting van de grond en mogelijk tot verstoring van waterhuishouding van de bodem leiden. Deze effecten zijn vaak pas later zichtbaar en vergen de nodige nazorg (Kouwenberg, pers. med.). Oogsten is echter maar eenmalig mogelijk, het draagt wel bij aan de eliminatie-doelstelling.
- Machines voor het verwijderen van wortelstokken zonder grondverzet moeten eventueel nog ontwikkeld worden.

8 Conclusies en aanbevelingen

Humane voeding, medicinale toepassingen en supplementen

De resultaten uit deze studie laten zien dat in Aziatische landen de duizendknoop onder andere wordt gebruikt als een traditioneel (folklore) medicijn. Medicinale extracten worden uit de gedroogde en fijngemalen plantendelen onttrokken met heet water ('kruidenthee') of met een alcoholische oplossing (tinctuur). Medicinale of gezondheid-gerelateerde effecten worden vooral toegeschreven aan de plantenstoffen resveratrol en emodin. Celstudies laten voor deze stoffen een antimicrobiële, antikanker, antioxidant, ontstekingsremmende werking zien en bescherming van hersenfuncties en bloedvaten. Resveratrol zou, *in vitro*, zelfs de infectie door het MERS-CoV virus, een coronavirus vergelijkbaar met SARS-CoV, remmen. Het ontbreekt echter aan wetenschappelijk bewijs van de effectiviteit in de mens.

Duizendknoop wordt in Aziatische landen ook gebruikt in de keuken. Jonge scheuten worden gegeten als asperges of dienen, door de lichte zure smaak, als vervanger voor rabarber.

Dat de duizendknoop in Aziatische landen wordt gebruikt voor medicinale doeleinden en daarnaast ook wordt gegeten, betekent niet automatisch dat het dan ook in Europa is toegestaan. Daarvoor is eerst goedkeuring nodig van de Europese autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA, European Food and Safety Authority). Om die toestemming te krijgen moet wetenschappelijk- en technisch bewijs worden aangeleverd waaruit blijkt dat het nieuwe voedsel veilig geconsumeerd kan worden en geen toxische componenten, allergenen en contaminanten bevat en geen schadelijke effecten heeft op de mensen die het consumeren. Daarnaast moet aangetoond worden dat het 'nieuwe' gewas veilig geproduceerd kan worden, dat wil zeggen dat de teelt gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden plaatsvindt.

Aziatische duizendknoop die in het wild langs het spoor groeit, voldoet niet aan de voorwaarde dat de teelt gecontroleerd en onder hygiënische omstandigheden moet plaatsvinden. Daarnaast is bekend dat duizendknoop relatief veel zware metalen uit de bodem opneemt. Het is aannemelijk dat dit het geval zal zijn op locaties nabij het spoor. Daarmee is de kans dat Aziatische duizendknoop ingezet kan gaan worden voor humane voeding, medicinale toepassingen of voor de supplementenmarkt klein (in ieder geval op korte termijn). Deze eigenschap biedt mogelijk wel kansen om bodemverontreiniging rond het spoor aan te pakken (fytoremediatie).

Diervoeder

Ook voor de directe toepassing van biomassa in diervoeder gelden eisen met betrekking tot een gecontroleerde teelt onder hygiënische omstandigheden. Echter, als de biomassa eerst een extractieproces ondergaan en alleen de voldoende zuivere geëxtraheerde component, bijvoorbeeld eiwit, aan diervoeder wordt toegevoegd geldt de voorwaarde van gecontroleerde teelt niet omdat veel van de eventuele verontreinigingen door het extractieproces niet in het eindproduct terecht komen. Dat zou de toepassing van Aziatische duizendknoop eventueel mogelijk maken. De extractie moet wel goedkoop genoeg zijn om het gebruik van de eiwitten in veevoer economisch rendabel te maken.

Bioraffinage

Bioraffinage technieken bieden de mogelijkheid biomassa te gebruiken als grondstof voor productie van eiwitten, vezels, en sap waaruit fosfaat, suiker, mineralen en zout kan worden gewonnen. De ontwikkeling van deze technologie is volop in ontwikkeling voor met name de verwerking van (berm)gras en biomassa die vrijkomt bij het waterbeheer. Specifieke voorbeelden van bioraffinage van resten van Aziatische duizendknoop zijn niet gevonden. Dat neemt niet weg dat deze ontwikkelingen mogelijk kansen bieden voor de verwerking van duizendknoop al of niet in combinatie met andere groenresten die vrijkomen bij het beheer van het spoor. Het huidige gangbare maaibeheer rond het spoor, primair ingericht op kostenefficiënte logistiek, zal dan anders moet worden ingericht. Mogelijk

bieden ontwikkelingen op het gebied van precisielandbouw (sensortechnologie, robotica, drones en autonoom rijdende voertuigen) mogelijkheden om dit proces te optimaliseren (zie kader).

Concrete voorbeelden van producten die op experimentele schaal uit biomassa worden geproduceerd zijn papier en karton, isolatiemateriaal, vervanger van veen en turf, bio-composiet voor boompalen, beschoeiingsmateriaal, vangrail en eenvoudig tuinmeubilair, verwerking in beton voor tegels, trappen, en verhardingsplaten voor wandel- en fietspaden. Voorbewerkt bamboe wordt gebruikt als constructiemateriaal. Aziatische duizendknoop bevat stoffen die mogelijk gebruikt kunnen worden voor de productie van harsen en kleurstoffen. Toepassing van bio-based producten geproduceerd uit 'eigen' groenresten draagt bij aan de ProRail duurzaamheidsdoelstellingen.

Energieterugwinning

Aziatische duizendknopen leveren een relatief hoge hoeveelheid biomassa met een energiewaarde vergelijkbaar met droge houtsnippers en houten briketten of pellets. In combinatie met andere groenreststromen is vergisting of verbranding als pellet een mogelijkheid voor energierugwinning. Door de bovengrondse biomassa van de duizendknoop jaarlijks te 'oogsten' worden de groeiplaatsen in stand gehouden. Dit draagt niet bij aan de bestrijdingsdoelstelling.

Fytoremediatie

Fytoremediatie met behulp van Aziatische duizendknoop is een bewezen technologie om vervuiling in de bodem te immobiliseren of te verwijderen. Dit geldt met name voor met zink, cadmium en koper vervuilde bodems. Het principe van fytoremediatie berust op het periodiek verwijderen van bovengrondse plantendelen waarin zich de verontreiniging heeft opgehoopt. Over het algemeen moet de groeiplaats daarvoor lagere tijd intact blijven. Dat past niet in de duizendknoop-eliminatie-doelstelling. Bestaande groeiplaatsen van duizendknoop op verontreinigde bodem zou je kunnen laten staan voor het saneren van de bodem en pas later, als de bodemgehalten voldoende zijn teruggebracht weghalen. Als de periodiek te oogsten bovengrondse delen, rekening houdende met de accumulatie van metalen, nuttig kunnen worden toegepast geeft dat extra voordeel.

Volumes

De hoeveelheid biomassa van duizendknoop wortelstokken is vergelijkbaar met die van aardappelknollen, ca 15 ton d.s. per ha. Echter, in Nederland werd in 2019 op ca. 80.000 ha consumptieaardappelen geteeld (CBS) terwijl het areaal aan duizendknoop rond het spoor geschat wordt op ca. 10 ha is. Het is niet aannemelijk dat op basis van uitsluitend dit areaal een haalbare verwerking kan worden opgezet. Waarschijnlijk is dit ook niet het geval indien het areaal een factor 10 of 100 groter zou blijken te zijn. Daar komt nog bij dat de wortelstokken van duizendknoop slechts eenmaal kunnen worden 'geoogst', wat weer wel bijdraagt aan de bestrijdingsdoelstelling.

Door de versnipperde ligging van de groeiplaatsen zullen in de huidige situatie en met bestaande machines de kosten voor het 'oogsten' in verhouding hoog zijn. Om tot een betere business case te komen biedt het slim combineren van toepassingsmogelijkheden van biomassa en nieuwe technologie mogelijk perspectief. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Opschalen van het volume aan duizendknoop door betere inventarisatie, samenwerking met andere terreinbeheerders of verwerking in combinatie met andere groenresten zoals bermmaaisel;
- De duizendknoop lokaal inzetten voor bodemsanering in combinatie met de verwerking van vrijkomend plantmateriaal tot bio-based materialen en producten. Hiervoor kan worden aangesloten bij lopende initiatieven voor verwerking van groenresten zoals (berm)gras, bamboe en Olifantsgras;
- Verbeteren van de 'oogst-technieken' voor verwijderen van wortelstokken en bovengrondse plantendelen. Hiermee kunnen problemen (en kosten) met de stabiliteit en zetting van de grond en verstoring van waterhuishouding rond het spoor en de onbedoelde verdere verspreiding van de duizendknoop als gevolg van grondverzet worden voorkomen.

Wat is precisielandbouw?

Ontwikkelingen op het gebied van precisielandbouw zoals sensortechnologie, robotica, drones en autonoom rijdende voertuigen bieden mogelijkheden om het oogstproces van duizendknoop langs het spoor te optimaliseren.

Precisielandbouw is een vorm van landbouw, waarbij planten (of dieren) heel nauwkeurig die behandeling krijgen die ze nodig hebben. Het grote verschil met klassieke landbouw is dat de klassieke landbouw per veld bepaalt wat er moet gebeuren terwijl dit bij precisielandbouw per vierkante meter of per plant wordt bepaald. Precisielandbouw is een data-intensieve activiteit waarbij remote- en near-by-sensoren nodig zijn voor het waarnemen van gewassen, bodem, ziekten en plagen, weersomstandigheden etc. (Waarnemen). Op basis van de sensorwaarden wordt door specifieke software met beslisregels en modellen de toestand van het gewas (of bodem) en eventuele gebreken of behoeftes vastgesteld (Diagnosticeren) en bepaald of en zo ja welke plaats-specifieke behandeling nodig is (Beslissen). Tenslotte moet de operationele behandeling ook uitgevoerd worden, vaak door aansturing van apparatuur en (autonoom rijdende) machines (Uitvoeren). Na evaluatie begint de keten opnieuw. Voor meer info en voorbeelden zie: www.proeftuinprecisielandbouw.nl

Aanbevelingen

- Ontwikkelingen op het gebied van bio-raffinage mogelijkheden biedt voor verwerking van duizendknoop in bijvoorbeeld diervoeder al of niet in combinatie met andere groenresten die vrijkomen bij het beheer van het spoor. Aanbevolen wordt om aansluiting te zoeken bij lopende initiatieven.
- Vezels uit groenresten zijn geschikt als grondstof voor specifieke producten zoals papier en karton, inrichtingsmaterialen of als toepassing in constructies (naar analogie van vervoerwerkt bamboe). Aanbevolen wordt om producten te (laten) ontwikkelen uit groenresten die bij het huidige beheer rond het spoor vrijkomen. Dit draagt bij aan de duurzaamheidsdoelstelling van ProRail. Daarnaast wordt aanbevolen nader onderzoek te doen of vezels uit duizendknoop dezelfde eigenschappen en toepassingsmogelijkheden hebben als vezels uit (berm)maaisel, bamboe en Olifantsgras. Mocht dat zo zijn dan kunnen ook deze vezels toegepast worden in specifiek producten.
- Onderzoeken of energierugwinning mogelijk en rendabel is door duizendknoop te verwerken tot brandstofpellets of door middel van vergisting. Eventueel in combinatie met andere groenreststromen.
- Voor het toepassen van de duizendknoop moet deze eerst geoogst worden. Hierbij vindt meestal grootschalig grondverzet plaats met alle risico's van dien en de kosten hiervoor zijn relatief hoog. Nieuwe technologieën zijn nodig waarbij zo weinig mogelijk grondverzet plaatsvindt. Aanbevolen wordt om na te gaan of de ontwikkelingen op het gebied van sensor technologie, robotica en autonome voertuigen in de landbouw mogelijkheden bieden om dit proces te optimaliseren.
- Onderzoeken of opname van zware metalen in Aziatische duizendknoop een rol kan spelen bij het terugdringen en/of verwijderen van bodemverontreinigingen rond het spoor (fytoremediatie). Bestaande groeiplaatsen op vervuilde gronden kunnen intact blijven voor fytoremediatie, op niet vervuilde gronden kan de duizendknoop worden verwijderd.
- Mocht er een nuttige toepassing zijn gevonden dan blijft het lastig om op basis van het huidige geschatte areaal een sluitende business case op te zetten. Opties om de business case te verbeteren zijn opschaling en het combineren van toepassingen door:
 - Verhogen van de biomassa hoeveelheden door samenwerking met andere terreinbeheerders zoals RWS, gemeenten, provincies en waterschappen. Of internationale samenwerking zoeken.
 - Resten van duizendknoop verwerken in combinatie met andere groenreststromen waardoor er meer volume beschikbaar komt. Voorwaarde hiervoor is dat het huidige gangbare maaibeheer, primair ingericht op kostenefficiënte logistiek, anders moet worden ingericht.

Literatuur

- Baker, A.J.M., and S.P. McGrath, C.M.D. Sidolub & R.D. Reeves, 1994. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling* 11(1-4):41-49.
- Berman, A.Y., Motechin, R.A., Wiesenfeld, M.Y., Holz M.K., 2017. The therapeutic potential of resveratrol: a review of clinical trials. *npj Precision Onc* 1, 35.
- Biomassa Alliantie, 2017. Waarde van maaisel. *Circulair terreinbeheer in de praktijk*. www.circulairterreinbeheer.nl.
- Bobis, O., Dezmirean, D.S., Bonta, V., Moise, A., Pasca, C., Domokos, T.E., Urcan, A.C., 2019. Japanese Knotweed (*Fallopia Japonica*): Landscape Invasive Plant Versus High Quality Honey Source. *Scientific Papers. Series D. Animal Science. Vol. Lxii, No. 1: 231-235*.
- Brinkman, A., 2014. Biogas uit gras – een onderbenut potentieel Een studie naar kansen voor grasvergisting. Brinkman Consultancy.
- Brunerova, Anna, Miroslav Muller & Milan Brozek, 2017. Potential of wild growing Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*) for briquette production. *Engineering for Rural Development* 561-568.
- Brock, J.H., 1994. Technical note: Standing crop of *Reynoutria japonica* in the autumn of 1991 in the United Kingdom. *Preslia*, 66: 337-343.
- BVOR, 2017. Innovatief aanbesteden van groenafval en gras Een handreiking voor aanbestedende diensten. Branche Vereniging Organische Reststoffen (BVOR). www.bvor.nl.
- Callahan, T.V., Scott, R., Lawson, G.J. and Manwaring, A.M., 1984. An experimental assessment of native and naturalized species of plants as renewable sources of energy III. Japanese knotweed - *Reynoutria japonica*. Cumbria, UK: Institute of Terrestrial Ecology.
- Chaoji Chen, Zhihan Li, Ruiyu Mi, Jiaqi Dai, Hua Xie, Yong Pei, Jianguo Li, Haiyu Qiao, Hu Tang, Bao Yang and Liangbing Hu, 2020. Rapid Processing of Whole Bamboo with Exposed, Aligned Nanofibrils toward a High-Performance Structural Material. *ACS Nano* 14(5): 5194-5202.
- Day, Laurence, Jessica Rall, Susan McIntyre and Charles Terrance, 2009. Japanese Knotweed Composting Feasibility Study, Delaware County (New York). *Ecological Restoration*, Vol. 27, No. 4, pp. 377-379.
- Eliáš, P., 1998. Estimation of *Reynoutria japonica* Houtt. biomass in Slovakia. *Acta Horticulturae at Regiotecturae Nitriae*, 1: 3-4.
- El-Readi, M.Z., Eid, S.Y., Al-Amodi, H.S., Wink, M., 2016. *Fallopia japonica*: Bioactive Secondary Metabolites and Molecular Mode of Anticancer. *J Tradi Med Clin Natur* 5:193
- Fuchs, J.G., 2017. Studie zur Persistenz von Erdmandelgras (*Cyperus esculentus*) und Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) in Kompostierungs- und Vergärungsprozessen FiBL Schweiz / Suisse.
- Ghanim, Husan, Chang Ling Sia, Sanaa Abuaysheh, Kelly Korzeniewski, Priyanka Patnaik, Anuritha Marumganti, Ajay Chaudhuri, Paresh Dandona, 2010. An Antiinflammatory and Reactive Oxygen Species Suppressive Effects of an Extract of *Polygonum Cuspidatum* Containing Resveratrol, *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 95, pp E1-E8.
- Hulina, N. and Đumija, L., 1999. Ability of *Reynoutria japonica* Houtt. (*Polygonaceae*) to accumulate heavy metals. *Periodicum Biologorum*, Vol.101 No.3 pp.233-235.
- Hulme, P.E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kuhn, I., Minchin, D., Nentwig, W., Olenin, S., Panov, V., Pergl, J., Pysek, P., Roques, A., Sol, D., Solarz, W., Vila, M., 2008. Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology* 45 (2): 403-414.
- Hulme, P.E., 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46 (1): 10-18.
- Jan, S. & J.A. Parray, 2016. Phytoremediation: A Green Technology. *Approaches to Heavy Metal Tolerance in Plants* pp 69-87.
- Kurita, S., Kashiwagi, T., Ebisu, T., Shumamura, T., and Ukeda, H., 2014. Content of resveratrol and glycoside and its contribution to the antioxidative capacity of *Polygonatum cuspidatum* (Itadori) harvested in Kochi. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 78:3, 499-502.

-
- Leferink, Jenneke, Johan van Valkenburg, Joyce Penninkhof en Chris van Dijk, 2020. Zaden bij Japanse duizendknoop! Kunnen ze kiemen en zich vestigen? *Nature Today*, 2 juli 2020.
- Lehtomäki, A., T.A. Viinikainen & J.A. Rintala, 2008. Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 32(6): 541-550.
- Oldenburger, Jan, Joyce Penninkhof, Casper de Groot en Fons Voncken, 2017. Praktijkproef bestrijding duizendknoop. Resultaten en kostenefficiëntie van zeven bestrijdingsmethoden voor duizendknoop en varianten daarop. Stichting Probos, Wageningen.
- Macfarlane, J., 2011. Development of strategies for the control and eradication of Japanese knotweed. Thesis University of Exeter, UK.
- Metličar, V., Vovk, I., Albrecht, A., 2019 . Japanese and Bohemian Knotweeds as Sustainable Sources of Carotenoids. *Plants* 8, 384.
- Rahmonov, O., Czylok, A, Orczewska, A, Majgier, L. and Parusel T., 2014. Chemical composition of the leaves of *Reynoutria japonica* Houtt. and soil features in polluted areas. *Cent. Eur. J. Biol.* 9(3): 320-330. DOI: 10.2478/s11535-013-0267-9.
- Ramírez-Garza, S.L., Laveriano-Santos, E.P., Marhuenda-Muñoz, M., Storniolo, C.E., Tresserra-Rimbau, A., Vallverdú-Queralt, A., Lamuela-Raventós, R.M., 2018. Health Effects of Resveratrol: Results from Human Intervention Trials. *Nutrients* 10, 1892.
- Rui, Wen, Wanxia Xia, Wei Zhao, Bingling Li, Jian Li, Yifan Feng, Hongyuan Chen & Shujin Zhao, 2018. Quantitative Analysis of the Roots, Stems, and Leaves of *Polygonum multiflorum* by Ultra-High-Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometry, *Analytical Letters*, 51:11, 1633-1641.
- Singh, Har Bhajan, Kumar Avinash Bharati, 2014. In: *Handbook of Natural Dyes and Pigments*, ISBN 978-93-80308-54-8.
- Stražil, Z. & J. Kára, 2010. Study of knotweed (*Reynoutria*) as possible phytomass resource for energy and industrial utilization. *Res. Agr. Eng.*, 56: 85–91.
- Van Dijk, C.J., 2018. Proefsleuven spoortalud Kop Weespertrekvaart. Notitie Wageningen UR, 28 maart 2018. 7 pp.
- Van Lieshout, D., N. Voets & R. Verberne, 2019. Onderzoek potentie landelijk verwaarden maaisel Werkgroep Biomassa Energie- & Grondstoffenfabriek. *Ingenia Rapport 1858486-R06*.
- Xian, C., Bardos, P. & S. Robinson, 2011. Can composting kill Japanese Knotweed? University of Reading.
- Zhang, Huan, Chang Li, Sin-Tung Kwok, Qing-Wen Zhang, and Shun-Wan Chan, 2013. A review of the pharmacological effects of the dried roots of *Polygonum cuspidatum* (Hu Zhang) and its constituents. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2013, pp 1-13.
- Zhou, Y., Hou, Y., Shen, J., Huang, Y., Martin, W., Cheng, F., 2020. Network-based drug repurposing for novel coronavirus 2019-nCoV/SARS-CoV-2. *Cell Discov* 6, 14.
- Zwart, K.B. & Boer, D. de, 2015. Droge vergisting van berm- en natuurgras. Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2661. 46 blz.

Bijlage 1 Bestrijdingsmethoden Aziatische duizendknoop (algemeen)

Voor de bestrijding van Japanse duizendknoop zijn verschillende bestrijdingsmethoden beschikbaar, mechanisch, thermisch, chemisch of biologisch (Tabel B1-1). Daarnaast zijn er nog methoden in ontwikkeling (Tabel B1-2). Informatie over de uitvoering en de voor- en nadelen van de verschillende methoden is te vinden op *Kennisnetwerk Invasieve Exoten* (www.invasieve-exoten.info).

Tabel B1-1 Gangbare bestrijdingsmethoden voor Aziatische duizendknoop.

Methode		Effectiviteit	Gericht op:
Mechanisch	Maaien	Maaien is een beheermethode gebaseerd op uitputting van de plant. Dichtheid van de haarden neemt af maar de wortelstokken blijven intact. Volledig bestrijding is niet haalbaar.	Beheersing
	Uittrekken/uitsteken	Uittrekken/uitsteken is gericht op uitputting van de plant. Dichtheid van haarden neemt af, met name als ook steeds delen van de wortels worden verwijderd. Afhankelijk van de leeftijd, omvang van de haard en frequentie van behandeling is volledige bestrijding op den duur mogelijk. Deze methode is goed geschikt als nazorg na uitvoeren van andere methode(n).	Bij jonge, kleine haarden: bestrijding. Anders: beheersing
Thermisch	Heet water	Heet water is een beheermethode gebaseerd op uitputting van de plant. Dichtheid van de haarden neemt af. Werking op wortelstokken niet aangetoond. Volledig bestrijding is niet haalbaar.	Beheersing
Chemisch	Glyfosaat (o.a. RoundUp) -Injectie -bladbehandeling -stobbenbehandeling	Werking op de wortelstokken, verzwakt de plant aanzienlijk, maar de resultaten kunnen wisselend zijn. Meest effectief in combinatie met andere methoden. Toepassing door bladbespuiting of stengels injecteren. Stobbenbehandeling alleen met ontheffing toegestaan. Volledige bestrijding is haalbaar.	Bestrijding
	Vetzuur+kiemremmer (o.a. Ultima)	Werking op de bovengrondse delen (etsende werking). Kiemremmer lijkt op lange termijn effect te hebben maar resultaten zijn sterk wisselend.	Beheersing
Overigen	Uitgraven onder sanerende omstandigheden	Bij grootschalig en ruim uitgraven kunnen haarden volledig worden verwijderd. Kans blijft aanwezig dat (delen van) wortelstokken achterblijven. Volledige bestrijding is haalbaar.	Bestrijding
	Ontgraven, zeven en terugstorten	Na uitgraven wordt de grond ter plekke gezeefd en teruggestort. Kleine delen van wortelstokken kunnen in de grond achterblijven. Een nazorgtraject is noodzakelijk. Als dit zorgvuldig wordt uitgevoerd, is volledige bestrijding haalbaar.	Bestrijding
	Ontgraven, verhitten en terugstorten	Na ontgraven wordt de grond met daarin de wortels ter plekke verhit en teruggestort. Zo'n 99% van de wortels wordt door de verhitting gedood. Bij zorgvuldige uitvoering is eliminatie haalbaar. Een nazorgtraject is aan te bevelen	Bestrijding

Methode		Effectiviteit	Gericht op:
	Afdekken	Na langdurig afdekken (minimaal 3 jaar) redelijke kans op wegblijven van de plant. Volledige bestrijding is haalbaar.	Bestrijding
	Begrazing (schapen of varkens)	Varkens eten planten en wortelstokken, maar de dieren hebben een sterke voorkeur voor andere plantensoorten. Beheermethode gebaseerd op uitputting van de plant. Dichtheid van de haarden neemt af maar de wortelstokken blijven grotendeels intact. Volledige bestrijding is niet haalbaar.	Beheersing

Tabel B1-2 Bestrijdingsmethoden voor Aziatische duizendknoop in ontwikkeling.

Methode		Effectiviteit	Gericht op:
<i>Biologisch</i>	Schimmels	Beheermethode gebaseerd op aantasting van de bladeren. Perspectiefvol maar nog niet beschikbaar in NL	Beheersing
	Japanse bladvlo	Beheermethode gebaseerd op aantasting van de bladeren. Perspectiefvol maar nog niet beschikbaar in NL	Beheersing
	Overige methoden	Daarnaast zijn er andere methoden waarvan de effectiviteit (nog) niet is aangetoond: Bodemmagnetron Beschaduwen Stomen Kneuzen en vergruizen UV-straling Vloeibare stikstof	



Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1003

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, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten 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



Corresponding address for this report:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1003

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, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten 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.

