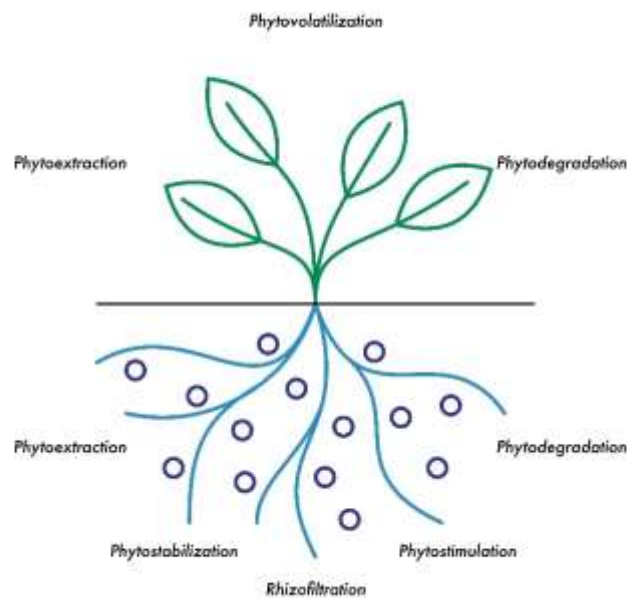


Natuurlijke hulp bij bodemsaneringen

Gebruik van planten en bomen om bodemverontreinigingen met zware metalen aan te pakken



Opdrachtgever: Natuur en Milieufederatie Zuid-Holland | Student: Talitha Haak | Stagebegeleider: Madeleine Braakman | Onderwijsinstelling: Hogeschool Inholland te Delft | Landscape and Environment Management jaar 3 | Datum: 24-01-2025

Natuurlijke hulp bij bodemsaneringen

Gebruik van planten en bomen om bodemverontreinigingen met zware metalen aan te pakken

Opdrachtgever/stagebedrijf:	Natuur en Milieufederatie Zuid-Holland Laan van Nieuw Oost-Indië 131E 2593 BM Den Haag
Stagebegeleider:	Madeleine Braakman
Student/auteur:	Talitha Haak
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Inholland Rotterdamseweg 141 2628 AL Delft
Versie:	1
Plaats en datum:	Den Haag, 24-01-2025

Bron foto voorblad: The Exploded View. Overgenomen van de website van *Phytosync* door The Exploded View, n.d, (<https://theexplodedview.com/storybb/phytosync/>).

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Natuur en Milieufederatie Zuid-Holland. De opdracht was het selecteren van geschikte planten die de bodem op een natuurlijke en duurzame manier kunnen reinigen of de verontreiniging kunnen verminderen door middel van fyto remediatie. Ook wilde de NMZH weten of de vezels nog verwerkt kunnen worden in nieuwe producten, welke regels hierbij gelden en wat de beperkingen hiervan zijn. De inventarisatie is gedaan door middel van een literatuurstudie in combinatie met het houden van interviews. De gegevens zijn samengevoegd in een tabel voor de multicriteria-analyse. Op basis van de totaalscore per plant, kon een rangschikking worden gemaakt van de planten.

Tijdens de stageperiode is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om de gewone zonnebloem, pluimhortensia, tuingeranium, zwarte els, zwarte populier, katwilg, pijlriet, olifantsgras, koolzaad, hennep, luzerne, grote weegbree en witte mosterd in te zetten voor fyto remediatie van zware metalen. Deze planten samen kunnen de zware metalen arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, mangaan, nikkel en zink vastzetten aan de bodembestanddelen of opnemen in de plantenvezels.

Om de planten goed te kunnen laten groeien, moeten de planten op de juiste plek worden gezet. Het poten van de meeste planten moet worden gedaan in een bodem met een neutrale pH-waarde (tussen de 5,5 en 7,5). Ook moet een afstand van tientallen centimeters voor planten en enkele meters tussen bomen worden aangehouden en de bodem moet het juiste vochtgehalte hebben. Veel planten mogen echter niet te nat blijven staan om wortelrot te voorkomen. De meest optimale omstandigheden van de bodem bestaat uit een lagere pH-waarde, CEC en redoxpotentiaal, genoeg nutriënten en de aanwezigheid van (micro-)organismen.

Daarnaast is de verzorging van de planten ook belangrijk. Planten hebben namelijk extra water nodig in de zomer, bomen en struiken moeten worden gesnoeid, minimaal vijf planten uit de lijst hebben extra mest nodig en bloemen moeten voor de vorstperiodes worden afgedekt. Ook zijn sommige planten ziektegevoelig, waardoor ze preventief behandeld moeten worden. Na het oogsten van de vezels van planten, kunnen deze nog worden verwerkt als grondstof in nieuwe producten. Door de aanwezigheid van zware metalen moeten de grenswaarden die door de Europese Unie zijn vastgesteld worden nageleefd. Daarnaast geldt een zorgplicht vanuit de Warenwet Algemene Productveiligheid, die stelt dat producenten de veiligheid van consumenten moeten garanderen.

Uit de multicriteria-analyse blijkt dat zwarte elzen het meest geschikt zijn voor fyto remediatie en voor de verwerking van de vezels in producten. Deze boom kan dus het beste worden ingezet op bodems met een verontreiniging van verschillende zware metalen en heeft de meest diverse toepassingen in combinatie met de minst strenge grenswaarden voor zware metalen in producten.

Discussiepunten van dit onderzoek zijn de overeenkomsten in resultaten van de effectiviteit en de nadelige gevolgen van de planten die in verschillende werelddelen zijn vastgesteld en de invloedsfactoren op dit onderzoek. Door het ontbreken van informatie over de gevolgen voor de planten kon geen compleet beeld worden gevormd van onderzochte planten. Ook kon de effectiviteit van de planten per zwaar metaal niet precies worden vastgesteld, omdat de resultaten zijn samengevoegd vanuit meerdere artikelen, waarbij elke bodemomstandigheid weer anders was.

Aanbevelingen voor een vervolgonderzoek zijn: het vinden van een locatie en onderzoeken van de gebruiksfunctie, het laten aanvullen van de gegevens door een deskundige, het verder onderzoeken van de regels voor verontreinigde biomassa en het opstellen van een begroting.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Afkortingen- en verklarende woordenlijst	6
1. Inleiding	9
2. Onderzoeksmethode	11
2.1 Verzamelen van gegevens	11
2.1.1. Literatuurstudie	11
2.1.2. Interviews	11
2.1.3. Multicriteria-analyse	12
2.2 Advies en poster	13
3. Toepassing van fytoremediatie	14
3.1 Geschikte planten voor fytoremediatie met de bijbehorende standplaats en verzorging ..	14
3.1.1. Bloemen	14
3.1.2. Bomen	18
3.1.3. Grassen/riet	21
3.1.4. Overige plantensoorten	24
3.2 Geo- en biologische omstandigheden die effect hebben op fytoremediatie	29
3.2.1 Samenstelling van de bodem en aanwezigheid van (micro-)organismen	29
3.2.2 Zuurgraad (pH-waarde)	30
3.2.3 Kationenomwisselingscapaciteit/Cation exchange capacity (afgekort CEC)	30
3.2.4 Nutriënten	30
3.2.5 Redoxpotentiaal	30
3.3 Verwerken van de planten tot grondstoffen voor nieuwe producten	31
3.4 Regels voor verwerken van verontreinigde biomassa	31
4. Multicriteria-analyse	33
5. Planten met de meest gunstige eigenschappen	35
6. Discussie	36
6.1 Vergelijking met andere onderzoeken.	36
6.2 Invloedsfactoren op dit onderzoek	37
7. Conclusie	39
8. Aanbevelingen	40
8.1 Aanbevelingen voor het vervolgonderzoek	40
8.2 Aanbevelingen voor de implementatie van de hoofdvraag/onderzoeksopzet	40
Bibliografie	41
Bijlagen	55

Bijlage 1; Grafieken en tabellen van de inventarisatie van planten voor fytoremediatie	55
Bloemen	55
Bomen	65
Grassen/riet.....	68
Overige plantensoorten.....	74
Bijlage 2; MCA met puntenverdeling en het totaaloverzicht van de criteria	85
Bijlage 3; Uiteenzetting criterium ‘bereik van de planten’	89
Bijlage 4; Uiteenzetting criterium ‘invloed van de verontreinigingen op de planten’	90
Bijlage 5; Uiteenzetting criterium ‘levensduur’	93
Bijlage 6; Uiteenzetting criterium ‘standplaatsfactoren van de planten’	94
Bijlage 7; Uiteenzetting criterium ‘verzorging van de planten’	96
Bijlage 8; Uiteenzetting criterium ‘verwerkbaarheid’	98
Bijlage 9; Uiteenzetting criterium ‘beperkingen voor de verwerking’	102
Bijlage 10; Totaaloverzicht met de concentratie aan zware metalen in de planten.....	109
Bijlage 11; Interviews	112
Interview met Karlijn Besse – Onderzoeker voor het project PhytoFuture	18-11-2024 112
Interview met Iris van der Veen – Adviseur bodem bij Tauw	29-11-2024 114
Gesprek met een medewerker van het bedrijf Dealin.Green	15-01-2025..... 116

Afkortingen- en verklarende woordenlijst

In dit hoofdstuk worden de gebruikte vaktermen toegelicht. Van elke term wordt uitgelegd wat deze betekent en hoe deze werkt. Daarnaast worden de volledige benamingen van afkortingen vermeld samen met de betekenis ervan.

Bioaccumulatiefactor

De bioaccumulatiefactor geeft aan hoeveel stof er vanuit de aarde wordt opgenomen in de plantenwortels. Het geeft aan hoe groot de concentratie in de plant is ten opzichte van de concentratie in de bodem. Op het gebied van fytoremediatie kan dit een indicatie zijn voor de effectiviteit van de plant. Meestal wordt een plant met een bioaccumulatiefactor rond de 1 of hoger als effectief beschouwd (Takarina en Pin, 2017).

Chlorose

Chlorose is een aandoening bij planten die wordt veroorzaakt door een tekort aan de nodige voedingsstoffen in de aarde of door de aanwezigheid van schadelijke stoffen. Hierdoor kunnen de bladeren onvoldoende chlorofyl aanmaken, wat essentieel is voor fotosynthese. Chlorofyl zorgt voor de opvang van lichtenergie. De bladeren kunnen hierdoor niet de typische groene kleur krijgen en zullen verbleken, waardoor vaak verkleuring tussen de bladnerven te zien is (b-Tree, n.d.).

Fyto-extractie

In het verslag komen een aantal planten voor die geschikt zijn voor fyto-extractie. Bij fyto-extractie legt de plant de verontreinigingen vast in de plant zelf en worden de verontreinigingen opgehoopt in de plantendelen. Het proces begint bij de opname van de verontreinigingen via de plantenwortels. De eventuele opname in de bovengrondse delen van de plant gebeurt via het transportsysteem genaamd xyleem. Via het xyleem worden de verontreinigingen in speciale opslagruimtes opgeslagen, waardoor de verontreiniging minder nadelige effecten zal hebben op de plant. Deze opslagruimtes heten vacuolen (Weyens et al., 2019). Als planten een bioconcentratiefactor van <1 hebben en een translocatiefactor van >1 , kunnen ze worden gebruikt voor fyto-extractie (Ngoc et al., 2024).

Fytoremediatie

Het woord fytoremediatie bestaat uit twee woorden; namelijk uit fyto en remediatie. Fyto betekent plant en remediatie betekent "Het opnemen van eigenschappen van een oud medium in een nieuw medium" volgens Encyclo (Encyclo, 2024). Deze woorden samen geven dus aan dat planten door hun eigenschappen ingezet kunnen worden om bodemverontreinigingen op te nemen. De planten kunnen in samenwerking met de bodemdieren en micro-organismen de vervuiling opnemen of afbreken waarna het wordt afgevoerd.

Bij fytoremediatie worden planten met hun bijbehorende micro-organismen gebruikt om bodemverontreinigingen aan te pakken. De planten kunnen via hun wortels vervuilende stoffen uit de bodem en het grondwater aanpakken. Onder fytoremediatie vallen verschillende werkingen. De soorten fytoremediatie zijn te zien in tabel 1.

Tabel 1 – Onderscheiding soorten fytoremediatie in water en/of bodem

Locatie	Soort fytoremediatie	Toelichting
Bodem	Fyto-extractie	Planten nemen de vervuiling op en slaan het op in de wortels of de bovengrondse plantendelen*
	Fytostabilisatie	Wortels van planten met de bijbehorende micro-organismen zetten de vervuiling vast aan de bodembestanddelen of de verontreiniging wordt vastgezet in de plantenwortels**

	<i>Fytostimulatie</i>	Biologische afbraak wordt gestimuleerd door het milieu rondom de wortelzone van planten*
	<i>Fytodegradatie</i>	Vervuiling wordt afgebroken door planten en de bijbehorende micro-organismen*
	<i>Fytovolatilisatie</i>	Vervuiling wordt in de plant omgezet tot vluchtige stoffen en wordt door verdamping via de bladeren uitgestoten*
Water en bodem	<i>Bioremediatie</i>	Afbraak van vervuiling wordt gedaan door micro-organismen rondom de wortelzone van planten**
	Rhizofiltratie	Wortels van planten nemen de vervuiling op vanuit grondwater, oppervlaktewater of afvalwater en houden het vast**
	<i>Fytotransformatie</i>	Vervuilingsdeeltjes worden afgebroken door de plant**

* Bron van: (Bollen, 2016)

** Bron van: (Ralinda & Miller, 1996)

Fytostabilisatie

Bij fytostabilisatie zorgen planten voor de vastlegging van verontreinigingen in de bodem. Hierdoor wordt verdere verspreiding van de verontreiniging voorkomen (Emis, n.d.a). Planten die geschikt zijn voor fytostabilisatie hebben meestal een bioconcentratiefactor van >1 en een translocatiefactor van <1 (Ngoc et al, 2024).

Morfotoxicologische symptomen

Morfotoxicologische symptomen zijn veranderingen in de vorm en structuur van de bladeren van planten. Deze term omvat symptomen zoals chlorose en necrose (b-Tree, n.d.).

NPK

NPK staat voor de elementen stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K). Deze stoffen zijn de belangrijkste drie voedingsstoffen die een plant nodig heeft om goed te kunnen groeien. Stikstof draagt bij aan de groei van de bladeren, fosfor draagt bij aan de groei van de wortels en kalium helpt de plant bij de waterhuishouding, zodat de plant goed water kan opnemen (Ecostyle, 2023).

Ppm

Ppm staat voor de Engelse afkorting parts per million en wordt gebruikt om aan te geven hoeveel stofdeeltjes per miljoen delen aanwezig zijn. Deze eenheid wordt vaak in scheikundige onderzoeken gebruikt om hele kleine concentraties aan te geven. Een andere schrijfwijze voor ppm is mg/kg (De Betekenis Fabriek, 2023).

Redoxpotentiaal

Redoxpotentiaal is een kortere verwoording voor het reductie-oxidatiepotentiaal. Hierbij wordt beschreven in welke mate de bodem elektronen kan afstaan (dit is de elektronendonor of de reductor) of kan opnemen (dit is de elektronenacceptator of de oxidator). Bij de overdracht van deze elektronen komt energie vrij die wordt gebruikt door de planten (Steketee, 2007).

Rhizomen

Rhizomen is de wetenschappelijke benaming voor wortelstokken. Wortelstokken zijn dikke stengels van een plant, waaraan knoppen zitten die uitgroeien tot nieuwe scheuten. Op deze manier kunnen sommige planten worden vermeerderd, hoewel het succes van de vermeerdering wel afhankelijk is van de soort plant (Groei & Bloei Noord-Limburg, n.d.).

Rhizosfeer

Onder de rhizosfeer van een plant valt de ruimte die de wortels innemen in de bodem. In deze wortelomgeving kan de plant water en voedingsstoffen opnemen die nodig zijn voor de groei. In deze

omgeving leven ook micro-organismen en andere bodemdieren. Deze organismen helpen de plant bij onder andere het opnemen van voedingsstoffen en helpen voorkomen dat de plant ziek wordt (Royal Brinkman, 2021).

Translocatiefactor

De translocatiefactor geeft aan hoeveel stof vanuit de wortels naar de bovenste delen van de plant wordt getransporteerd. Net als de bioaccumulatiefactor wordt deze waarde gebruikt om de effectiviteit van een plant voor fyto-remediatie aan te geven. Een plant wordt als efficiënt beschouwd voor fyto-remediatie met een translocatiefactor van $>0,5$ (Takarina en Pin, 2017).

Zware metalen

Zware metalen zijn elementen met een hogere atoommassa; een atoommassa van 4,0 of 5,0 g/cm³ en hoger. Meestal bedoelt men met zware metalen ook de metalen die giftig zijn. Deze categorie loopt in het periodiek systeem vanaf nummer 23 (vanadium) tot en met nummer 83 (bismut). Deze metalen zijn giftig, omdat ze een elektron (een positief geladen deeltje dat om de kern van een atoom zweeft) kunnen afstaan of opnemen en zich kunnen ophopen (accumuleren) in mensen, planten en dieren. Hierdoor kunnen ze andere moleculen verstoren (Technisch Werken, 2014).

1. Inleiding

Aanleiding

Door bedrijfsactiviteiten uit het verleden of het verkeerde gebruik van bodembedreigende en chemische stoffen is de bodem in Nederland vervuild geraakt. Zo is de bodem bijvoorbeeld verontreinigd geraakt door de chemische industrie, loodverffabrieken, landbouw, enzovoorts, die zware metalen en andere chemische stoffen gebruikten (Milieucentraal, n.d.). Hierdoor was er in 2021 op ongeveer 250.000 locaties in Nederland sprake van ernstige bodemverontreiniging (Drinkwaterplatform, 2021).

Bij veel soorten locaties in en rondom de bebouwde kom, is de standaardmaatregel het afdekken van de locatie (RIVM, n.d.). Om deze redenen wil de NMZH een fieldlab opzetten waarin onderzoek wordt gedaan naar de effecten van planten die bodemvervuilingen kunnen verminderen. Het principe dat zij wil testen heet fyto-remediatie. Er wordt nog naar een geschikte locatie voor het fieldlab gezocht, samen met de Gemeente Rotterdam, het Havenbedrijf Rotterdam, de DCMR en het bedrijf Dealin.Green. Het oorspronkelijke idee voor dit project is afkomstig van een ander project, waarbij de NMZH in contact is gekomen met het bedrijf Dealin.Green. Dealin.Green kweekt onder andere prachtriet (*Miscanthus*), dat waterzuiverende en bodemreinigende eigenschappen heeft. (Dealin.Green, n.d.).

Projectdoelstelling

Het projectdoel is om een lijst op te stellen met planten die geschikt zijn voor fyto-remediatie en deze te rangschikken. De lijst toont welke planten het best verontreinigingen in slib, dat opgeslagen ligt in de baggerdepots in Zuid-Holland, kunnen verminderen of verwijderen (NMZH, 2024). Het idee is om het principe 'landfarming' toe te passen. Hierbij worden planten met bodemreinigende eigenschappen gericht ingezet bij het saneren van de bodem. Daarnaast kunnen de planten voor meerdere doeleinden worden ingezet. Bijvoorbeeld om de biodiversiteit te verhogen of voor recreatieve doeleinden te gebruiken. (Rijksoverheid, n.d.).

De verontreinigingen die in het baggerslib aanwezig zijn, zijn:

- de zware metalen: aluminium, antimoon, arseen, barium, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, seleen, tin, vanadium, zink;
- de grotere bestanddelen: fosfaat, ammonium, nitraat (grondwater), sulfaat, chloride;
- overige anorganische stoffen: cyanide-totaal (grondwater), boor, bromide, fluoride (grondwater); en
- de organische stoffen: BTEX (in grondwater), minerale olie, MTBE-ETBE, PAK, per-tri-cis-vinylchloride, drins, PCB, ftalaten en organotin (in de vorm van TBT en TFT) (Programmabureau Duurzaam, 2012).

Vanwege de urgentie door de hoge concentraties aan zware metalen in het baggerslib in combinatie met de eigenschappen van deze stoffen, zal hierop worden gefocust tijdens dit onderzoek (De Blauwe Route, 2023). Zware metalen kunnen namelijk niet of heel lastig van nature afbreken (Ras et al., 2007).

Naast het inventariseren en analyseren van de beste planten voor fyto-remediatie, zal een lijst worden opgesteld met producten waarin de vezels van de planten kunnen worden verwerkt. Op deze manier kunnen de planten bijdragen aan de circulaire economie (NMZH, 2024).

Dit verslag dient als voorverkenning voor het inventariseren van geschikte planten die ingezet kunnen worden in het fieldlab. Om een antwoord op de onderzoeksvraag te krijgen, is een hoofdvraag met deelvragen opgesteld. De hoofdvraag die bij dit stageonderzoek centraal zal staan is:

Welke planten kunnen worden ingezet bij het verminderen van verontreinigingen in baggerdepots in Zuid-Holland en voor welke toepassingen kunnen de vezels van de planten nog worden gebruikt?

De deelvragen die samen het antwoord op de hoofdvraag zullen geven, zijn:

1. *Welke planten kunnen ingezet worden bij het reinigen van baggerslib in de baggerdepots in Zuid-Holland?*
2. *Welke zware metalen kunnen deze planten vastzetten, opnemen of afbreken in het baggerslib?*
3. *Wat gebeurt er tijdens de groei van deze planten bij het vastzetten, opnemen of afbreken van verontreinigingen in het slib?*
4. *Welke optimale omstandigheden zijn nodig om de planten te kunnen inzetten voor fytoremediatie?*
5. *Voor welke doeleinden of als grondstof in welke producten kunnen de vezels van de planten nog gebruikt worden?*
6. *Wat zijn de regels omtrent het gebruik van biomassa met zware metalen en wat zijn de voorwaarden en beperkingen hiervoor?*

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 'Inleiding' van dit verslag zal de achtergrond en de aanleiding van dit onderzoek worden toegelicht. In hoofdstuk 2 'Onderzoeksmethode' zullen de onderzoeksmethodes en de analysemethode worden beschreven die zijn gebruikt voor het uitvoeren van dit onderzoek. Hoofdstuk 3 'Toepassing van fytoremediatie' en hoofdstuk 4 'Multicriteria-analyse' bevatten de inhoud van de literatuurstudie en de analyse. Hoofdstuk 5 'Planten met de meest gunstige eigenschappen' bevatten de resultaten van de analyse. In hoofdstuk 6 zullen de discussiepunten van dit verslag worden behandeld. Hoofdstuk 7 bevat de conclusie van de hoofdvraag en de deelvragen van dit onderzoek. In hoofdstuk 8 zullen aanbevelingen worden gegeven voor het vervolgonderzoek en aanbevelingen voor de implementatie van de hoofdvraag en onderzoeksopzet.

2. Onderzoeksmethode

Bij het uitvoeren van dit onderzoek zijn er verschillende methoden gebruikt. Deze zullen in dit hoofdstuk per methode worden toegelicht.

2.1 Verzamelen van gegevens

Voor het verzamelen van gegevens is gebruik gemaakt van twee verschillende methoden: een literatuuronderzoek en het houden van interviews.

2.1.1. Literatuurstudie

De informatie die bij de inventarisatie is opgezocht gaat over: de eigenschappen van de planten die ze geschikt maken voor fytoremediatie, de invloed van de verontreiniging op de plant, de standplaats, verzorging en levensduur van de planten, de producten waarin deze planten worden verwerkt en de grenswaarden aan zware metalen die deze producten mogen bevatten.

Deze informatie is afkomstig van websites van projecten waarin het principe voor fytoremediatie is onderzocht, websites met de omschrijving van de standplaats en verzorging van de planten, en websites met de regels, richtlijnen en grenswaarden per metaal voor de producten waarin de planten nog verwerkt kunnen worden. Daarnaast zijn wetenschappelijke artikelen doorgelezen, waarbij is genoteerd welke verontreinigingen de planten konden opnemen en wat het effect van de opname van verontreinigingen was op de planten. Bij het noteren van kenmerken voor de opname en concentratie van de planten, zijn alleen de gegevens meegenomen waarbij de planten geen extra voedingsstoffen hebben gekregen. Zo konden de planten het beste met elkaar worden vergeleken, omdat in elk onderzoek weer andere stoffen en hoeveelheden werden toegediend.

De bronnen van het openbare web zijn beoordeeld op relevantie en betrouwbaarheid aan de hand van de methoden die zijn geleerd tijdens de les 'Raadplegen van betrouwbare bronnen'. De relevantie van de wetenschappelijke artikelen voor dit onderzoek is beoordeeld door middel van de hoofdstukken 'Abstract', 'Introduction', 'Materials and Methods', en 'Conclusie'. De opnamecapaciteit van de te onderzoeken planten is opgeschreven in dezelfde eenheid, parts per million (afgekort ppm), zodat er in het totaaloverzicht vergelijkbare eenheden staan.

2.1.2. Interviews

Aanvullend op het literatuuronderzoek zijn er ook interviews afgenomen. Deze interviews zijn gehouden om meer informatie in te winnen op het gebied van fytoremediatie, omdat sommige specifieke onderwerpen nog niet (uitgebreid) op internet te vinden zijn. De interviews vonden plaats aan de hand van een semigestructureerd interview. Hierbij wordt vooraf een lijst met vragen opgesteld die in willekeurige volgorde behandeld kunnen worden en waarbij ruimte is om door te vragen op antwoorden die de geïnterviewde geeft (Merkus, 2021).

Tijdens het eerste overleg voor het project 'natuurlijke bodemsaneringen' waarbij de student aanwezig was, is een inschatting gemaakt van de expertise van de mensen die bij het overleg aanwezig waren. Op basis van hun expertise is een mail gestuurd met de vraag of er via een interview meer informatie mag worden opgevraagd over een specifiek onderwerp. Ook is er via internet en andere connecties van de NMZH gekeken of er bedrijven zijn met expertise op het gebied van fytoremediatie. Tijdens de onderzoeksperiode zijn er interviews gehouden met:

- *Karlijn Besse (onderzoeker voor 'PhyfoFuture')*: Zij doet onderzoek naar het vermogen van diverse planten om verontreinigingen op te nemen. Bij dit interview is gevraagd naar de onderzoeksresultaten, waarbij gelijk gebruik is gemaakt van de afspraak om te overleggen voor dit stageonderzoek.

- *Iris van der Veen (adviseur bodem bij Tauw):* Zij onderzoekt wat het effect is op bomen wanneer ze tien jaar lang aan PFAS worden blootgesteld. Ook wordt hierbij onderzocht of er een herverontreiniging plaatsvindt door onder andere bladval en hoe groot deze verontreiniging dan is.
- *Medewerker van het bedrijf Dealin.Green:* Dealin.Green is een bedrijf dat onder andere olifantsgras (*Miscanthus giganteus*) kweekt en verwerkt in bouwmaterialen. Bij dit gesprek is kort ingegaan op de toepassing van de bodemreinigende en waterzuiverende werking van olifantsgras.

De verwerking van de interviews is gedaan op basis van de aantekeningen die per vraag zijn gemaakt en door het terugluisteren van de opnames die van het gesprek zijn gemaakt. Hiervan is een kort verslag gemaakt dat in bijlage nummer 11 is geplaatst.

2.1.3. Multicriteria-analyse

Voor het analyseren van de gegevens is gebruikt gemaakt van een multicriteria-analyse. De criteria en de weging hiervan zijn op basis van de projectdoelen van de NMZH opgesteld. De criteria met de gedachte erachter zijn:

- *hoeveelheid metalen voor extractie:* in hoofdstuk 3.1 met geschikte planten voor fyto-remediatie, staat vermeld welke soorten metalen de plant door middel van fyto-extractie kan opnemen. Bij dit criterium is de score gebaseerd op de hoeveelheid verschillende metalen die de plant kan opnemen.
- *hoeveelheid metalen voor stabilisatie:* in hoofdstuk 3.1 met 'geschikte planten voor fyto-remediatie' staat vermeld welke soort metalen de plant door middel van fytostabilisatie kan vastzetten aan de bodembestanddelen. Bij dit criterium is de score gebaseerd op de hoeveelheid verschillende metalen die door de plant vastgezet kunnen worden aan de bodembestanddelen.
- *bereik van de planten:* hoe diep reiken de wortels van de planten? Een plant die dieper wortelt en daardoor een grotere rhizosfeer heeft, heeft een groter bereik voor fyto-remediatie dan een plant met kortere wortels. De planten zijn hierbij genummerd op basis van de wortellengte, waarbij nummer 1 staat voor de plant met de kortste wortels en nummer 13 voor de plant met de langste wortels.
- *invloed van de verontreiniging op de plant:* hebben de zware metalen een negatieve invloed op de ontwikkeling van de plant? De score is hierbij gebaseerd op de mate van negatieve invloed op de planten. Voor het toekennen van een score zijn de categorieën 1 tot en met 4 opgesteld. Hierbij staat categorie 1 voor de planten waarbij de meeste invloed van zware metalen op de planten te zien was en categorie 4 voor de planten waarbij de minste negatieve invloed te zien was.
- *levensduur van de planten:* de scores voor de levensduur van de planten geven aan hoe lang een plant gemiddeld leeft. Deze categorie is belangrijk voor het bepalen van hoe vaak op een perceel planten moeten worden geoogst en nieuwe planten moeten worden geplant. Dit biedt een indicatie van de arbeidsintensiviteit van het oogsten en herplanten, net zoals de mogelijke kosten voor de aankoop van nieuwe planten.
- *standplaatsfactoren:* voor dit criterium is een overzicht gemaakt van de standplaatsfactoren die nodig zijn om de planten goed te laten groeien. Aan de hand van de scores kan een gewas worden geselecteerd die goed kan groeien op verschillende bodems en bij diverse omstandigheden.
- *verzorging van de planten:* de verzorging van elke plant is opgezocht en samengevoegd in de MCA. Voor dit criterium zijn ook categorieën opgesteld, zodat in een overzicht te zien is op

welke manier de planten moeten worden verzorgd. Door de planten op de juiste manier te verzorgen, kunnen ze zich goed ontwikkelen.

- *verwerkbaarheid*: voor de verwerkbaarheid is de hoeveelheid verschillende producten genoteerd in de MCA. Dit geeft aan of en, zo ja, in welke soort producten de vezels van de planten verwerkt kunnen worden. Een plant met meerdere verwerkingsopties biedt namelijk meer keuze voor eindproducten. In de score voor dit criterium zijn alleen producten meegeteld waarbij de inschatting is gemaakt dat er geen direct risico bestaat op de opname van zware metalen door consumptie, inademing van schadelijke bestanddelen of opname via de huid.
- *beperkingen voor de verwerking*: hiervoor is een overzicht gemaakt van de strengste naar de minst strenge normen voor zware metalen in de producten bij het criterium 'verwerkbaarheid'. Minder strenge regels betekenen dat de planten eerder verwerkt mogen worden en dat er bij de verwerking minder aanvullende eisen zijn aan biomassa met vervuiling bij de verwerking.

Het analyseren van de mogelijke kosten die komen kijken bij het inzetten van de verschillende planten was geen onderdeel van dit onderzoek.

Alle gegevens zijn vervolgens in de MCA gezet. De dertien planten zijn op de verticale as gezet en de bovenstaande criteria zijn op de horizontale as gezet. Elk criterium heeft een weging (nummer) gekregen die aangeeft hoe belangrijk een criterium is. Bij een MCA komt de gezamenlijke weging op een waarde van 1,0 uit.

De scores zijn zo opgesteld dat planten met de meest geschikte eigenschappen een hoge score kregen. Hierbij zijn er twee soorten scores. De ene score liep in dit onderzoek van 1 tot en met 13, omdat er 13 planten zijn meegenomen in de inventarisatie. De andere score liep van 1 tot de hoogste categorie. Bij sommige criteria zijn er categorieën gemaakt voor planten met vergelijkbare eigenschappen.

De score die elke plant heeft gekregen, is vervolgens vermenigvuldigd met de weging van dit criterium. Hierdoor kunnen de criteria zelf ook worden ingedeeld op basis van de voorkeur of het projectdoel. Alle omgerekende scores per plant zijn vervolgens bij elkaar opgeteld om een totaalscore per plant te krijgen. De hoogste score geeft aan dat de plant het meest geschikt is op basis van het projectdoel en de plant met de laagste score is dus het minst geschikt.

2.2 Advies en poster

Het advies is opgesteld aan de hand van de antwoorden en resultaten uit de deelvragen voor dit onderzoek. Het advies bevat de plantenlijst die op basis van deze antwoorden is opgesteld. Daarnaast is, op basis van deelvraag 5 en 6, aangegeven in welke producten de vezels van de planten nog gebruikt kunnen worden. De poster fungeert als een samenvatting waarop de resultaten van dit onderzoek op een andere manier worden weergegeven. De poster kan bijvoorbeeld ook worden gebruikt als communicatiemiddel naar andere organisaties om uitleg te geven over dit project.

3. Toepassing van fytoremediatie

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke planten in aanmerking komen om verontreinigd baggerslib te saneren. Per plant zal worden besproken hoe effectief ze zijn bij de verschillende zware metalen, wat de gevolgen zijn voor de groei van de plant en wat de algemene standplaats en verzorging per plant is. Ook worden de regels voor het verwerken van de vezels in nieuwe producten besproken.

3.1 Geschikte planten voor fytoremediatie met de bijbehorende standplaats en verzorging

Op het gebied van fytoremediatie zijn rond 1990 de eerste proeven uitgevoerd, waarvan de resultaten zijn gepubliceerd in wetenschappelijke artikelen. Fytoremediatie heeft in Nederland de afgelopen jaren meer bekendheid gekregen. Zo voert de Rijksoverheid bijvoorbeeld al proeven uit met 'landfarming' op verontreinigde baggerspecie (Rijksoverheid, n.d.).

De meeste planten kunnen door middel van fytostabilisatie of fyto-extractie de verontreinigende stoffen in de bodem, of in dit geval in het baggerslib, immobiliseren of opnemen in de plant. Hierdoor worden nadelige gevolgen van de verontreinigingen teruggedrongen. In dit onderzoek worden de volgende planten behandeld die ingezet te kunnen worden voor fytoremediatie van zware metalen:

- Bloemen:
 - 1) Gewone zonnebloem (*Helianthus annuus*)
 - 2) Pluimhortensia (*Hydrangea paniculata*)
 - 3) Tuingeranium (*Pelargonium hortorum*)
- Bomen:
 - 4) Zwarte els (*Alnus glutinosa*)
 - 5) Zwarte populier (*Populus nigra*)
 - 6) Katwilg (*Salix viminalis*)
- Riet:
 - 7) Pijlriet (*Arundo donax* L.)
 - 8) Olifantsgras (*Miscanthus giganteus*)
- Overige planten:
 - 9) Koolzaad (*Brassica napus*)
 - 10) Hennep (*Cannabis sativa*)
 - 11) Luzerne (*Medicago sativa*)
 - 12) Grote weegbree (*Plantago major* L.)
 - 13) Witte mosterd (*Sinapis alba*)

Boven elke paragraaf over de fytoremediatie van planten staat een afbeelding van de betreffende plant.

3.1.1. Bloemen

Gewone zonnebloem (*Helianthus annuus*)



Figuur 1 – Gewone zonnebloem (*Helianthus annuus*) (Fir0002, 2009)

Volgens een onderzoek van Alaboudi et al. (2018) kunnen gewone zonnebloemen (*Helianthus annuus*) lood en cadmium opnemen.

De plant kan in verhouding het meeste lood opnemen bij een beginconcentratie van 100 ppm. Hierbij kan de plant 40 ppm opnemen in de scheuten en 90 ppm in de wortels. Voor cadmium was in verhouding ook de hoogst opname bij 100 ppm te zien. Bij een beginconcentratie van 100 ppm had de plant een concentratie van 50 in de scheuten en 70 ppm in de wortels zitten.

Bij 100 ppm in de aarde was de translocatiefactor 0,5 voor lood en 0,75 voor cadmium. De bioaccumulatiefactor hierbij voor lood was 0,3 voor de scheuten en 0,7 voor de wortels. Bij cadmium was dit 0,5 voor de scheuten en 0,7 voor de wortels. Door een translocatiefactor van >1 komt de gewone zonnebloem in aanmerking voor fyto-extractie.

Wel werd de biomassa van de plant beïnvloed door de zware metalen. Het gewicht van de scheuten en de wortels namen af in vergelijking met de controlegroep. Bij de verontreiniging met 100 ppm lood was de afname van de scheuten 14,2 gram en van de wortels 8,52 gram. Bij de verontreiniging met 100 ppm cadmium was de afname van de scheuten 21,88 gram en van de wortels 12,2 gram.

Volgens een onderzoek van Adesodun et al. (2010) zijn zonnebloemen geschikt om lood en zink op te nemen. Na acht weken had de plant 281,1 ppm aan lood opgenomen vanuit een bodem met 400 ppm lood. Hierbij was 37 ppm in de bladeren en 49,7 ppm in de stam en 65,8 ppm in de wortels aanwezig. Bij 400 ppm zink was de concentratie na vier weken 183,7 ppm in de bladeren, 119 ppm in de stam en 137,7 ppm in de wortels. Hierbij was 116,6 ppm aan zink uit de aarde opgenomen. De translocatiefactor was na acht weken 1,78 voor lood en 1,28 voor zink.

Volgens Lothe et al. (2016) kunnen zonnebloemen ook koper opnemen. De meeste koper was bij een beginconcentratie van 150 ppm opgenomen. Hierbij was de concentratie 19 ppm in de wortels en 22 ppm in de scheuten.

Gevolgen

Volgens het onderzoek van Alaboudi et al. (2018), zullen zonnebloemen bij een hogere concentratie aan verontreinigende stoffen efficiënter werken bij het verplaatsen van de verontreinigingen. Dit betekent dat de plant zichzelf zal beschermen tegen fytotoxiciteit door de verontreiniging naar de bladeren te transporteren voor opslag of detoxificatie.

Volgens het onderzoek van Lothe et al. (2016) nam de biomassa van de scheuten af bij de aanwezigheid van koper. De hoeveelheid biomassa van de scheuten in vergelijking met de controlegroep was 76% bij 100 ppm, 73% bij 150 ppm en 40% bij 200 ppm¹. Ook de biomassa van de wortels nam af naarmate de verontreinigingsconcentratie hoger werd. De biomassa van de wortels nam minder af in vergelijking met de scheuten.

Standplaats

Zonnebloemen kunnen optimaal groeien op een perceel waar ze minimaal acht uur aan direct zonlicht krijgen, de bodem niet verdicht is en de pH tussen de 6 en 7,5 is. Als de bodem te zuur is, kan die worden behandeld met kalk om de pH omhoog te krijgen (Plantabit, 2023).

Daarnaast moeten zonnebloemen minstens 30 centimeter van elkaar afstaan om te voorkomen dat ze met elkaar moeten concurreren voor onder andere ruimte en voedingsstoffen (Jong, 2024).

¹ De hoeveelheid biomassa ten opzichte van de controlegroep is berekend met de volgende kruistabel: 100 / 3,3
* biomassa per testgroep

Verzorging

Zonnebloemen kunnen onder hun eigen gewicht bezwijken. Als dit gebeurt, is het noodzakelijk om de stam in te korten om te voorkomen dat de rest van de plant gaat rotten.

Ook zijn zonnebloemen zijn zeer gevoelig voor plagen en ziekten, zoals: bladluizen, slakken en rupsen, evenals ziekten zoals meeldauw en wortelrot. Hierbij moeten de aangetaste delen worden verwijderd of de zonnebloemen regelmatig preventief worden behandeld met middelen die beestjes, bacteriën en schimmels weren die de planten aantasten (Plantabit, 2023).

Pluimhortensia (*Hydrangea paniculata*)



Figuur 2 –Pluimhortensia (*Hydrangea paniculata*) (Natalya Sh, 2024)

Volgens het onderzoek van Forte en Mutiti (2017) kunnen pluimhortensia's (*Hydrangea paniculata*) lood en koper opnemen. Bij een beginconcentratie van 10.000 ppm aan lood en koper was in de stam 780 ppm lood en 1.500 ppm koper aanwezig. In de bladeren was 36 ppm lood en 100 ppm koper aanwezig. De translocatiefactor was voor lood 0,05 en voor koper 0,07. Wel geeft het onderzoek aan dat pluimhortensia's als hyperaccumulator kunnen worden beschouwd voor lood en koper, omdat pluimhortensia's boven concentraties van 1.000 ppm verontreinigingen kunnen blijven opnemen (Forte & Mutiti, 2017).

Gevolgen

Verder heeft het onderzoek van Forte en Mutiti (2017) aangetoond dat pluimhortensia's verontreinigingen liever opslaan in hun stengels dan in de bladeren. Hierdoor beschermen ze zichzelf tegen fytotoxiciteit, doordat de bladeren minder beschadigd raken en makkelijker fotosynthese kunnen uitvoeren.

Standplaats

De standplaats van pluimhortensia's is een vochtige, goed doorlatende bodem met veel humus. De pH van de bodem mag neutraal tot licht zuur zijn (Van Klaveren Plant, n.d.). Pluimhortensia's groeien het beste op plekken met halfschaduw, maar kunnen ook in de volle zon staan. De planten moeten 75 cm van elkaar worden geplant, omdat ze breed uitlopen. Hierdoor hebben ze genoeg ruimte en beschikbare nutriënten om goed te kunnen groeien (Greenfingersonline, 2024).

Verzorging

De pluimhortensia is winterhard, waardoor de plant geen extra verzorging vereist ter voorbereiding op de koudere maanden. In de zomermaanden heeft de plant wel extra water nodig. Optioneel kunnen pluimhortensia's af en toe nieuwe voedingsstoffen toegediend krijgen, zodat ze goed kunnen blijven groeien (Hovenier, n.d.).

Verder kan de pluimhortensia rond februari worden gesnoeid tot op enkele tientallen centimeters boven de grond, zodat hij mooi kan uitlopen (Picture This, n.d.c). Aangezien deze plant deels voor vezelteelt gebruikt zal worden, is het niet nodig om te snoeien voor grotere bloemen.

Tuingeraniums (*Pelargonium hortorum*)



Figuur 3 – Tuingeranium (*Pelargonium hortorum*) (Glatz, 2021)

In figuur 3 is een afbeelding te zien van een geranium. Geraniums kunnen naast roze ook in andere kleuren voorkomen.

Volgens een onderzoek van Gul et al. (2023) kunnen tuingeraniums (*Pelargonium hortorum*) cadmium opnemen. De tuingeraniums konden tot een beginconcentratie van 150 ppm cadmium de verontreiniging blijven opnemen. Bij 150 ppm cadmium was 160 ppm in de wortels aanwezig en 250 ppm in de bladeren. Echter was bij een beginconcentratie van 125 ppm het meeste cadmium uit de bodem verwijderd. Hierbij was namelijk 120 ppm uit de bodem verwijderd in vergelijking met een opname van 118 ppm bij een beginconcentratie van 150 ppm. Bij een beginconcentratie van 125 ppm was 150 ppm aanwezig in de wortels en 245 ppm in de scheuten.

De bioconcentratiefactor van de plant was 1,2 en de translocatiefactor was 1,6. De bioconcentratiefactor en translocatiefactor van >1 geven aan dat tuingeraniums zeer effectief zijn bij het opnemen van cadmium. Wel was de biomassa 0,18 gram afgenomen in vergelijking met de controlegroep (Gul et al, 2023).

Volgens onderzoek van Manzoor et al. (2020) kunnen tuingeraniums ook lood opnemen. Het meeste lood was opgenomen bij een beginconcentratie van 1.500 ppm. Hierbij was 1,25 ppm cadmium opgenomen. De translocatiefactor bij 1.500 ppm was 0,23 en de bioconcentratiefactor van de wortels 0,73 en van de scheuten 0,17.

Volgens onderzoek van Manshadi et al. (2013) kunnen tuingeraniums ook nikkel en chroom opnemen. Bij de planten uit dit onderzoek zat bij een beginconcentratie van 300 ppm aan nikkel 1.022 ppm in de wortels en 400,5 ppm in de scheuten. Bij een beginconcentratie van 645 ppm was de concentratie 1.600 ppm in de wortels en 27,09 ppm in de scheuten.

Gevolgen

Bij de planten uit het onderzoek van Gul et al. (2023) nam de biomassa van tuingeraniums af in vergelijking met de controlegroep. Bij een cadmiumverontreiniging van 25 ppm nam de biomassa met 0,1 gram af. Elke keer dat de verontreiniging met 25 ppm toenam, was te zien dat de biomassa telkens met 0,01 tot 0,03 gram afnam. Verder werden er vanaf 100 ppm aan cadmium ook morfotoxicologische symptomen bij de bladeren waargenomen.

Bij tuingeraniums op een bodem verrijkt met lood nam de biomassa ook af (Manzoor et al.,2020).

Standplaats

De standplaats van de meeste geraniums is een zonnige plek met goede drainage, zodat de bodem niet te lang vochtig blijft. In de zomermaanden hebben ze wel veel water nodig. De bodem zelf mag humusrijk zijn die de groei van planten stimuleert voor een optimale groei (123planten, n.d.).

Verzorging

De verzorging van tuingeraniums bestaat uit het voldoende water geven en af en toe extra mest toedienen. De meeste tuingeraniums worden gekweekt als eenjarige plant, maar kunnen meerdere jaren overleven met de juiste verzorging en voorbereiding voor de winter. In de koudere perioden moet de plant worden afgedekt of naar binnen worden gehaald, zodat ze niet kapotgaan door de vorst (123planten, n.d.).

Voor een optimale groei en bloei van de planten moeten de pollen gesplitst worden (Directplant, 2022). Geraniums kunnen wel ziektegevoelig zijn, waardoor ze extra (preventieve) verzorging nodig hebben (Dutch bulbs, n.d.).

Geraniums wortelen tot ongeveer 20 cm diepte. De wortels kunnen breed uitlopen, waardoor extra ruimte tussen de planten gelaten moet worden (Pelargonium for Europe, n.d.).

3.1.2. Bomen

Zwarte els (*Alnus glutinosa*)



Figuur 4 – Zwarte els (*Alnus glutinosa*) (Terentev, 2000)

Volgens onderzoek van Świątek et al. (2019) kan de zwarte els (*Alnus glutinosa*) lood, cadmium, chroom en koper opnemen in de wortels. Het onderzoek toonde aan dat de maximale opname van cadmium 7,18 ppm was, van chroom 130,62 ppm, van koper 20,04 ppm en van lood 30,94 ppm. De beginconcentratie was respectievelijk 0,3 ppm, 0,09 ppm en 0,09 ppm. Hierbij was de bioaccumulatie-index ongeveer 2.

Volgens de website van Phytofuture kunnen zwarte elzen ook zink opnemen (Phytofuture, n.d.).

Gevolgen

Bij het onderzoek van Świątek et al. (2019) nam de biomassa van de wortels van de zwarte elzen af. Dit was al te zien bij elzen die op een bodem met een concentratie van 0,5 ppm cadmium en 10 ppm koper stonden. Bij een verontreiniging met chroom nam de biomassa van de wortels minder af. Bij loodconcentraties vanaf 4,5 ppm konden de wortels zelfs beter groeien.

Standplaats

Zwarte elzen kunnen op diverse bodems staan. Wel moet de pH tussen de 5,5 en 7,5 zijn. Daarnaast staat de boom het liefst op een vochtigere bodem om goed te kunnen groeien. Verder kan de boom op een plek met volle zon tot halfschaduw staan, maar hij zal het snelste groeien op een plek met meer licht (Tinypedia, 2023b).

Verzorging

Zwarte elzen zijn robuuste, winterharde bomen waardoor ze weinig verzorging nodig hebben. Optioneel kunnen in de wintermaanden de takken worden gesnoeid, omdat de sapstroom dan bijna helemaal stilstaat (Bomenbezorgd, n.d.).

Zwarte populier (*Populus nigra*)



Figuur 5 – Zwarte populier (*Populus nigra*) (Siala, 2017)

Volgens onderzoek van Castigione et al. (2009) kunnen zwarte populieren (*Populus nigra*) zink en koper opnemen.

Populieren in het onderzoek hadden ongeveer 1.200 kg^{-1} aan zink opgenomen in hun wortels, 700 kg^{-1} in hun stengels en 2.000 kg^{-1} in hun bladeren opgeslagen. De hoeveelheid aan koper die de plant opnam was 200 kg^{-1} in de wortels, 60 kg^{-1} in de stengels en 250 kg^{-1} in de bladeren. De gemiddelde beginconcentratie was 925 ppm aan zink en 1.241,33 ppm aan koper.

Volgens onderzoek van El-Mahrouk et al. (2020) kunnen zwarte populieren ook cadmium, koper en lood opnemen. De beginconcentratie was respectievelijk 80 ppm voor cadmium, 200 ppm voor koper en 800 ppm voor lood. Uit de resultaten bleek dat de zwarte populieren respectievelijk 6,65 ppm, 61,78 ppm en 76,2 ppm cadmium, koper en lood in de wortels kunnen opnemen. In de scheuten was dit 2,57 ppm voor cadmium, 20,38 ppm voor koper, en 30,67 ppm voor lood. De waarden voor de opname in de bladeren waren 35,15 ppm voor cadmium, 3,53 ppm voor koper, en 47,63 ppm voor lood. Hieruit blijkt dat de verontreiniging voornamelijk in de wortels wordt opgeslagen.

Volgens de meta-analyse van Tózsér et al. (2023) kan de zwarte populier ook de volgende metalen uit de bodem halen: cadmium, zink, koper, mangaan, chroom, nikkel en lood. De resultaten van dit onderzoek geven aan dat populieren met de tijd steeds meer chroom en mangaan kunnen opnemen. De cadmiumopname zal met de tijd juist afnemen.

Gevolgen

Het onderzoek van El-Mahrouk et al. (2020) toont aan dat bij een toename van zware metalen de opname van voedingsstoffen (NPK) afneemt, evenals de enzymatische activiteiten. Daarnaast werden de wortels bruin, nam de oxidatieve stress toe, werden de bladeren geel (symptomen van chlorose en necrose) en werd elektrolytlekkage aangetoond in de bladeren.

Aanvullend werd in het onderzoek van Demidchik et al. (2014) elektrolytlekkage aangetroffen van de membranen van de bladeren. Dit kan gebeuren bij bijvoorbeeld een hoge concentratie aan verontreinigende stoffen of langdurige droogte. Door de beschadiging van de membranen kan de plant onder andere minder energie opwekken, die nodig is om voedingsstoffen op te nemen en te groeien.

Toch geven de hoge tolerantie-indexen van ongeveer 0,80 aan dat de biomassaproductie weinig zal lijden onder de hogere concentraties aan zware metalen (El-Mahrouk et al., 2020).

Ook heeft het onderzoek van Jakovljević et al. (2014) aangetoond dat de wortels bij langdurige blootstelling aan cadmium H_2O_2 -vangende enzymen inzetten om met de metaalstress om te gaan. Ook gebruikten de bladeren de ascorbaat-glutathioncyclus om dezelfde reden. Deze stoffen waren wel extra toegevoegd om de bomen te helpen bij het verwerken van de verontreinigingen.

Standplaats

Volgens onderzoek van Tózsér et al. (2023) kunnen de populieren loodverontreinigingen beter opnemen als de bodem een hogere pH heeft dan bij een lagere pH. Het onderzoek laat zien dat bij een pH van 6,9 de loodconcentraties in de bodem even hoog zijn als in de planten.

Verder zijn de algemene eisen voor de standplaats van deze boomsoort een vochtige tot natte bodem. Wel zijn de bomen gevoelig voor verdichting van de aarde, waardoor de bodem luchtig gehouden moet worden (Tinypedia, 2023a).

In Europa zijn zwarte populieren tevens één van de meest bedreigde boomsoorten, vanwege het kappen van bossen. Ook zijn ze inheemse bomen in Nederland, waardoor ze kunnen bijdragen aan de lokale ecologische waarden (Tinypedia, 2023a).

Verzorging

Bij het aanplanten van bomen kunnen ze, volgens de site van Populiervanhier, vier meter van elkaar af worden geplant. Bij deze afstand moeten de bomen na enkele jaren wel uitgedund worden om goed te blijven groeien. Het snoeien moet dan vooral in het onderste gedeelte van de stam plaatsvinden, omdat de boom dan een dikkere stam ontwikkelt (Populiervanhier, n.d.).

Verder hoeft de boom alleen maar voldoende water te krijgen en moet verdichting van de bodem worden voorkomen (Populiervanhier, n.d.).

Katwilg (*Salix viminalis*)



Figuur 6 – Katwilg (*Salix viminalis*) (Tuğba, 2022)

Wilgen zijn bomen die snel groeien, in natte bodems kunnen staan en een hoge tolerantie voor verontreinigende stoffen hebben. Deze kenmerken maken ze geschikt om in te zetten voor fytoremediatie.

Volgens het onderzoek van Algreen et al. (2014) kunnen katwilgen (*Salix viminalis*) cadmium, koper, nikkel en zink opnemen. Dit onderzoek toonde aan dat katwilgen 3 ppm aan cadmium, 10 ppm aan koper, 0,5 ppm aan nikkel en 110 ppm aan zink kunnen opnemen in de houtvezels. De bioconcentratiefactor was respectievelijk 0,15, 0,015, 0,0035 en 0,036.

De bioconcentratiefactor van <1 voor cadmium, koper, nikkel en zink geeft aan dat katwilgen niet zeer effectief zijn in het opnemen van deze metalen. Dit blijkt ook uit de lage opnamecapaciteit van de katwilgen.

Wel heeft het onderzoek van Sandil en Gowala (2022) aangetoond dat wilgen een zuur uitscheiden met een laag moleculair gewicht, dat de pH van de bodem verlaagt. Door een lagere pH zullen de metalen mobiliseren en daarom meer beschikbaar zijn voor de bomen zelf of voor andere planten die door middel van fyto-extractie verontreinigingen kunnen opnemen.

Gevolgen

Bij het onderzoek van Sandil en Gowala (2022) zijn ook een aantal negatieve effecten vastgesteld bij de groei van katwilgen die op een verontreinigde bodem groeiden. De wortels van de bomen, die groeiden op een bodem met cadmium, werden 66-99,7% korter in vergelijking met de controlegroep. Daarnaast werd de groei van de bladeren verstoord, waardoor ze er asymmetrisch uitzagen. Cadmium verstoorde ook de pigmentaanmaak van de bladeren, wat resulteerde in een verminderde fotosynthese-efficiëntie.

Standplaats

Wilgen kunnen in vochtige tot natte omstandigheden goed groeien. Een vochtige bodem is essentieel, aangezien ze niet goed kunnen groeien op een te droge bodem. Hierdoor moet de bodem het hele jaar door minimaal vochtig gehouden worden. Ook kunnen de bomen in de volle zon worden geplant. Daarnaast zijn ze winterhard, waardoor ze geen extra zorg nodig hebben ter voorbereiding op de koudere dagen (Groenefingertjes, 2024).

De wilgen moeten ongeveer drie meter van elkaar worden geplant, zodat ze voldoende ruimte krijgen om goed te kunnen groeien (Groenefingertjes, 2024).

Verzorging

Om zoveel mogelijk houtopbrengst te krijgen van de bomen is het verstandig om na drie jaar de wilg af te zagen op ongeveer twee meter hoogte. Door het snoeien van de bomen krijgen ze een verdikte stam (Bomenenzo, n.d.).

Om de bomen te ondersteunen bij het proces voor fytoremediatie kan bladstrooisel neergelegd worden dat als voedingsstof dient voor de micro-organismen in de rhizosfeer van de boom. Deze organismen helpen de boom bij het mobiliseren van de verontreinigingen (Sandil en Gowala, 2022).

3.1.3. Grassen/riet

Pijlriet (*Arundo donax*)



Figuur 7 – Pijlriet (Arundo donax) (Freepik, 2018)

Volgens onderzoek van Atma et al. (2017) kon pijlriet (*Arundo donax*) goed groeien op een bodem verrijkt met nikkel tot een concentratie van 50 ppm. De maximale concentratie in de wortels was bij 50 ppm en bedroeg 81,81 ppm. De totale concentratie aan nikkel was bij 50 ppm 181,81 ppm drooggewicht.

Bij 50 ppm aan nikkel werden de planten één meter hoog. Dit is ongeveer 50 cm hoger dan de lengte van planten in de controlegroep.

Ook is gebleken dat de bioconcentratiefactor 0,2 is bij een concentratie van 10 ppm. De lagere bioconcentratiefactor geeft aan dat de plant niet heel geschikt is voor de opname van verontreiniging zonder meststoffen. Alleen bij een concentratie van 10 ppm in combinatie met meststoffen (NPK) werd een bioconcentratiefactor van 1 bereikt.

Volgens onderzoek van Hussain et al. (2013) kon pijlriet cadmium effectief blijven opnemen in een bodem met een maximale beginconcentratie van 1.000 ppm. Hierbij was de concentratie in de wortels 230 ppm en 191 ppm in de stengels. De bioconcentratiefactor en translocatiefactor van >1 geven aan dat pijlriet geschikt is voor fyto-extractie van cadmium.

Gevolgen

In het onderzoek van Atma et al. (2017) was bij pijlriet, dat groeide in een bodem met nikkel, geen nadelige effecten te zien in de stamhoogte. Wel nam de hoeveelheid bladeren af naarmate de concentratie hoger werd. Ook werden de wortels ongeveer de helft minder lang ten opzichte van de controlegroep. De wortels van de planten van de controlegroep werden 40 centimeter lang. Bij 50 ppm aan nikkel werden de wortels wel langer en bereikten ze een lengte van 30 cm.

In het onderzoek van Hussain et al. (2013) werden bladschroeiplekken waargenomen als pijlriet op een bodem met cadmium groeide. De testen toonden daarnaast aan dat de aanmaak van chlorofyl verminderde. Er zijn geen veranderingen waargenomen in de biomassa, het aantal bladeren en de hoeveelheid uitlopers.

Standplaats

Pijlriet is een plant die op een vochtige bodem moet staan. De bodem mag alleen niet te lang nat blijven, omdat de wortels anders gaan rotten. De pH van de bodem mag rond de neutrale waardes schommelen, maar er niet veel van afwijken. Daarnaast moet de plek warm zijn en de planten beschut staan tegen de wind (Tuinadvies, n.d.a).

Verzorging

Het riet kan in de herfst worden gesnoeid om de plant voor te bereiden op de koudere periodes. Een andere mogelijkheid is om het riet met een daarvoor bestemd winterdek te bedekken (Willaert, n.d.).

Bij geschikte bodemomstandigheden kan het riet zichzelf uitbreiden. Hierdoor kan de plant zich ontwikkelen tot een invasieve soort. Daarom is het nodig om het perceel af te kaderen (Willaert, n.d.).

Olifantsgras (*Miscanthus giganteus*)



Figuur 8 – Olifantsgras (Miscanthus giganteus)

Foto: Talitha Haak

Olifantsgras (*Miscanthus giganteus*) kan volgens onderzoek van Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015) gebruikt worden voor fyto-extractie van zink. Daarnaast kan de plant in mindere mate koper en nikkel opnemen. De plant kan bij 400 ppm koper 599 ppm opnemen, bij 240 ppm nikkel 291 ppm en bij 1200 ppm zink 648 ppm.

Uit het onderzoek blijkt dat olifantsgras in het tweede jaar 30 tot 40 ppm van de verschillende metalen minder kan opnemen dan in het eerste jaar. Aan de hand van de tolerantie-index is te zien dat de planten in het tweede groeiseizoen een hogere tolerantie hebben dan in het eerste jaar. Olifantsgras kan de verontreinigingen dus snel opnemen, maar het proces zal stagneren in het

tweede groeiseizoen. Aan de hand van de translocatiefactor is te zien dat het grootste gedeelte van koper van de wortels naar de bovengrondse delen van de plant zal worden getransporteerd, terwijl nikkel en zink vooral in de wortels van de plant blijven zitten.

Volgens onderzoek van Zgorelec et al. (2020) kan olifantsgras ook cadmium en kwik opnemen. Olifantsgras dat groeide in een bodem met 100 ppm cadmium en 20 ppm kwik hadden in 2016 (in het tweede jaar) een concentratie van 6.785 ppm in de plant zitten en in het derde jaar een concentratie van 3.277 ppm. Hierbij is 293,8 ppm aan cadmium in het tweede jaar en 124,2 ppm in het derde jaar uit de bodem gehaald. Van dezelfde testgroep was in de concentratie aan kwik in het tweede jaar 108,9 ppm en 24,1 ppm in het derde jaar.

Uit het onderzoek is gebleken dat olifantsgras vooral in het eerste jaar goed blijft groeien ondanks de verontreinigingen. Wel is de opname van cadmium en kwik in het eerste jaar het minste. Ook op basis van de biomassa, de lengte en het aantal scheuten is er niet veel invloed waargenomen van de verontreinigingen op de planten. Het onderzoek concludeerde dat olifantsgras een geschikte plant kan zijn voor de stabilisatie van cadmium en kwik.

Gevolgen

Bij het olifantsgras in het onderzoek van Zgorelec et al. (2020) was te zien dat de biomassa van de planten afnam bij olifantsgras dat groeide in een bodem met cadmium en kwik. Planten die groeiden in een bodem met 100 ppm cadmium en 20 ppm kwik hadden een biomassa-afname van 4,1 gram in het eerste jaar, 0,1 gram in het tweede jaar en 2,8 gram in het derde jaar in vergelijking met de controlegroep. Ook werden er minder scheuten aangemaakt. Echter, in het tweede jaar werden meer scheuten aangemaakt in vergelijking met de controlegroep. De hoogte van de scheuten waren alleen in het tweede met 8 cm en in het derde jaar met 27 cm afgenomen. In het eerste jaar werden de planten zelfs 32 cm hoger in vergelijking met de controlegroep.

Uit het onderzoek is gebleken dat olifantsgras vooral in het eerste jaar goed blijft groeien ondanks de verontreinigingen. Wel is de opname van cadmium en kwik in het eerste jaar het minste. Ook bij de biomassa, de lengte van de stengels en het aantal scheuten is er niet veel invloed waargenomen van de verontreinigingen op de planten.

Standplaats

Olifantsgras kan op allerlei soorten bodems groeien. Volgens een rapport van Baecke (2019) zijn er de afgelopen 20 jaar geen tekenen van invasiviteit geweest, waardoor olifantsgras toegepast kan worden in het Nederlandse landschap.

De bodem kan voor aanvang worden behandeld waarbij onkruid weggehaald wordt. Het is aan te raden om het wieden van onkruid voort te zetten tot in het eerste jaar. Zo zal het olifantsgras beter groeien. De optimale pH-waarde waarbij de planten goed kunnen groeien is 5,5 tot 7,5.

De stekken kunnen worden opgeslagen voor een langere periode. De optimale temperatuur om de grootste opkomst van nieuwe scheuten te garanderen, is vier graden Celsius. De vuistregel voor de beste aanplant is één plant per vierkante meter. De planten kunnen vanaf april wel dicht op elkaar worden gezet (Baecke, 2019).

Daarnaast kan olifantsgras ook enige tijd onder water staan, waardoor een flinke regenbui de planten niet direct zal beschadigen. Uit de praktijk is gebleken dat olifantsgras een paar weken onder water kan staan voordat er schade te zien is aan de plant (Smits van Oyen, persoonlijke communicatie, 30 oktober 2024).

Verzorging

De plant moet in het voorjaar worden aangeplant en ook weer in het voorjaar worden geoogst. Vanaf zes graden Celsius kan de plant al groeien, maar lentevorst kan de nieuwe scheuten beschadigen. Door de grootte is de transpiratiesnelheid hoger, waardoor de plant vochtig moet blijven staan. Vanaf een vochtgehalte van 40% zal de plant pas goed beginnen te groeien.

Bemesten hoeft in principe niet in het eerste jaar en wordt zelfs afgeraden, omdat anders onkruid snel kan opkomen. Afhankelijk van de locatie moeten de rhizomen worden beschermd tegen vogels die de nieuwe scheuten kunnen opeten (Smits van Oyen, persoonlijke communicatie, 30 oktober 2024).

3.1.4. Overige plantensoorten

Koolzaad (*Brassica napus*)



Figuur 9 – Koolzaad (*Brassica napus*) (NickyPe, 2019b)

Volgens onderzoek van Niazi et al. (2017) kan koolzaad (*Brassica napus*) arseen opnemen. Bij dit onderzoek bevatten de scheuten een concentratie van 35 ppm bij een beginconcentratie van 25 ppm, 45 ppm bij een beginconcentratie van 50 ppm en 38 ppm bij een beginconcentratie van 75 ppm arseen. De wortels bevatten bij een beginconcentratie van 25 ppm 81 ppm, bij 50 ppm 111 ppm en bij 75 ppm 132 ppm arseen.

Volgens een onderzoek van Ehsan et al. (2014) kan koolzaad ook cadmium opnemen. Bij een concentratie van 50 ppm aan cadmium zat in de wortels 2.758,61 ppm en in de stam 1.320,67 ppm aan cadmium.

Volgens onderzoek van Reed en Glick (2005) kan koolzaad ook koper opnemen. Het onderzoek toonde aan dat bij een concentratie van 1.000 ppm koper, 550 ppm in de vezels was opgenomen.

Volgens onderzoek van Jing et al. (2014) kan koolzaad cadmium, lood en zink opnemen. Dit is getest in bodems met 50 ppm aan cadmium, 200 ppm aan lood en 200 ppm aan zink.

Hierbij was in de wortels 60 ppm cadmium, 90 ppm lood en 60 ppm zink in de wortels opgeslagen. De concentratie in de bovengrondse delen van de plant was 39 ppm cadmium, 29 ppm lood en 39 ppm zink. Wel konden de bovengrondse delen van de plant de meeste verontreiniging opnemen vanuit de bodem. De bovengrondse delen van de plant hebben namelijk 40 ppm cadmium, 30 ppm lood en 75 ppm zink uit de bodem gehaald.

Gevolgen

Bij het onderzoek van Niazi et al. (2017) werd vastgesteld dat chlorofyl a, chlorofyl b en totaal chlorofyl (a+b) verminderden door arseenstress. Hierdoor nam het vermogen voor fotosynthese af en hadden de planten minder energie om te groeien.

Koolzaad bij het onderzoek van Ehsan et al. (2014) had een afname in de biomassa van de wortels, de stam en de bladeren wanneer planten groeiden in een bodem met cadmium. Daarnaast werden de antioxidantiserende enzymen aangetast en hadden de planten een lagere transpiratiesnelheid (transport

van water van de wortels naar de bladeren), stomatale geleiding (verdamping van water uit de huidmondjes), netto fotosynthesesnelheid (de productie minus het eigen gebruik) en watergebruiksefficiëntie dan planten die niet in een verontreinigde bodem stonden.

Bij het onderzoek van Reed en Glick (2005), waarbij koolzaad was geplant in een bodem met koper, was te zien dat de wortels van de planten korter werden en de biomassa afnam. De biomassa van de wortels nam af met 0,15 gram en de biomassa van de scheuten nam met 0,45 gram af in vergelijking met de controlegroep.

In het onderzoek van Jing et al. (2014) was te zien dat koolzaad minder hoog werd bij de aanwezigheid van arseen. Ook het aantal bladeren en de biomassa van de scheuten en wortels namen af, behalve bij een beginconcentratie van 25 ppm arseen. Hierbij kregen de planten meer bladeren en meer biomassa aan scheuten en wortels.

Standplaats

Koolzaad kan op matig tot voedselrijke bodem staan. Ze verdragen een neutrale tot licht zure bodem en kunnen tegen drogere omstandigheden door de penwortels die tot drie meter diep de grond in komen (Niazi et al., 2017).

Koolzaad groeit van nature in bewerkte en omgewoelde bodem en heeft daardoor minder specifieke eisen voor de standplaats (Keukenplanten, n.d.).

Verzorging

Koolzaad heeft weinig verzorging nodig. De plant kan droger staan, maar heeft wel de voorkeur voor een vochtige bodem (Picture This, n.d.a). Voor optimale groei moet de bodem dus vochtig worden gehouden (Keukenplanten, n.d.b).

Hennep (*Cannabis sativa*)



Figuur 10 – Hennep (*Cannabis sativa*) (NickyPe, 2019b)

Volgens onderzoek van Meers et al. (2005) kan hennep (*Cannabis sativa*) zink, koper, cadmium, nikkel en lood opnemen. Bij 575 ppm zink was de concentratie in de plant 100 ppm, bij 90 ppm koper 15 ppm, bij 5,6 ppm cadmium 0,5 ppm, bij 41 ppm nikkel 4,8 ppm en bij 108 ppm lood 1 ppm.

Gevolgen

Het artikel van Meers et al. (2005) beschrijft dat hennep die voor fytoremediatie ingezet wordt, over het algemeen een lagere biomassaproductie zal hebben door de invloed van zware metalen.

Standplaats

Hennep heeft geen specifieke eisen voor de standplaats; zolang de plant maar op een zonnige vochtige plaats kan staan, zal hij goed groeien. Hierdoor kan de plant sterke vezels produceren, die kunnen worden gebruikt in producten zoals kleding, touw en papier. Bovendien kunnen de zaden worden gebruikt in verf en vernis, en dragen de geurige bloemen bij aan de biodiversiteit (Hortus Alkmaar, 2024a).

Daarnaast kunnen hennepzaden voor vezelteelt dichter op elkaar worden geplant, waardoor dunne lange vezels ontstaan. De ideale afstand hiervoor is tussen de vijftien en twintig centimeter (Keukenplanten, n.d.a).

Verzorging

Het veld voor hennep voor fytoremediatie vraagt weinig voorbereiding en heeft geen extra water nodig. Als dat gewenst is, kunnen de jonge planten in de eerste vier tot zes weken extra water krijgen, zodat ze beter en sneller kunnen wortelen. Daarnaast kan hennep goed concurreren met andere planten (Agriculture and rural development, n.d.).

Luzerne (*Medicago sativa*)



Figuur 11 – Luzerne (*Medicago sativa*) (Jhenning, 2020)

Volgens onderzoek van Ju et al. (2020) kan luzerne (*Medicago sativa*) koper opnemen. Van de 669 ppm koper zat na de proef 79,8 ppm in de plant zelf. Hierbij is 560 ppm aan koper verwijderd uit de aarde.

Bij het onderzoek van He et al. (2021) werd naar de opname van koper en zink door luzerne gekeken. Bij een beginconcentratie van 200 ppm zink was de concentratie in de plant 375 ppm en bij een beginconcentratie van 800 ppm was de concentratie in de plant 850 ppm aan zink. Verder heeft het onderzoek aangetoond dat bacteriën in de rhizosfeer de plant hielpen bij het opnemen van de koperverontreiniging.

Ook heeft het onderzoek van Mathur en Panwar (2024) aangetoond dat luzerne cadmium, zink en lood kan opnemen. Van elke metaal was de beginconcentratie 150 ppm. De concentratie in de scheuten was respectievelijk 74,19 ppm, 91,20 ppm en 87,95 ppm. De concentratie in de wortels was respectievelijk 40,91 ppm, 46,78 ppm en 40,91 ppm. Bij een combinatie van de drie metalen was de concentratie in de scheuten 78,15 ppm aan zink, 57,36 ppm aan lood en 42,28 ppm aan cadmium.

Gevolgen

Het onderzoek van Mathur en Panwar (2024) toonde aan dat planten op een meervoudig verontreinigde bodem het meest werden beïnvloed. De scheuten namen met 38,88% af en de wortels met 36,23% ten opzichte van de controlegroep. Dit betekent dat meervoudige verontreiniging een grotere invloed heeft op de planten dan een bodem met slechts één verontreinigende stof.

In het onderzoek van Mathur en Panwar (2024) werd geen sterfte waargenomen bij planten die op een verontreinigde bodem groeiden. Wel werd de groei van wortels, scheuten en bladeren geremd.

Standplaats

Luzerne kan groeien op een matig tot voedselrijke bodem. De plant verdraagt een neutrale tot licht zure bodem en kan dankzij haar penwortels, die tot drie meter diep in de grond reiken, ook drogere omstandigheden aan (DLF, n.d.). Luzerne groeit van nature in bewerkte en omgewoelde bodem en stelt daardoor geen bijzondere eisen aan de standplaats (Flora van Nederland, n.d.b). Net als

zonnebloemen heeft luzerne echter een zonnige standplaats nodig met zes tot acht uur direct zonlicht (Tsjerlinka, 2024).

Verzorging

Door de lange groeiperiode heeft luzerne extra water nodig tijdens het groeiseizoen, met een waterbehoefte van 500 tot 1.170 millimeter per groeiseizoen. Daarnaast moet de plant worden gemonitord op plagen en ziekten, vooral wanneer ze dicht op elkaar staan geplant.

Bemesting van de plant is optioneel, maar kan de weerstand van de planten tegen plagen en ziekten verhogen (Tsjerlinka, 2024).

Grote weegbree (*Plantago major*)



Figuur 12 – Grote weegbree (*Plantago major*) (Multicolora, 2022)

Romeh et al. (2016) hebben onderzoek gedaan naar de opname van lood door de grote weegbree (*Plantago major*). De verschillende testgroepen hadden een beginconcentratie van 0 ppm (de controlegroep) 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm en 20 ppm. De concentratie in de wortels was na 20 dagen bij een beginconcentratie van 2,5 ppm 28 ppm droge biomassa, bij 5 ppm 35 ppm, bij 10 ppm 45 ppm en bij 20 ppm 75 ppm. De concentratie in de bladeren was na 20 dagen bij een beginconcentratie van 2,5 ppm 6 ppm, bij 5 ppm 7 ppm, bij 10 ppm 16 ppm en bij 20 ppm 30 ppm.

Aanvullend is in het onderzoek van Galal en Shehata (2015) aangetoond dat de grote weegbree ook koper, zink, cadmium, chroom en nikkel uit de bodem kan verwijderen. In tabel 2 is de beginconcentratie per zwaar metaal te zien en de concentratie die in de wortels en scheuten aanwezig was.

Tabel 2 – Beginconcentratie en concentratie in de wortels en scheuten van de grote weegbree bij verschillende zware metalen (Galal en Shehata, 2015)

Metaal	Concentratie bodem	Concentratie wortels	Concentratie scheuten
Koper	68,4	53	29,6
Zink	372,1	122,4	68,7
Cadmium	<2	0,5	0,5
Chroom	120,4	62,1	17,3
Nikkel	53,4	24,6	6,7

Het onderzoek toonde aan dat de grote weegbree geschikt is voor fytoremediatie. De plant is geschikt voor de extractie van cadmium en lood. Vanwege de translocatiefactor <1 is de plant geschikt voor de stabilisatie van nikkel, chroom, zink en koper.

Gevolgen

Tijdens de proef van Romeh et al. (2016) bij bodems met een loodverontreiniging werden er geen visuele veranderingen waargenomen aan de bladeren bij zowel de test met lood als met nikkel.

Standplaats

De weegbree is niet kieskeurig als het aankomt op een standplaats. Het is een robuuste tredplant en kosmopoliet. Een kosmopoliet is een plant die inmiddels al bijna overal ter wereld voorkomt (Encyclo, 2024). Een tredplant is een plant waar overheen gelopen kan worden of zelfs overheen gereden kan worden, zonder dat de plant (in de meeste gevallen) stukgaat. Hierdoor kan de plant goed gebruikt worden op een perceel waar nog activiteiten zullen plaatsvinden (Encyclo, n.d.).

Verzorging

De plant heeft geen verzorging nodig om optimaal te kunnen groeien. Wel houdt de plant van een stikstofrijke bodem, waardoor de nodige nutriënten toegediend kunnen, zodat de plant nog beter kan groeien (Flora van Nederland, n.d.a).

Witte mosterd (*Sinapis alba*)



Figuur 13 – Witte mosterd (*Sinapis alba*) (De Vries, 2012)

Copyright © [Guus de Vries], via Waarneming.nl (De Vries, 2012).

Volgens onderzoek van Vasilache et al. (2023) kan witte mosterd (*Sinapis alba*) arseen en cadmium uit de bodem halen. De meeste concentratie in de plant werd gevonden bij een bodem met 15 ppm arseen, 3 ppm cadmium en 10 ppm nikkel. Hierbij was de concentratie arseen in de wortels 9,02 ppm, in de stam 0,75 ppm, in de bladeren 2,18 ppm, in de bloemen 0,73 ppm, in de peulen 0,74 ppm en in de zaden 0,74 ppm. De cadmiumconcentratie in de wortels was 0,41 ppm, in de stam 0,36 ppm, in de bladeren 2,52 ppm, in de bloemen 0,15 ppm, in de peulen 0,12 ppm en in de zaden 0,1 ppm.

Hierbij was de hoogste bioaccumulatiecoëfficiënt voor arseen afkomstig van de wortels en voor cadmium van de bladeren. De bioaccumulatiecoëfficiënt van de wortels was 0,532 en de bioaccumulatiecoëfficiënt van de bladeren was 0,813.

Aanvullend heeft het onderzoek van Díaz et al. (2024) aangetoond dat witte mosterd ook arseen, cadmium, koper, lood en zink kan opnemen. Bij een beginconcentratie van 633 ppm arseen werd 159 ppm opgenomen in de wortels, bij 25 ppm cadmium 6 ppm, bij 1.707 ppm koper 409 ppm, bij 5.112 ppm lood 1.560 ppm en bij 3.739 ppm zink 753 ppm. De concentratie in de scheuten was respectievelijk 25 ppm, 5 ppm, 43 ppm, 122 ppm en 891 ppm.

Gevolgen

In het onderzoek van Díaz et al. (2024) werd aangetoond wat het gevolg is van een verontreinigingsopname op witte mosterd. De biomassa van de plant was na 75 dagen 0,3 gram. De wortels van de plant waren tien centimeter en de bovengrondse delen veertien centimeter. In tegenstelling tot de normale hoogte van 38 centimeter na 40 dagen, zal de groei van de plant dus worden geremd (Díaz et al., 2024).

Standplaats

Witte mosterd kan zowel in de volle zon als in halfschaduw staan. Verder kan de plant in allerlei soorten bodems staan, als er maar een goede drainage aanwezig is. De grond dient wel vochtig te blijven tijdens de kiemperiode (Hortus Alkmaar, 2024b).

Verzorging

Volgens de blog op Picture This hoeft witte mosterd alleen extra voeding te krijgen tijdens het groeiseizoen en in het voorjaar een snoeibeurt om de beschadigde en dode delen te verwijderen. Hierdoor kan de plant beter blijven groeien (Picture This, n.d.b)

In bijlage 1 'grafieken en tabellen van de inventarisatie van planten voor fytoremediatie' zijn alle bijbehorende grafieken en tabellen te zien. In deze bijlage worden de verhoudingen in één grafiek of één tabel per onderwerp weergegeven.

3.2 Geo- en biologische omstandigheden die effect hebben op fytoremediatie

Aangezien de locatie voor het fieldlab nog niet bekend is, kan de samenstelling van het baggerslib variëren. Baggerslib wordt namelijk verkregen uit rivieren en sloten, waar zich in de loop der tijd dode plantenresten, aangevoerd slib vanuit de bovenstroom en andere stoffen hebben opgehoopt (Hoogheemraadschap van Delfland, n.d.) (Rijkswaterstaat, n.d.).

Zoals in de inleiding al staat vermeld, zijn naast diverse samenstellingen ook verschillende soorten verontreinigingen te vinden in het baggerslib. De belangrijkste invloeden op de beschikbaarheid van de verontreiniging voor de planten zijn:

- de samenstelling van de bodem;
- de zuurgraad van de bodem (de pH-waarde);
- de CEC;
- het redoxpotentiaal;
- de bindingsvorm van het metaal; en
- de (micro-)organismen in de bodem.

3.2.1 Samenstelling van de bodem en aanwezigheid van (micro-)organismen

De samenstelling van de bodem speelt mee bij de beschikbaarheid van zware metalen. Verschillende type bodems hebben verschillende ladingen. Zo heeft een bodem met veel zand bijna geen lading en een bodem met veel silt, lutum of organische stof heeft een grote negatieve lading (Groen, 2022).

Hierdoor kunnen positief geladen metalen goed binden aan baggerslib met een hoog percentage klei en organische stof. Bij zandige baggerslib zal er meer kunnen uitspoelen, waardoor rekening moet worden gehouden met de juiste voorziening van nutriënten en water voor planten die dit nodig hebben. Dit betekent dat de verontreinigende stoffen ook makkelijk kunnen uitspoelen, waardoor de beschikbaarheid zal afnemen (Steketee, 2007).

In meerdere wetenschappelijke artikelen staat dat de rhizosfeer en de bijbehorende (micro-)organismen een belangrijke rol spelen bij het bevorderen van de plantgezondheid als ook bij het vermogen voor fytoremediatie. Bij een vitale rhizosfeer van planten konden de meeste planten ook beter en meer verontreinigingen opnemen.

3.2.2 Zuurgraad (pH-waarde)

De zuurgraad heeft invloed op de mobiliteit van metalen. De zuurgraad hangt af van de hoeveelheid H^+ -ionen in de bodem of in het grondwater. Bij een lage pH-waarde zijn er meer H^+ -ionen in de bodem die de plek van de positief geladen metalen (als cadmium en zink) innemen (Eurofins, 2022a).

H^+ -ionen kunnen metalen verdringen doordat ze klein zijn en een hoge ladingsdichtheid hebben. Bij een lage pH zijn er veel H^+ -ionen die kunnen concurreren met metalen die een hogere lading hebben (Handboek Bodem en Bemesting, 2024).

Andersom geldt ook dat bij een hoge pH-waarde de metalen zich sterk hebben gebonden aan de bodembestanddelen, waardoor de metalen in mindere mate of helemaal niet beschikbaar zijn voor de planten om op te nemen. Bij een hoge pH-waarde worden meestal chelaten toegevoegd om de metalen meer beschikbaar te maken voor de planten (Eurofins, 2022b). Daarnaast kan bijvoorbeeld organische stof worden toegevoegd aan de bodem. Organische stof mobiliseert de metalen of vormt stabiele complexen met de verontreinigingen (Wan et al., 2024). Daarnaast is organische stof goed voor de micro-organismen die in de bodem leven. Deze organismen helpen de plant voedingstoffen en als nodig is ook verontreinigingen op te nemen en op te slaan in de plant (Magdoff en Es, 2023).

3.2.3 Kationenomwisselingscapaciteit/Cation exchange capacity (afgekort CEC)

Net zoals de pH heeft de CEC invloed op de beschikbaarheid van de zware metalen. Bij een hoge CEC is er een groter negatief geladen oppervlak in de bodem beschikbaar, zodat er veel positief geladen deeltjes aan vast kunnen blijven plakken. Bij een lage CEC zal dit effect worden omgekeerd (Wan et al, 2024). In kleibodems zal de CEC veel hoger kunnen zijn, omdat veel kleideeltjes samen een groot oppervlak hebben.

Daarnaast kunnen de metalen ook met elkaar reageren afhankelijk van de specifieke stoffen en concentraties (Kreuk en Groen, 2009).

3.2.4 Nutriënten

Nutriënten hebben invloed op het vermogen van de planten om verontreinigende stoffen op te nemen. Nutriënten als de groep NPK (stikstof, fosfor en kalium) helpen de planten bij de ontwikkeling. Zo zorgt stikstof voor een betere groei van de stengels en bladeren, wat nodig is aangezien veel onderzoeken uitwezen dat de planten korter werden en minder bladeren kregen in vergelijking met de controlegroep. Fosfor zorgt voor de ontwikkeling van wortels en het vermogen om energie te produceren. En kalium zorgt ervoor dat de sapstroom goed blijft stromen en geeft stevigheid aan de planten (Emis, n.d.b). Aanvullend kan magnesium zorgen voor meer aanmaak van bladgroenkorrels, waardoor de planten beter zonlicht kunnen omzetten in energie (Ecostyle, 2023).

Factoren als metaalstress kan de groei en ontwikkeling van planten verstoren. Door extra voeding te geven kunnen de planten krachtiger worden, waardoor deze effectiever ingezet kunnen worden (Emis, n.d.b).

3.2.5 Redoxpotentiaal

Ook het redoxpotentiaal heeft invloed op het vermogen tot fytoremediatie. Bij een groter redoxpotentiaal kunnen vooral organische verontreinigingen, zoals minerale oliën, goed worden afgebroken (OBN Natuurkennis, n.d.).

Voor zware metalen daarentegen is over het algemeen een lager redoxpotentiaal gunstiger, omdat metalen in aanwezigheid van zuurstof zullen reageren en worden omgezet in de geoxideerde vorm. Metalen in een geoxideerde vorm kunnen vervolgens beter worden opgenomen door de plantenwortels (Rijkswaterstaat, 2000) (Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, 2007).

3.3 Verwerken van de planten tot grondstoffen voor nieuwe producten

Op de markt zijn er veel nieuwe en tweedehands producten waarin de onderzochte planten als grondstof gebruikt worden. In totaal kunnen de vezels van de planten in de volgende producten worden verwerkt: bezems, biobrandstof, bioplastic, bouwmaterialen, brandhout, cosmetica, energieopwekking, etherische oliën, gereedschapsstelen, glansmiddel, hengels, isolatiematerialen, kaarsen, kisten, klompen, kunstharsen, leerbehandelingen, meubels, muziekinstrumenten, olieproducten, papier, perslijsten, plaatmateriaal, schoensmeer, schuttingsen en schermen, smeerolie, spaanplaat, speelgoed, strooisel, textiel, triplex, tuinversiering, verf, verpakkingen, verzorgingsproducten, wandelstokken en wasmiddel.

In bijlage 8 is de lijst te zien waarin per plant wordt aangegeven in welke producten de vezels worden verwerkt.

3.4 Regels voor verwerken van verontreinigde biomassa

In de loop van de jaren zijn er in Nederland regels opgesteld voor het verwerken van bodembedreigende en gevaarlijke stoffen. Zoals in de voorgaande hoofdstukken is beschreven, kunnen planten verontreinigende stoffen opnemen in de vezels. Hierdoor moet er rekening worden gehouden met de grenswaarden voor verontreinigingen die in producten mogen zitten bij het verwerken van deze vezels.

De regels met grenswaarden zijn voor ieder product weer anders. De grenswaarden zijn in de meeste gevallen gebaseerd op de schadelijkheid van de stof zelf en de mogelijke blootstelling met de schadelijke stoffen van consumenten bij het gebruik van het product (Europese Commissie, n.d.). De grenswaarden worden meestal opgesteld door de Europese Unie en verwerkt in verordeningen en richtlijnen. De specifieke grenswaarden die zijn genoteerd voor de producten waarin de vezels van de planten nog kunnen worden verwerkt, zijn te zien in bijlage 9.

Voor de volgende producten zijn geen specifieke regels gevonden voor de kwaliteitseisen en gebruikte materialen: bezems, gereedschapsstelen, hengels, kaarsen, klompen, leerbehandelingen, muziekinstrumenten, perslijsten, schuttingsen en schermen, tuinversiering en wandelstokken.

De Europese en Nederlandse wetgeving bevatten wel algemene regels en zorgplichtartikelen. Zo geeft de REACH-verordening aan dat producenten verantwoordelijk zijn voor het beperken van schadelijke stoffen in hun producten. Tegenover de consumenten moet informatie worden verstrekt over de materialen, of hier schadelijke stoffen in zitten en op welke manier de consument hier veilig mee dient om te gaan (Rijksoverheid, 2023). Ook is het verstandig om nieuwe producten te testen of er gevaarlijke stoffen bij gebruik kunnen vrijkomen en, zo ja, welke gevaarlijke stoffen dat dan zouden zijn (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, 2016).

Daarnaast dienen bepaalde producten te voldoen aan de eisen voor CE-markeringen. Zo mogen de producten niet schadelijk zijn voor de gezondheid van mensen en het milieu (RVO, 2024b). Dit geldt voor producten zoals speelgoed en bouwproducten (RVO, 2024c).

Producten die niet vallen onder de regels voor CE-markeringen moeten wel voldoen aan de Richtlijn Algemene Productveiligheid 2001/95/EG. In de nationale wetgeving is deze richtlijn omgezet in de Warenwet Algemene Productveiligheid. In deze wet staat ook dat producenten de veiligheid van producten moeten garanderen (RVO, 2024a).

De Rijksoverheid adviseert hiervoor om onderzoek te doen naar de mogelijke schadelijke effecten van een nieuwe soort stof die wordt verwerkt in producten (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, 2016).

4. Multicriteria-analyse

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de MCA te zien. Hiervoor is per criterium een score gegeven aan de planten. De verdeling van de weging van de criteria is gebaseerd op het doel van dit onderzoek, waarvoor een schatting is gemaakt van de belangrijkheid van elk criterium. De volgende onderbouwing voor het toekennen van de weging van elk criterium vormt hiervoor de basis:

- *hoeveelheid metalen voor extractie*: dit criterium is het meest belangrijk, omdat de vraag naar planten voor fyto-remediatie het hoofddoel is van dit onderzoek. Daarnaast worden zware metalen bij fyto-extractie uit de bodem verwijderd en zullen ze geen nadelige gevolgen meer hebben voor de leefomgeving.
- *hoeveelheid metalen voor stabilisatie*: fyto-stabilisatie staat op de tweede plek, omdat dit ook onderdeel is van het hoofddoel van dit onderzoek. Bij fyto-stabilisatie worden zware metalen echter niet uit het milieu verwijderd, wat minder gewenst is dan volledige verwijdering.
- *bereik van de planten*: de wortellengte bepaalt hoe groot het gebied is dat een plant kan reinigen en hoe efficiënt het is om een plant in te zetten. Verontreinigingen kunnen namelijk ook dieper in de bodem aanwezig zijn. Hierdoor is dit het op twee na belangrijkste criterium.
- *invloed van de verontreinigingen op de planten*: daarna komt de invloed van de verontreiniging, omdat het belangrijk is dat de planten robuust zijn en goed en langdurig verontreiniging kunnen blijven opnemen of stabiliseren.
- *levensduur van de planten*: voor de kenmerken van de planten zelf is de levensduur minder belangrijk, omdat het in eerste instantie om een individuele plant gaat. Wel is het belangrijk om te weten hoelang een plantensoort gemiddeld kan blijven leven en daarom is dit het op vier na belangrijkste criterium.
- *standplaatsfactoren*: standplaatsfactoren zijn wat betreft externe factoren voor planten het belangrijkste, omdat de hoeveelheid verschillende standplaatsen bepaalt hoe makkelijk het is om een plant in te zetten. Planten die een specifieke standplaats nodig hebben, kunnen minder snel worden ingezet en zullen minder goed groeien als ze wel worden ingezet op een perceel waar de omgevingsfactoren niet juist zijn.
- *verzorging van de planten*: daarna is de verzorging van de planten het belangrijkste. De verzorging heeft nog steeds veel invloed op de planten, maar minder snel effect dan de standplaats. Bij een minder geschikte standplaats voor de planten zijn de nadelige effecten namelijk eerder te zien dan bij onjuiste verzorging.
- *verwerkbaarheid*: de verwerkbaarheid heeft de op een na laagste weging gekregen, omdat fyto-remediatie belangrijker was bij dit onderzoek. Wel staat dit criterium nog boven beperkingen voor de verwerking, aangezien regels afhankelijk zijn van het soort product dat geproduceerd wordt.
- *beperkingen voor de verwerking*: 'beperkingen voor de verwerking' heeft de laagste weging gekregen, omdat dit de tweede onderzoeksvraag was. Daarnaast hangen de grenswaarden voor zware metalen af van het soort product.

Alle wegingen voor de criteria liggen dicht bij elkaar, omdat het nog steeds belangrijk is om met alle criteria rekening te houden bij fyto-remediatie en de verdere verwerking van de planten na de oogst.

In tabel 3 is de ingevulde MCA te zien, waarbij de scores zijn omgerekend. De scores van alle criteria per plant zijn bij elkaar opgeteld en in de kolom 'score' te zien.

Tabel 3 – Ingevulde MCA

Criteria Plant	Hoeveelheid metalen voor extractie (aantal metalen die opgenomen kunnen worden in de plant)	Hoeveelheid metalen voor stabilisatie (aantal metalen die vastgezet kunnen worden aan bodembestanddelen)	Bereik van de planten (1 – minste, 13 – meeste)	Invloed van de verontreinigingen op de planten (categorie 1 – meeste invloed, categorie 4 – minste invloed)	Levensduur van de planten (categorie 1 – kortste levensduur, categorie 6 – langste levensduur)	Standplaatsfactoren (1 – meest specifiek, 13 – minst specifiek)	Verzorging (categorie 1 – meest intensieve verzorging, categorie 7 – minst intensieve verzorging)	Verwerkbaarheid (hoeveelheid producten waarin de vezels van de planten kunnen worden verwerkt)	Beperkingen voor de verwerking (1 – hoogste grenswaarde, 13 – laagste grenswaarde)	Score
Weging	0,2	0,18	0,15	0,13	0,12	0,09	0,07	0,04	0,02	
Helianthus annuus	0,8	0	1,65	0,39	0,12	0,63	0,07	0,12	0,12	3,9
Hydrangea paniculata	0,4	0	0,75	0,52	0,24	0,72	0,21	0	0,04	2,88
Pelargonium hortorum	0,8	0	0,3	0,13	0,24	0,9	0,07	0	0,06	2,5
Alnus glutinosa	1	0	1,95	0,39	0,6	0,81	0,42	0,28	0,18	5,63
Populus nigra	1,4	0	0,6	0,26	0,72	0,27	0,28	0,12	0,22	3,87
Salix viminalis	0,8	0	0,9	0,13	0,24	0,36	0,14	0,24	0,26	3,07
Arundo donax	0,4	0	0,45	0,26	0,24	0,09	0,14	0,08	0,2	1,86
Miscanthus giganteus	0,6	0,36	1,5	0,39	0,48	0,18	0,42	0,16	0,24	4,33
Brassica napus	1	0	1,2	0,13	0,12	0,54	0,28	0,08	0,08	3,43
Cannabis sativa	1	0	1,8	0,39	0,12	0,45	0,42	0,16	0,1	4,44
Medicago sativa	0,8	0	1,35	0,39	0,36	1,08	0,28	0,2	0,14	4,6
Plantago major	0,4	0,72	0,15	0,52	0,24	1,17	0,35	0	0,02	3,57
Sinapis alba	1	0	1,05	0,39	0,12	0,99	0,42	0	0,16	4,13

In bijlage 2, tabel 13, zijn de oorspronkelijke scores te zien van de planten voordat ze zijn omgerekend om te kunnen optellen voor de eindscore. In tabel 14 van dezelfde bijlage is een totaaloverzicht te zien met de onderbouwing per plant van elke individuele score.

In bijlage 3 tot en met 9 is per criterium een uitgebreide uiteenzetting te zien van de totstandkoming van de score per criterium. Hierin worden de gegevens weergegeven waarop de scores zijn gebaseerd en worden eventueel opgestelde categorieën verder toegelicht.

5. Planten met de meest gunstige eigenschappen

Op basis van de uitkomst van de MCA is een lijst opgesteld waarin wordt aangegeven welke plant het meest geschikt is om in te zetten voor fytoremediatie en de vezels van de planten na de oogst te verwerken in nieuwe producten.

In tabel 4 is de lijst te zien met de planten waarbij nummer 1 staat voor de meest geschikte plant en nummer 13 voor de minst geschikte plant. Ook is de totaalscore van de planten te zien die aangeeft of planten wat betreft geschiktheid nog redelijk dicht bij elkaar liggen of verder van elkaar af staan.

Tabel 4 – Rangschikking van de dertien planten op basis van de MCA

Plant	Totaalscore
1. <i>Alnus glutinosa</i>	5,63
2. <i>Medicago sativa</i>	4,6
3. <i>Cannabis sativa</i>	4,44
4. <i>Miscanthus giganteus</i>	4,33
5. <i>Sinapis alba</i>	4,13
6. <i>Helianthus annuus</i>	3,9
7. <i>Populus nigra</i>	3,87
8. <i>Plantago major</i>	3,57
9. <i>Brassica napus</i>	3,43
10. <i>Salix viminalis</i>	3,07
11. <i>Hydrangea paniculata</i>	2,88
12. <i>Pelargonium hortorum</i>	2,5
13. <i>Arundo donax</i>	1,86

Uit de MCA is gekomen dat de zwarte els (*Alnus glutinosa*) het meest geschikt is om in te zetten voor fytoremediatie op basis van alle criteria samen.

Ook is deze plant in de meeste soorten producten te verwerken in verhouding tot de regels en beperkingen voor het gebruik van plantenvezels met verontreiniging van zware metalen.

6. Discussie

In dit stageverslag staan de resultaten van het onderzoek naar potentiële planten om zware metalen uit baggerslib te kunnen halen, zodat voor de toekomstige proeflocatie van het project 'Natuurlijke bodemsaneringen' de juiste plant kan worden geselecteerd.

De belangrijkste resultaten uit dit onderzoek waren dat de dertien onderzochte planten in totaal arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, mangaan, nikkel en zink kunnen aanpakken door middel van fytoremediatie. De producten waarin de planten verwerkt konden worden zijn: bezems, bioplastic, bouwmaterialen, gereedschapsstelen, glansmiddel, hengels, isolatiematerialen, kisten, klompen, kunstharsen, leerbehandelingen, meubels, papier, perslijsten, plaatmateriaal, schuttingen en schermen, schoensmeer, smeerolie, spaanplaat, speelgoed, triplex, tuinversiering, verf, verpakkingen, wandelstokken en zaaghout. Op basis van de MCA is de zwarte els (*Alnus glutinosa*) de meest geschikte plant uit de lijst om in te zetten voor fytoremediatie en na de oogst te verwerken in nieuwe producten.

6.1 Vergelijking met andere onderzoeken.

Voor de analysefase zijn verschillende criteria opgesteld om de planten te kunnen vergelijken om zo een overzicht te krijgen van de planten met de best mogelijke eigenschappen. De criteria hiervoor waren: hoeveelheid metalen voor extractie, hoeveelheid metalen voor stabilisatie, bereik van de planten, invloed van de verontreiniging, levensduur van de planten, standplaatsfactoren, verzorging, verwerkbaarheid en beperkingen voor de verwerking. Bij het project 'PhytoFuture' in Amsterdam zijn veel van dezelfde parameters onderzocht om te bepalen hoe effectief een bepaalde plant voor een specifieke omgeving is (Phytofuture, n.d.). Aan de hand het onderzoek 'PhytoFuture' kan worden gesteld dat de meest relevante criteria zijn meegenomen.

Voor dit onderzoek zijn geschikte planten en bomen gezocht voor het Nederlandse landschap. Op basis van de multicriteria-analyse is vastgesteld dat de zwarte els de beste keuze. Bij bijvoorbeeld het project 'Zuiverend groen in de stad' van de gemeente Zwolle, provincie Overijssel, gemeente Almelo, Bio Clear Earth en Deltarus zijn zwarte elzen geplant om grondwaterverontreinigingen aan te pakken (Bioclear Earth, n.d.). Verder heeft bij dit onderzoek hennep de op twee na hoogste score gekregen. Italiaanse onderzoekers zeiden over hennep dat het mogelijk is de stengels na het opnemen van verontreinigingen te verwerken in beton of te gebruiken voor het opwekken van energie (Polspoel, 2021). Op basis van andere praktijkproeven en onderzoeksresultaten kan worden gesteld dat meerdere bedrijven de planten die in dit onderzoek hoog hebben gescoord als geschikte kandidaten beschouwen voor fytoremediatie en voor de verwerking van de vezels tot nieuwe producten.

Bij het rangschikken van alle planten is de score van de gewone zonnebloem lager uitgevallen. Volgens The Green Cities Europe zijn zonnebloemen juist wel zeer geschikt voor fytoremediatie en worden vaak ingezet om de bodem te reinigen (The Green Cities Europe, 2020).

Ondanks de strenge regels om de veiligheid van producten te garanderen, beschrijft het artikel van Vangronsveld et al. (2005) de haalbaarheid van de verwerking van plantenvezels voor fytoremediatie in nieuwe producten. Daarnaast geeft het project van het bedrijf Dealin.Green ook aan dat bedrijven op dit moment (anno 2025) in Nederland deze kans verder in de praktijk aan het brengen zijn (Dealin.Green, persoonlijke communicatie, 15 januari 2025). De berichten uit wetenschappelijke artikelen en van bedrijven geven extra aan dat het met de juiste stappen mogelijk is om de vezels te gebruiken.

6.2 Invloedsfactoren op dit onderzoek

In de resultaten van de wetenschappelijke artikelen werd meestal niet vermeld wat de concentratie in ppm is die de planten uit de bodem hebben gehaald. Hierdoor kon niet worden aangegeven hoeveel procent van de verontreiniging de plant had verwijderd uit de bodem, wat in de eerste versie van de onderzoeksmethodiek wel een deelvraag was. Daarnaast was tijdens het onderzoek nog geen locatie voor het fieldlab gevonden. Hierdoor was het niet mogelijk om een selectie te maken van de meest geschikte planten voor een specifieke locatie. De rangschikking van de planten is daarom op basis van algemene criteria opgesteld.

In hoofdstuk 5 'Planten met de meest gunstige eigenschappen' is een rangschikking gemaakt van de beste planten die ingezet kunnen worden voor fytoremediatie. Deze indeling is deels gebaseerd op de uitkomsten van de twee criteria voor fytoremediatie. Hierbij is alleen niet de concentratie aan verontreiniging in de plant met elkaar vergeleken. Dit was wel een onderdeel van de inventarisatie en zijn in hoofdstuk 3.1 met 'geschikte planten voor fytoremediatie' gezet. Deze gegevens zijn niet toegevoegd als criterium, omdat in de wetenschappelijke artikelen de planten zijn getest bij verschillende beginconcentraties. Een beperking hiervan is dus dat bij de rangschikking nog meer factoren meegenomen moesten worden om een totaalbeeld te krijgen van de meest effectieve plant per verontreiniging. Wel is in bijlage 10 een overzicht te zien met de beginconcentraties die in de aarde aanwezig waren. Bij het selecteren van een plantensoort voor fytoremediatie is in deze bijlage in tabel 26 te zien welke planten op een bodem met een hoge concentratie aan zware metalen kunnen staan.

Verder zijn de scores in de MCA gebaseerd op de resultaten die bij de inventarisatie zijn gevonden. In het artikel van Forte en Mutiti (2017) werden bijvoorbeeld de bioaccumulatie- en translocatiefactor niet onderzocht die in de onderzoeken van Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015) en Vasilache et al. (2023) wel werden vermeld. Hierdoor konden niet alle planten bij het criterium 'invloed van de verontreiniging op de plant' met elkaar worden vergeleken. De rangschikking van de planten en het aanwijzen van de meest geschikte planten per soort verontreiniging is hierdoor minder betrouwbaar. Ondanks het ontbreken van aanvullende informatie, zijn de gegevens over de soorten zware metalen en de gevolgen op de plant wel genoteerd. De MCA kon daarom alsnog worden ingevuld.

Het samenvoegen van gegevens uit wetenschappelijke artikelen in de MCA heeft invloed gehad op de betrouwbaarheid van het onderzoek. Planten uit verschillende onderzoeken zijn getest op bodems met verschillende samenstellingen. De bodemsamenstelling heeft invloed op de beschikbaarheid van verontreinigingen voor de planten, zoals ook in paragraaf 3.2 van dit verslag wordt aangegeven. In de oorspronkelijke onderzoeksmethode zouden wetenschappelijke artikelen worden geselecteerd op basis van bodemsamenstellingen die overeenkomen met de samenstelling van het baggerslib op de locatie. Omdat de projectactiviteiten voor het vinden van een geschikte locatie vertraging opliepen, werd besloten niet langer specifiek te filteren op bodemsamenstelling in de wetenschappelijke artikelen. Baggerslib kan namelijk diverse samenstellingen hebben. De standaard samenstelling bestaat uit klei en organische stof (Waterschap Brabantse Delta, 2024), maar in de Rotterdamse Haven kan het ook uit zand bestaan. Bij landwinning voor de haven is namelijk zand opgespoten (Rijkswaterstaat, 2024). Ondanks deze keuze kan het toch zijn dat de bevindingen van dit onderzoek niet van toepassing zijn op de bodem van het toekomstige fieldlab, vanwege verschillen in bodemsamenstelling.

Daarnaast zijn planten in de wetenschappelijke onderzoeken getest in ex-situproeven, voor een korte tijd gemonitord en meestal bij een bodem met één soort verontreiniging of niet met alle verontreinigingen uit dit onderzoek samen. Zo gaf het driejarige onderzoek van Zgorelec et al. (2020)

aan dat olifantsgras pas in het tweede jaar effectief verontreinigingen kan opnemen. In het onderzoek van bijvoorbeeld Manzoor et al. (2020) werden de planten na 21 dagen al geoogst en onderzocht. De resultaten op lange termijn konden hierbij niet worden onderzocht. In het onderzoek van Sun et al. (2011) is aangetoond dat planten op een bodem met een enkelvoudige verontreiniging meestal meer kunnen opnemen dan op een bodem met een meervoudige verontreiniging. Omdat de soort verontreiniging, de concentratie en de bodemsamenstelling een grote invloed hebben op de effectiviteit en tolerantie van planten, beïnvloedt dit de betrouwbaarheid van de uitkomsten van de MCA.

De criteria voor 'standplaatsfactoren' en 'bereikbaarheid van de planten' zijn gebaseerd op de meest optimale omstandigheden waarin planten kunnen groeien. In dit verslag is duidelijk dat de planten op een verontreinigde bodem worden geplant. Uit de meeste resultaten in de inventarisatie blijkt dat de planten negatief worden beïnvloed door de verontreinigingen. Zo nemen de wortel- en scheutlengte af en tasten morfotoxicologische symptomen de algehele gezondheid van de plant aan. Hierdoor neemt ook het vermogen voor fytoremediatie af. Vooral de bereikbaarheid van de planten in combinatie met de opname van verontreinigingen kan anders uitvallen in de praktijk. De betrouwbaarheid van de rangschikking van de planten in dit onderzoek wordt hierdoor beïnvloed.

De verwerkbaarheid van de planten is gebaseerd op de grenswaarden voor zware metalen in producten. Van de 37 producten zijn voor zeventien producten geen specifieke grenswaarden gevonden. Het kan zijn dat specifieke producten in een andere categorie zijn ingedeeld en daarom niet gevonden zijn bij de uitvoering van dit onderzoek. Daarnaast gaf het bedrijf TAUW aan dat er nog geen specifieke wetgeving bestaat op dit gebied en dat de beste verwerkingsmanier tot nu toe verbranden is (Van der Veen, persoonlijke communicatie, 2024). De afwezigheid van wetgeving maakt het lastig om een goede rangschikking van de planten op te stellen en een goede uitspraak te doen over het verwerken van de planten.

7. Conclusie

Tijdens het literatuuronderzoek stond de hoofdvraag 'Welke planten kunnen worden ingezet bij het verminderen van verontreinigingen in baggerdepots in Zuid-Holland en voor welke toepassingen kunnen de vezels van de planten nog worden gebruikt?' centraal. Aan de hand van deze vraag is een lijst opgesteld met de meest geschikte planten voor fyto-remediatie van zware metalen en de verwerking van de vezels in duurzame producten.

Planten die kunnen worden ingezet voor een natuurlijke sanering van een bodem met zware metalen zijn: gewone zonnebloem, pluimhortensia, tuingeranium, zwarte els, zwarte populier, katwilg, pijlriet, olifantsgras, koolzaad, hennep, luzerne, grote weegbree en witte mosterd. In totaal kunnen deze planten de zware metalen arseen, cadmium, chroom, koper, lood, mangaan, nikkel en zink opnemen uit de bodem door middel van fyto-extractie of de verdere verspreiding ervan beperken door middel van fytostabilisatie.

De invloed van de zware metalen op de planten uitte zich in een groeiachterstand en een verminderde biomassa in vergelijking met de controlegroep. Ook zijn tekenen van chlorose en andere morfotoxicologische symptomen waargenomen. Deze effecten zijn het gevolg van een negatieve invloed op het vermogen voor fotosynthese. Hierdoor kan de plant minder energie aanmaken die nodig is om de plant gezond te houden. Bij de grote weegbree en pluimhortensia zijn geen negatieve effecten waargenomen.

De optimale bodemomstandigheden voor fyto-remediatie zijn een lagere pH-waarde, CEC en redoxpotentiaal en veel beschikbare nutriënten voor de planten. Bij een lagere pH-waarde kunnen meer H^+ -ionen aanwezig zijn die zich aan de bodemdelen kunnen binden, zodat de verontreinigingen meer vrijkomen en beschikbaar zijn voor planten. Bij een lagere CEC is er een kleiner oppervlak waaraan de positief geladen zware metalen kunnen hechten, waardoor ze meer beschikbaar zijn voor de planten. Bij goede voeding voor de planten kunnen ze zich beter ontwikkelen en hebben een hogere stresstolerantie. Bij een lager redoxpotentiaal worden zware metalen omgezet in de geoxideerde vorm, waardoor plantenwortels ze beter kunnen opnemen.

De vezels van de dertien planten kunnen in bezems, bioplastic, bouwmaterialen, gereedschapsstelen, glansmiddel, hengels, isolatiematerialen, kisten, klompen, kunstharsen, leerbehandelingen, meubels, papier, perslijsten, plaatmateriaal, schuttingen en schermen, schoensmeer, smeerolie, spaanplaat, speelgoed, triplex, tuinversiering, verf, verpakkingen, wandelstokken en zaaghout worden verwerkt.

Regels voor grenswaarden van zware metalen worden op Europees niveau opgesteld. Voor specifieke producten waarvoor geen grenswaarde wordt gegeven, blijft altijd een zorgplicht gelden vanuit de Warenwet Algemene Productveiligheid. Dit houdt in dat producenten ervoor moeten zorgen dat de hoeveelheid schadelijke stoffen in producten beperkt blijft. De Rijksoverheid adviseert hiervoor om onderzoek te doen naar de mogelijke schadelijke effecten van een nieuwe soort stof die wordt verwerkt in producten.

Met de conclusies op de deelvragen en de analyse uit de MCA kan worden vastgesteld wat de meest geschikte plant van de dertien planten is om in te zetten voor fyto-remediatie en het verwerken van de vezels in nieuwe producten. De plant die hiervoor het meest geschikt is, is de zwarte els (*Alnus glutinosa*). Deze plant kan worden ingezet in een bodem met cadmium, chroom, koper, lood en zink. Na de oogst zou het hout van de plant verwerkt kunnen worden in bezems, bouwmaterialen, kisten, meubels, perslijsten, speelgoed en triplex.

8. Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek worden aanbevelingen gegeven voor een eventueel vervolgonderzoek en de implementatie van de hoofdvraag/onderzoeksopzet.

8.1 Aanbevelingen voor het vervolgonderzoek

Aan de hand van de discussiepunten wordt de aanbeveling gegeven om vóór het verder selecteren van geschikte plantensoorten een locatie aan te wijzen, zodat de geologische, biochemische en hydrologische omstandigheden in kaart kunnen worden gebracht. Deze omstandigheden kunnen veel invloed hebben op de planten en de beschikbaarheid van de verontreiniging.

Daarnaast wordt aanbevolen om een overzicht te maken van de bestemming van de grond, de eigenaren, gebruikers en andere belanghebbenden. Hierdoor kan de juiste plant worden gekozen in combinatie met de andere gebruiksdoelen van het perceel.

Zoals in de discussie is aangegeven, missen er nog een aantal gegevens voor de veldproef. De aanbeveling hiervoor is om de volgende aanvullende eigenschappen van de plant te inventariseren:

- De concentratie die de plant uit de bodem kan halen;
- De concentratie in de verschillende delen van de plant;
- De translocatiefactor en de bioaccumulatiefactor;
- De groeisnelheid, biomassa, scheuthoogte, aantal scheuten/takken en hoeveelheid bladeren en/of bloemen ten opzichte van de controlegroep; en
- De tolerantie van de plant en de nadelige gevolgen van de verontreiniging op de plant.

Voor het onderzoeken van de kenmerken van de planten wordt aanbevolen om een deskundige op het gebied van fytoremediatie aan te stellen.

Voor specifieke producten zijn geen grenswaarden opgesteld. Wel blijft altijd een zorgplicht gelden om de nadelige gevolgen van gevaarlijke stoffen te beperken. Daarom is het goed om de producten, waarin vezels van de planten uit het toekomstige fieldlab zijn verwerkt, te laten onderzoeken op de aanwezigheid en hoeveelheid van zware metalen die vrijkomen bij gebruik. Dit is tevens een vereiste van de Rijksoverheid, zodat de veiligheid van consumentenproducten gegarandeerd kan worden (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, 2016).

8.2 Aanbevelingen voor de implementatie van de hoofdvraag/onderzoeksopzet

De eerste aanbeveling is om een analysemethode te gebruiken waarin zowel kwalitatieve als kwantitatieve gegevens gecombineerd en vergeleken kunnen worden. Op deze manier kan een totaalplaatje van elke plant worden gemaakt die helpt bij de rangschikking van de planten.

De tweede aanbeveling is om een begroting te maken van de kosten die komen kijken bij het uitvoeren van het project. De kosten zouden ook een criterium kunnen zijn, omdat ze invloed kunnen hebben op de plantkeuze.

Bibliografie

- Adesodun, J. K., Atayese, M. O., Agbaje, T. A., Osadiaye, B. A., Mafe, O. F., & Soretire, A. A. (2010). Phytoremediation Potentials of Sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for Metals in Soils Contaminated with Zinc and Lead Nitrates. *Water, Air, and Soil Pollution*, 207(1-4), 195–201. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11270-009-0128-3>
- Agriculture and rural development. (n.d.). Hennepproductie in de EU. Website van Hennepproductie in de EU. Geraadpleegd op 22 november 2024, van https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/hemp_nl
- Alaboudi, K. A., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Science*, 63(1), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.05.007>
- Algreen, M., Trapp, S., & Rein, A. (2014). Phytoscreening and phytoextraction of heavy metals at Danish polluted sites using willow and poplar trees. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(15), 8992–9001. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11356-013-2085-z>
- Atma, W., Larouci, M., Meddah, B., Benabdeli, K., & Sonnet, P. (2017). Evaluation of the phytoremediation potential of *Arundo donax* L. for nickel-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 19(4), 377–386. <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2016.1225291>
- Baecke, F. (2019). *Teelthandleiding Miscanthus Giganteus (Olifantsgras)*. <https://growingagreenfuture.eu/wp-content/uploads/2020/05/Teelthandleiding-Miscanthus-Giganteus-Olifantsgras.pdf>
- Besluit (EU) 2016/1332. (2016, juli 28). Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32016D1332>
- Besluit activiteiten leefomgeving. (2024, 1 januari). Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330/2024-10-26>
- Bioclear Earth. (n.d.). 'Zuiverend groen in de stad': inzetten fyto remediatie ter verbetering van grondwaterkwaliteit. Website van Bioclear Earth. Geraadpleegd op 23 januari 2025, van <https://bioclearearth.nl/projecten/zuiverend-groen-in-de-stad-inzetten-fyto remediatie-ter-verbetering-van-grondwaterkwaliteit>
- BNNVARA. (2014, 18 april). Zwarte populier. Website van BNNVARA. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.bnnvara.nl/vroege vogels/artikelen/zwarte-populier>
- Bollen, D. (2016). *Fyto remediatie van ¹³⁷Cs uit waterig milieu: Lemna minor, Pistia stratiotes, Eichhornia crassipes en Helianthus annuus* [Onderzoek naar de mogelijkheid om planten te gebruiken voor de verwijdering van radiocesium uit water]. Thomas More Kempen hogeschool. Geraadpleegd op 9 september 2024, van <https://roma.sckcen.be/ws/portafiles/porta/1966762/21022976-Fyto remediatie%2520van%2520137Cs%2520uit%2520waterig%2520milieu.pdf>

- Bomenbezorgd. (n.d.). *Zwarte els (Alnus glutinosa)*. Website van Bomenbezorgd. Geraadpleegd op 13 december 2024, van <https://bomenbezorgd.nl/laanbomen/overige-laanbomen/zwarte-els>
- Bomenenzo. (n.d.). *Wilg*. Website van Bomenenzo. Geraadpleegd op 5 december 2024, van <https://www.bomenenzo.nl/wilg>
- Bomenstichting. (n.d.). *Populier*. Website van Bomenstichting. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.bomenstichting.nl/infotheek-en-faq/informatie-over-bomen/populier.html>
- b-Tree. (n.d.). *Chlorose bij bomen*. Website van b-Tree. Geraadpleegd op 18 oktober 2024, van <https://b-tree.be/boombeheer/inspectie-bomen-vta-controle-mta-controle/chlorose/>
- Castiglione, S., Todeschini, V., Franchin, C., Torrigiani, P., Gastaldi, D., Cicatelli, A., Rinaudo, C., Berta, G., Biondi, S., & Lingua, G. (2009). Clonal differences in survival capacity, copper and zinc accumulation, and correlation with leaf polyamine levels in poplar: A large-scale field trial on heavily polluted soil. *Environmental Pollution* (1987), 157(7), 2108–2117. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.02.011>
- CIR. (2022, 28 september). *Giant Reed*. Center of Invasive Species Research. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://cirs.ucr.edu/invasive-species/giant-reed>
- Cruydt Hoeck. (n.d.). *Zonnebloem - Helianthus annuus*. Website van Cruydt Hoeck. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.cruydt hoeck.nl/zonnebloem-helianthus-annuus>
- DealIn.Green. (n.d.). *Home*. Website van DealIn.Green. Geraadpleegd op 9 oktober 2024, van <https://dealin.green/nl>
- De Betekenis Fabriek. (2023, 11 september). *De betekenis van PPM*. Website van De Betekenis Fabriek. Geraadpleegd op 22 oktober 2024, van <https://debetekenisfabriek.com/ppm-betekenis/>
- De Blauwe Route. (2023, 25 januari). *Havenslib veranderen van afvalstroom naar grondstof*. Website van De Blauwe Route. Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://blauweroute.nl/projecten/havenslib-veranderen-van-afvalstroom-naar-grondstof/>
- De Vries, G. (2012, 29 oktober). *Witte mosterd [illustratie]*. Website van Stichting Observation International en lokale partners. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://waarneming.nl/species/7469/>
- Delphy BV. (2019, november). *Miscanthus als onkruidonderdrukking: Alternatieve onkruidonderdrukking met een mulchlaag van miscanthus* (Rapport). Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.biobasedgarden.nl/wp-content/uploads/2020/05/BC-miscanthus-als-onkruidonderdrukker.pdf>
- Demidchik, V., Straltsova D., Medvedev, S. S., Pozhvanov, G. A., Sokolik A., & Yurin, V. (2014, maart). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment, *Journal of Experimental Botany*, 65(5), 1259–1270, <https://doi.org/10.1093/jxb/eru004>
- Díaz, A. M., Forján, R., Gallego, J. R., Benavente-Hidalgo, L., Menéndez-Aguado, J. M., & Baragaño, D. (2024). Nanoscale zero-valent iron mitigates arsenic mobilization and accumulation in *Sinapis alba* grown on a metal(lloid)-polluted soil treated with a dunite mining waste-compost amendment. *Plant and Soil*, 497(1-2), 241–255. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05879-x>

- Dijkstra, K. (2001). *Grote weegbree en Getande weegbree - Plantago major*. Website van Wilde planten in Nederland en België. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://www.wilde-planten.nl/groteweegbree.htm>
- Directplant. (2022, 9 november). *Geranium verzorging: snoeien, stekken en overwinteren*. Website van Directplant. Geraadpleegd op 13 november 2024, van <https://www.directplant.nl/tuintips/geranium-verzorging/>
- DLF. (n.d.). *Luzerne*. Website van DLF. Geraadpleegd op 11 november 2024, van <https://dlf.nl/veehouderij/onze-zaden/luzerne#:~:text=Betere%20droogtetolerantie,betrouwbare%20bron%20van%20ruwvoer%20blijft>
- Dolling, P., & Revell, C. (2018, 2 oktober). *Lucerne - the plant and its establishment*. Website van Department of Primary Industries and Regional Development. Geraadpleegd op 20 november 2024, van <https://www.agric.wa.gov.au/pasture-establishment/lucerne-plant-and-its-establishment>
- Drinkwaterplatform. (2021, 8 november). *Bodemverontreiniging en grondwater, de stand van zaken*. Website van Drinkwaterplatform. Geraadpleegd op 9 oktober 2024, van <https://www.drinkwaterplatform.nl/themas/verontreiniging/bodemverontreiniging-en-grondwater-stand-zaken/>
- Dun Argo Hemp Group. (2023, 16 november). *Producten*. Website van Dun Argo Hemp Group. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://dunagrohempgroup.nl/producten/>
- Dutch bulbs. (n.d.). *Het planten van geraniums: Instructies voor beginners en gevorderde tuiniers*. Website van Dutch bulbs. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://mijn-geranium.nl/blog/het-planten-van-geraniums-instructies-voor-beginners-en-gevorderde-tuiniers1/>
- EcoFlora. (n.d.). *Katwilg - Salix viminalis*. Website van EcoFlora. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.ecoflora.be/nl-nl/d/product-detail/17483-salix-viminalis/>
- Ecopedia. (n.d.). *Grote weegbree: Plantago major*. Website van Ecopedia. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.ecopedia.be/planten/grote-weegbree>
- Ecostyle. (2023, 29 juli). *Wat betekenen de letters NPK op een verpakking meststof?* Website van Ecostyle. Geraadpleegd op 24 oktober 2024, van <https://ecostyle.nl/blogs/inspiratie/npk-meststof>
- Ehsan, S., Ali, S., Noreen, S., Mahmood, K., Farid, M., Ishaque, W., Shakoor, M. B., & Rizwan, M. (2014). Citric acid assisted phytoremediation of cadmium by Brassica napus L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.007>
- Ekoland. (2021, 20 september). *Biosector zoekt naar alternatieven voor (biologisch) stro: Miscanthus kansrijke teelt voor stalstrooisel*. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.ekoland.nl/artikel/561025-miscanthus-kansrijke-teelt-voor-stalstrooisel/>
- El-Mahrouk, E. M., Eisa, E. A. E., Ali, H. M., Hegazy, M. A. E., & Abd El-Gayed, M. E. (2020). Populus nigra as a phytoremediator for Cd, Cu, and Pb in contaminated soil. *Bioresources*, 15(1), 869–893. <https://10.15376/biores.15.1.869-893>

- Emis. (n.d.a). *Concept Aanbrengen van planten ten behoeve van fytoextractie, fytostabilisatie of rhizodegradatie*. Website van Emis. Geraadpleegd op 10 januari 2025, van <https://emis.vito.be/nl/node/347>
- Emis. (n.d.b). *Fytoremediatie*. Website van Emis. Geraadpleegd op 12 november 2024, van <https://emis.vito.be/nl/tools/waboss/technieken/fytoremediatie>
- Encyclo. (2024). *Betekenenissen en definities*. Website van Encyclo. Geraadpleegd op 5 september 2024, van <https://www.encyclo.nl/>
- Encyclo. (n.d.). *Kosmopoliet definities*. Website van Encyclo. Geraadpleegd op 11 november 2024, van <https://www.encyclo.nl/begrip/kosmopoliet>
- Eurofins. (2022a, 17 september). *CEC-bezetting kan vaak beter*. Website van Eurofins. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/cec-bezetting-bodemvruchtbaarheid>
- Eurofins. (2022b, 29 maart). *Ijzer in de tuinbouw*. Website van Eurofins. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://www.eurofins-horti.com/nl-nl/ijzer-in-de-tuinbouw>
- Europese Commissie. (n.d.). *Productveiligheid en etikettering in de EU*. Website van de Europese Commissie. Geraadpleegd op 16 januari 2025, van https://commission.europa.eu/business-economy-euro/doing-business-eu/eu-product-safety-and-labelling_nl
- Fir0002. (2009, 21 augustus). *Sunflower (Sunfola variety) against a blue sky. Taken in Victoria, Australia* [illustratie]. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnebloem>
- Flora van Nederland. (n.d.a). *Grote weegbree - Plantago major s. major*. Website van Flora van Nederland. Geraadpleegd op 11 november 2024, van https://www.floravannederland.nl/planten/grote_weegbree
- Flora van Nederland. (n.d.b). *Luzerne - Medicago sativa*. Website van Flora van Nederland. Geraadpleegd op 11 november 2024, van <https://www.floravannederland.nl/planten/luzerne>
- Forte, J., & Mutiti, S. (2017). Phytoremediation Potential of Helianthus annuus and Hydrangea paniculata in Copper and Lead-Contaminated Soil. *Water Air Soil Pollution*, 228, 77. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11270-017-3249-0>
- Freepik. (2018, 17 december). *Arundo donax* [illustratie]. Website van Freepik. Geraadpleegd op 20 december 2024, van https://www.freepik.com/free-vector/vintage-illustration-bush-cane_3584848.htm
- Galal, T. M., & Shehata, H. S. (2015). Bioaccumulation and translocation of heavy metals by Plantago major L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*, 48, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.013>
- Glatz, L. (2021, 22 augustus). *Tuingeranium* [illustratie]. Website van Pexels. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://www.pexels.com/nl-nl/foto/bloemen-bloemblaadjes-bloeien-bloesem-9328406/>
- Greenfingersonline. (2024, 22 oktober). *Hydrangea paniculata / pluimhortensia*. Website van Greenfingersonline. Geraadpleegd op 13 november 2024, van <https://greenfingersonline.nl/hydrangea-paniculata-pluimhortensia/>

- Groei & Bloei Noord-Limburg. (n.d.). *Bollen, knollen en wortelstokken*. Website van Groei & Bloei Noord-Limburg. Geraadpleegd op 31 oktober 2024, van <https://noord-limburg.groei.nl/groeninfo/bollen-knollen-en-wortelstokken-1>
- Groen, M. (2022, 26 september). *Bodemsamenstelling* [PowerPointpresentatie]. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://moodle.inholland.nl/course/view.php?id=22838#section-6>
- Groenefingertjes. (2024, 10 maart). *Een knotwilg stekken wanneer en hoe doe je dat?* Website van Groenefingertjes. Geraadpleegd op 5 december 2024, van <https://groenefingertjes.nl/buiten/struiken/knotwilg-stekken-wanneer-en-hoe/>
- GroenRijk. (n.d.). *Reuzenriet*. Website van GroenRijk. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.groenrijk.nl/plantengids/plant/vaste-plant/arundo-donax>
- Gul, I., Manzoor, M., Ahmad, I., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2023). Phytoaccumulation of cadmium by *Pelargonium × hortorum* — tolerance and metal recovery. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(12), 32673–32682. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24485-5>
- Haardhout. (n.d.). *Elzenhout*. Website van Haardhout. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.haardhout.nl/houtsoort-elzenhout>
- Hajzler, M., Klimešová, J., & Štěda, T. (2011). Biomass production of white mustard (*Sinapis alba* L.) varieties in relation to the root system size. *Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft*, 62, 105 – 108. https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Tagungen/Saatzuechtertagung/Saatzuechtertagung_2011/2s_2012_hajzler.pdf
- Handboek Bodem en Bemesting. (2024, 25 oktober). *CEC bezetting Ca/Mg/K*. Website van Handboek Bodem en Bemesting. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/ingangen/handeling/ph-en-bekalking/cec-bezetting-camgk.htm>
- He, H., Wu, M., Su, R., Zhang, Z., Chang, C., Peng, Q., Dong, Z., Pang, J., & Lambers, H. (2021). Strong phosphorus (P)-zinc (Zn) interactions in a calcareous soil-alfalfa system suggest that rational P fertilization should be considered for Zn biofortification on Zn-deficient soils and phytoremediation of Zn-contaminated soils. *Plant and Soil*, 461(1-2), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04793-w>
- Hoogheemraadschap van Delfland. (n.d.). *Baggeren*. Website van Hoogheemraadschap van Delfland. Geraadpleegd op 31 oktober 2024, van <https://www.hhdelfland.nl/ontdek-werk/onderhoud/baggeren/>
- Horse Pure. (2024, 10 december). *Bio-Ron | Zaaigoed | Luzerne (Medicago Sativa)*. Website van Horse Pure. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://purehorse.nl/product/bio-ron-zaaigoed-luzerne-medicago-sativa/>
- Hortus Alkmaar. (2024a, 3 mei). *Cannabis sativa | hennep | zaden*. Website van Hortus Alkmaar. Geraadpleegd op 11 november 2024, van <https://www.hortusalkmaar.nl/product/cannabis-sativa-hennep-zaden/>

- Alkmaar. (2024b, 3 mei). *Sinapis alba* | witte mosterd | zaden. Website van Hortus Alkmaar. Geraadpleegd op 6 december 2024, van <https://www.hortusalkmaar.nl/product/sinapis-alba-witte-mosterd-zaden/>
- Houtinfo. (n.d.). *Houtsoort: Elzen*. Website van Houtinfo. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.houtinfo.nl/node/277>
- Houtverf. (2023, 23 september). *De veelzijdigheid van Populier: Gebruik en Eigenschappen*. Website van Houtverf. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://houtverf.nl/de-veelzijdigheid-van-populier-gebruik-en-eigenschappen/>
- Hovenier. (n.d.). *Pluimhortensia*. Website van Hovenier. Geraadpleegd op 5 december 2024, van <https://www.hovenier.nl/planten/pluimhortensia>
- Hussain, J., Ullah, F., Hayat, Y., Tabassum, S., Khan, A., Sabeen, M., Mahmood, Q., Irshad, M., & Fareed, I. (2013). Cadmium Phytoremediation by *Arundo donax* L. from Contaminated Soil and Water. *BioMed Research International*, 2013(2013), 1–9. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/324830>
- Interflon. (2022, 11 mei). *Wat zijn foodgrade smeermiddelen?* Website van Interflon. Geraadpleegd op 27 november 2024, van <https://interflon.com/nl/news/wat-zijn-foodgrade-smeermiddelen>
- Jacobson, M., Bobby, L., Hubbard, B., & McDonald, C. (n.d.). *Miscanthus* (*Miscanthus* sp.). Website van Integrated Biomass Supply System. Geraadpleegd op 20 november 2024, van <http://bdss.tennessee.edu/Home/GetFact?cropType=Miscanthus>
- Jakovljević, T., Bubalo, M.C., Orlović, S., Sedak, M., Bilandžić, N., Brozinčević, I., & Radojčić, I. (2014). Adaptive response of poplar (*Populus nigra* L.) after prolonged Cd exposure period. *Environ Sci Pollut Res* 21, 3792–3802. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11356-013-2292-7>
- Jhenning. (2020, 15 mei). *Luzerne* [illustratie]. Website van Pixabay. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://pixabay.com/nl/photos/wilde-bloemen-natuur-bloemen-5166965/>
- Jing, Y. X., Yan, J. L., He, H. D., Yang, D. J., Xiao, L., Zhong, T., Yuan, M., Cai, X. D., & Li, S. B. (2014). Characterization of Bacteria in the Rhizosphere Soils of *Polygonum Pubescens* and Their Potential in Promoting Growth and Cd, Pb, Zn Uptake by *Brassica napus*. *International Journal of Phytoremediation*, 16(4), 321–333. <https://10.1080/15226514.2013.773283>
- Jong, M. (2024, 5 augustus). *Alles over het verzorgen van zonnebloemen*. Website van Tuincentrum Overzicht. Geraadpleegd op 5 december 2024, van <https://www.tuincentrumoverzicht.nl/blogs/alles-over-het-verzorgen-van-zonnebloemen>
- Ju, W., Liu, L., Jin, X., Duan, C., Cui, Y., Wang, J., Ma, D., Zhao, W., Wang, Y., & Fang, L. (2020). Co inoculation effect of plant-growth-promoting rhizobacteria and rhizobium on EDDS assisted phytoremediation of Cu contaminated soils. *Chemosphere (Oxford)*, 254, 126724. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126724>
- Kennisakker. (2003, 7 januari). *Teelthandleiding koolzaad - producten uit koolzaad*. Website van Kennisakker. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://kennisakker.nl/archief-publicaties/teelthandleiding-koolzaad-producten-uit-koolzaad206>

- Keukenplanten. (n.d.a). *Hennep: voorzaaien kweken en oogsten*. Website van Keukenplanten. Geraadpleegd op 16 december 2024 van <https://www.keukenplanten.nl/zaaikalender/hennep>
- Keukenplanten. (n.d.b). *Koolzaad: kweken en oogsten*. Website van Keukenplanten. Geraadpleegd op 13 december 2024, van <https://www.keukenplanten.nl/zaaikalender/koolzaad>
- Keukenplanten. (n.d.c). *Mosterd: zaaien kweken en oogsten*. Website van Keukenplanten. Geraadpleegd op 16 december 2024 van <https://www.keukenplanten.nl/zaaikalender/mosterd>
- Korzeniowska, J., & Stanislawska-Glubiak, E. (2015). Phytoremediation potential of *Miscanthus × giganteus* and *Spartina pectinata* in soil contaminated with heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(15), 11648–11657. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4439-1>
- Koscienly, C. B., & Gulden, R. H. (2012). Seedling root length in *Brassica napus* L. is indicative of seed yield. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(7), 1229-1237. <https://doi.org/10.4141/cjps2012-070>
- Kreuk, H., & Groen, K. (2009). *Stoftransport* [SKB-reader van Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem]. Moodle Hogeschool Inholland. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://moodle.inholland.nl/course/view.php?id=22838#section-5>
- Lamont, J., & Lambrechts, Y. (2005). *Koolzaad, het nieuwe goud?* (Rapport). Ministerie van de Vlaamse gemeenschap. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://edepot.wur.nl/116574>
- Landscape Plants. (n.d.). *Worteldiepte in onverharde grond*. Website van Landscape Plants. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://hort.ifas.ufl.edu/woody/root-growth-depth24.shtml>
- Lang, A., Helgadóttir, D., Kubala, J., & Arntson A. (2021, 25 februari). *Hydrangea Root: Supplements, Uses, and Benefits*. Website van Healthline. Geraadpleegd op 21 november 2024, van <https://www.healthline.com/nutrition/hydrangea-root>
- Lothe, A. G., Hansda, A., & Kumar, V. (2016). Phytoremediation of Copper-Contaminated Soil Using *Helianthus annuus*, *Brassica nigra*, and *Lycopersicon esculentum* Mill.: A Pot Scale Study. *Environmental Quality Management*, 25(4), 63–70. <https://doi.org/10.1002/tqem.21463>
- Magdoff, F., & Es, H. (2023, 17 november). 2.2: *Why Soil Organic Matter is So Important*. Website van LibreTexts libraries. Geraadpleegd op 1 november 2024, van https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Building_Soils_for_Better_Crops_-_Ecological_Management_for_Healthy_Soils_4e_%28Magdoff_and_van_Es%29/02%3A_What_Is_Organic_Matter_and_Why_Is_It_So_Important/2.02%3A_Why_Soil_Organic_Matter_is_So_Important

- Manshadi, M., Ziarati, P., Ahmadi, M., & Fekri, K. (2013). Greenhouse Study of Cadmium and Lead phytoextraction by five Pelargonium spices. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(18), 6650669. https://www.researchgate.net/profile/Parisa-Ziarati/publication/257231241_International_Journal_of_Farming_and_Allied_Sciences_Greenhouse_Study_of_Cadmium_and_Lead_phytoextraction_by_five_Pelargonium_spices/links/00b7d524ad88471df9000000/International-Journal-of-Farming-and-Allied-Sciences-Greenhouse-Study-of-Cadmium-and-Lead-phytoextraction-by-five-Pelargonium-spices.pdf
- Manzoor, M., Gul, I., Manzoor, A., Kamboh, U. R., Hina, K., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2020). Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of Pelargonium species. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(32), 39753–39762. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11356-020-08226-0>
- Mathur, J., & Panwar, R. (2024). Synergistic effect of pyrene and heavy metals (Zn, Pb, and Cd) on phytoremediation potential of Medicago sativa L. (alfalfa) in multi-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(14), 21012–21027. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11356-024-32499-4>
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M., Lesage, E., & Tack, F. M. G. (2005). Potential of Brassica rapa, Cannabis sativa, Helianthus annuus and Zea mays for phytoextraction of heavy metals from calcareous dredged sediment derived soils. *Chemosphere (Oxford)*, 61(4), 561–572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.026>
- Merkus, J. (2021, 8 september). *Semigestructureerd of half-gestructureerd interview | Voorbeeld*. Website van Scribbr. Geraadpleegd op 16 oktober 2024, van <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/semigestructureerd-interview/>
- Milieucentraal. (n.d.). *Bodemverontreiniging: wat is bodemvervuiling?* Website van Milieucentraal. Geraadpleegd op 13 september 2024, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/milieuproblemen/bodemverontreiniging/#vervuilende-stoffen>
- Mitrović, P. M., Stamenković, O. S., Banković-Ilić, I., Djalović, I. G., Nježić, Z. B., Farooq, M., Siddique, K. H. M., & Veljković, V. B. (2020). White Mustard (Sinapis alba L.) Oil in Biodiesel Production: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 11, 299. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00299>
- Multicolora. (2022, 15 juni). *Grote weegbree* [illustratie]. Website van Pixabay. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://pixabay.com/nl/photos/gras-weegbree-weide-natuur-7261539/>
- Natalya Sh. (2024, 22 april). *Pluimhortensia* [illustratie]. Website van Pexels. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://www.pexels.com/nl-nl/foto/vlinder-op-witte-bloem-22064368/>
- Naturitas. (2021, 10 april). *Grote weegbree*. Website van Naturitas. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.naturitas.nl/c/supplementen/fytotherapie/grote-weegbree>
- Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. (2016, 13 december). *De Staat van Productveiligheid* (Rapport 2016). De Staat van productveiligheid. Geraadpleegd op 17 december 2024, van <https://www.nvwa.nl/documenten/consument/consumentenartikelen/non-food/productveiligheid/de-staat-van-productveiligheid-ezine-2016>
- Ngoc Ba, V., Thien, B. N., Phuong, H. T., Thi Hong Loan, T., & Anh, T. T. (2024). Bioconcentration and translocation of elements from soil to vegetables and associated health risk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 132, 106296. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106296>

- Niazi, N. K., Bibi, I., Fatimah, A., Shahid, M., Javed, M. T., Wang, H., Ok, Y. S., Bashir, S., Murtaza, B., Saqib, Z. A., & Shakoor, M. B. (2017). Phosphate-assisted phytoremediation of arsenic by *Brassica napus* and *Brassica juncea*: Morphological and physiological response. *International Journal of Phytoremediation*, 19(7), 670–678.
<http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2016.1278427>
- NickyPe. (2019a, 23 juli). *Hennep* [illustratie]. Website van Pixaby. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://pixabay.com/nl/photos/cannabis-sativa-natuur-bijsnijden-4354389/>
- NickyPe. (2019b, 16 oktober). *Koolzaad* [illustratie]. Website van Pixaby. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://pixabay.com/nl/photos/koolzaad-geel-natuur-veld-4553686/>
- NMZH. (2024). *Twopager miscanthus* (interne two-pager). Natuur en Milieufederatie Zuid-Holland.
- Nodes, A. (2021, 15 september). *Geranium Oil: Uses & Incredible Benefits For Glowing Skin*. Website van Alex Carro. Geraadpleegd op 21 november 2024, van <https://alexcarro.com/blogs/noticias/geranium-oil-uses-incredible-benefits-for-glowing-skin>
- OBN Natuurkennis. (n.d.). *Redoxpotentiaal*. Website van OBN Natuurkennis. Geraadpleegd op 12 november 2024, van https://sleutels.natuurkennis.nl/vennensleutel/?module=article&action=html_by_id&id=50
- Omgevingsdienst Haaglanden. (2021, december). *Tips voor betere houtstook*. Website van Omgevingsdienst Haaglanden. Geraadpleegd op 28 november 2024, van <https://omgevingsdiensthaaglanden.nl/themas/lucht/houtstook-en-overlast/>
- Omgevingsdienst Haaglanden. (2024, 2 januari). *Houtstook en overlast*. Website van Omgevingsdienst Haaglanden. Geraadpleegd op 26 november 2024, van <https://omgevingsdiensthaaglanden.nl/themas/lucht/houtstook-en-overlast/>
- Pelargonium for Europe. (2024, 26 juli). *De wereld van geraniums: hun variëteiten en toepassingen*. Website van Pelargonium for Europe. Geraadpleegd op 21 november 2024, van <https://mijn-geranium.nl/blog/de-wereld-van-geraniums-hun-variëteiten-en-toepassingen/>
- Pelargonium for Europe. (n.d.). *Het planten van geraniums*. Website van Mijn Geranium. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://blog.dutch-bulbs.com/nl/volledege-gids-voor-geranium-groei-verzorgings-en-bewateringstips-voor-tuiniers/>
- Phytofuture. (n.d.). *Phyto planten*. Website van Phytofuture. Geraadpleegd op 2 december 2024, van <https://phytofuture.nl/phytoplanten/>
- Picture This. (n.d.a). *Hoe kweek en verzorg je Koolzaad*. Website van Picture This. Geraadpleegd op 9 december 2024, van https://www.picturethisai.com/nl/care/Brassica_napus.html
- Picture This. (n.d.b). *Hoe kweek en verzorg je Witte mosterd*. Website van Picture This. Geraadpleegd op 6 december 2024, van https://www.picturethisai.com/nl/care/Sinapis_alba.html
- Picture This. (n.d.c). *Pluimhortensia*. Website van Picture This. Geraadpleegd op 16 december 2024, van https://www.picturethisai.com/nl/wiki/Hydrangea_paniculata.html
- Pietrzykowski, M., Woś, B., Tylek, P., Kwaśniewski, D., Juliszewski, T., Walczyk, J., Likus, J., Ochał, W., & Sylwester, T. (2020). Carbon sink potential and allocation in above- and below-ground biomass in willow coppice. *Journal of Forestry Research*, 32. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01089-3>

- Plantabit. (2023, 6 november). *Zonnebloem verzorging, tips en leuke weetjes*. Website van Plantabit. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://plantabit.com/zonnebloem-verzorging/>
- Polspoel, W. (2021, 29 maart). *Beton en energie uit hennep gebruikt voor valoriseren verontreinigde bodems?* Website van Circubuild. Geraadpleegd op 23 januari 2025, van <https://www.circubuild.be/nl/nieuws/beton-en-energie-uit-hennep-gebruikt-voor-valoriseren-verontreinigde-bodems/>
- Populiervanhier. (n.d.). *Aanplant en beheer*. Website van Populiervanhier. Geraadpleegd op 28 oktober 2024, van <https://www.populiervanhier.be/aanplant-en-beheer.html>
- Programmabureau Duurzaam. (2012, 27 november). *BIO Baggerspecieloswallen in Rotterdam e.o.* (Rapport 2007-0353). Ingenieursbureau van Gemeente Rotterdam. Geraadpleegd op 14 oktober 2024, van <https://dcmr.gisinternet.nl/downloads/pdf/26/9999988426.PDF>
- Ralinda R., & Miller, P. G. (1996, oktober). *Phytoremediation: Ground-Water Remediation* (Rapport TO 96-03). Geraadpleegd op 3 oktober 2024, van https://clu-in.org/download/toolkit/phyto_o.pdf
- Ras, N., Roosma, A., & Volkers, B. (2007). *Natuurlijke Afbraak: Het is niet niks!* [SKB-reader van Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem]. Geraadpleegd op 23 december 2024, van <https://soilpedia.nl/wp-content/uploads/Natuurlijke-Afbraak-Het-is-niet-niks.pdf>
- Reed, M. L. E., & Glick, B. R. (2005). Growth of canola (*Brassica napus*) in the presence of plant growth-promoting bacteria and either copper or polycyclic aromatic hydrocarbons. *Canadian Journal of Microbiology*, 51(12), 1061–1069. <https://10.1139/w05-094>
- Richtlijn 94/62/EG. (1994, 20 december). Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=celex%3A31994L0062>
- Richtlijn 2002/32. (2002, 7 mei). Geraadpleegd op 27 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A02002L0032%2D20150227&qid=1485272361077&from=EN>
- Richtlijn 2009/48/EG. (2009, 18 juni). Geraadpleegd op 26 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0048>
- Rijksoverheid. (2023, 28 november). *Wat is REACH?* Website van Rijksoverheid. Geraadpleegd op 28 november 2024, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/gevaarlijke-stoffen/vraag-en-antwoord/wat-is-reach>
- Rijksoverheid. (n.d.). *Natuurlijke verwerkingstechnieken voor baggerspecie, trends en ontwikkelingen m.b.t. biologische reinigingstechnieken*. Website van Rijksoverheid. Geraadpleegd op 15 oktober 2024, van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h5-natuurlijke-technieken/natuurlijke-verwerkingstechnieken-voor-baggerspecie-trends-en-ont9624>

- Rijkswaterstaat. (2000). *Mechanismen van opname, accumulatie en toxiciteit van zware metalen bij uiterwaardenvegetatie* (Rapport 2000.016). Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling. Geraadpleegd op 18 december 2024, van <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@192664/mechanismen-opname-accumulatie/>
- Rijkswaterstaat. (2024, 3 oktober). *Baggeren voor vaargeulonderhoud*. Website van Rijkswaterstaat. Geraadpleegd op 19 december 2024, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/beheer-en-ontwikkeling-rijkswateren/baggeren>
- Rijkswaterstaat. (n.d.). *Baggeren voor vaargeulonderhoud*. Geraadpleegd op 31 oktober 2024, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/beheer-en-ontwikkeling-rijkswateren/baggeren>
- RIVM. (n.d.). *Bodemsaneringstechnieken en beheersmaatregelen*. Website van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-mmk-bodemsanering/proactieve-fase/bodemsaneringstechnieken-beheersmaatregelen>
- Romeh, A. A., Khamis, M. A., & Metwally, S. M. (2016). Potential of *Plantago major* L. for Phytoremediation of Lead-Contaminated Soil and Water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(1), 1–9. <https://doi-org.inholland.idm.oclc.org/10.1007/s11270-015-2687-9>
- Royal Brinkman. (2021, 5 april). *Wat is de rhizosfeer?* Website van Royal Brinkman. Geraadpleegd op 10 januari 2025, van <https://royalbrinkman.nl/kennisbank-gewasverzorging/rhizosfeer>
- RVO. (2024a, 10 oktober). *Warenwet: regels voor consumentenproducten*. Website van Ondernemersplein. Geraadpleegd op 29 november 2024, van <https://ondernemersplein.kvk.nl/warenwet-algemene-regels-voor-consumentenproducten/>
- RVO. (2024b, 21 oktober). *CE-markering in de Europese Unie: regels en richtlijnen*. Website van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 28 november 2024, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/eu-wetgeving/ce-markering>
- RVO. (2024c, 21 oktober). *CE-markering in de EU: verplichte productgroepen*. Website van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 28 november 2024, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/eu-wetgeving/ce-markering/verplichte-productgroepen>
- Sandil, S., & Gowala, N. (2022). Willows: Cost-Effective Tools for Bioremediation of Contaminated Soils. *Advances in Bioremediation and Phytoremediation for Sustainable Soil Management*, 2022, 183-202. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4_12
- Sapje. (n.d.). *Zonnebloemwortel*. Website van Sapje. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://www.sap.je/ingredienten/zonnebloemwortel/>
- Siala. (2017, 14 juni). *Zwarte populier* [illustratie]. Website van Pixabay. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://pixabay.com/nl/photos/populier-boom-vrouwelijk-vruchten-2398915/>
- Soesbergen, G. A. en Lanen, H. A. J. (1992). *De geschiktheid van de bodem van Nederland voor de teelt van Cannabis sativa (Hennep) en Miscanthus sinensis "Giganteus"* (Rapport 1992-236). Landbouw-Economisch Instituut. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://edepot.wur.nl/303291>

- Steketee, J. (2007, juli). *Zware metalen* [SKB-reader van Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem]. Moodle Hogeschool Inholland. Geraadpleegd op 1 november 2024, van <https://moodle.inholland.nl/course/view.php?id=22838#section-5>
- Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem. (2007, juli). SKB Cahier: *Zware metalen*. Geraadpleegd op 27 september 2024.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xu, Y., Wang, L., & Liang, X. (2011). Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo[a]pyrene (B[a]P) and heavy metals using ornamental plant *Tagetes patula*. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 2075–2082. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.116>
- Świątek, B., Woś, B., Gruba, P., & Pietrzykowski, M. (2019). Bioaccumulation of Heavy Metals (Pb, Cd, Cr, Cu) in Fine Roots Under Three Species of Alders (*Alnus* spp.) Plantation at Different Soil Substrates Addition on the Reclaimed Combustion Wastes Landfill. *Water, Air, and Soil Pollution*, 230(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4350-3>
- Takarina, N. D., & Pin, T. G. (2017). Bioconcentration Factor (BCF) and Translocation Factor (TF) of Heavy Metals in Mangrove Trees of Blanakan Fish Farm. *Makara Journal of Science*, 21(2), 77-81. <https://scholarhub.ui.ac.id/science/vol21/iss2/4/>
- Technisch Werken. (2014, 7 februari). *Wat zijn zware metalen en wat wordt met toxische metalen bedoelt?* Website van Technisch Werken. Geraadpleegd op 27 september 2024, van <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-zijn-zware-metalen-en-wat-wordt-met-toxische-metalen-bedoelt/>
- The Exploded View. (n.d.). *Phytosync* [illustratie]. Website van The Exploded View. Geraadpleegd op 20 september 2024, van <https://theexplodedview.com/storybb/phytosync/>
- The Green Cities Europe. (2020, 8 september). *Fytoremediatie? Natuurlijk bodemherstel*. Website van The Green Cities Europe. Geraadpleegd op 17 januari 2025, van <https://nl.thegreencities.eu/fytoremediatie-natuurlijk-bodemherstel/>
- Terentev, P. (2000, 1 januari). *Zwarte els* [illustratie]. Website van Pexels. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://www.pexels.com/nl-nl/foto/hout-natuur-zomer-bos-5908654/>
- Tinypedia. (2023a, 16 oktober). *Populus nigra*. Website van Schrieversworld. Geraadpleegd op 28 oktober 2024, van <https://www.schrieverswold.nl/tinypedia/zwarte-populier/>
- Tinypedia. (2023b, 15 november). *Alnus glutinosa*. Website van Schrieversworld. Geraadpleegd op 13 december 2024, van <https://www.schrieverswold.nl/tinypedia/zwarte-els/>
- Tózsér, D., Horváth, R., Simon, E., & Magura, T. (2023). Heavy metal uptake by plant parts of *Populus* species: a meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(26), 69416–69430. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27244-2>
- Tsjerlinka, V. (2024, 26 september). *Alfalfa kweken: kweektips voor succesvolle landbouw*. Website van EOS Data Analytics. Geraadpleegd op 6 december 2024, van <https://eos.com/blog/growing-alfalfa/>
- Tuğba, F. (2022, 21 juli). *Katwilg* [illustratie]. Website van Pexels. Geraadpleegd op 20 december 2024, van <https://www.pexels.com/nl-nl/foto/groene-plant-in-close-up-fotografie-12949106/>
- Tuinadvies. (n.d.a). *Arundo donax – Pijlriet*. Website van Tuinadvies. Geraadpleegd op 11 november 2024, van <https://www.tuinadvies.nl/plantengids/1173/arundo-donax>

- Tuinadvies. (n.d.b). *Pelargonium x hortorum 'Platinum' – Geranium*. Website van Tuinadvies. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.tuinadvies.nl/plantengids/8674/pelargonium-x-hortorum-platinum>
- Tuinplanten. (n.d.). *Hortensia-wortels - de levenslijnen van de hortensia*. Website van Tuinplanten. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://tuinplanten.wiki/12048/hortensia-wortels-de-levenslijnen-van-de-hortensia>
- Van Aalsburg. (2022, 11 maart). *Wilgen – Houtsoort*. Website van Van Aalsburg. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://www.vanaalsburg.com/over-ons/ambacht/wilgen-houtsoort/>
- Vangronseveld, J., Thewys, T., & Verkleij, J. (2005, 1 februari). Fytoremediatie van metaalverontreinigde Bodems in de Kempen: haalbaar of niet? *Bodem 1*, 21-23. Geraadpleegd op 20 januari 2025, van <https://edepot.wur.nl/649781>
- Van Klaveren plant. (n.d.). *Standplaats en grondsoort voor de hortensia*. Website van Van Klaveren plant. Geraadpleegd op 13 november 2024, van <https://vanklaverenplant.nl/hovenieren/standplaats>
- Vasilache, N., Diacu, E., Cananau, S., Tenea, A. G., & Vasile, G. G. (2023). Evaluation of the Phytoremediation Potential of the *Sinapis alba* Plant Using Extractable Metal Concentrations. *Plants (Basel)*, 12(17), 3123. <https://doi.org/10.3390/plants12173123>
- Verordening 305/2011. (2011, 9 maart). Geraadpleegd op 27 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=celex%3A32011R0305>
- Verordening nr. 1223/2009 betreffende cosmetische producten (herschikking). (2009). Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32009R1223>
- Verordening (EG) nr. 1907/2006. (2006, 18 december). Geraadpleegd op 25 november 2024, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907%2D20220301&qid=1649246934097>
- Voedselbos Emmeloord. (n.d.). *Zwarte els: Alnus glutinosa*. Website van Voedselbos Emmeloord. Geraadpleegd op 16 december 2024, van <https://www.voedselbosemmeloord.nl/zwarte-els/>
- Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., & Li, H. (2024). Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies. *Toxics (Basel)*, 12(1), 63. <https://doi.org/10.3390/toxics12010063>
- Waterschap Brabantse Delta. (2024, 15 februari). *Baggeren*. Website van Waterschap Brabantse Delta. Geraadpleegd op 29 november 2024, van <https://www.brabantsedelta.nl/baggeren>
- Weyens, N., Thijs, S., Dubin, D., Clemmens, M., Geert, K., Eeckhaut, M., Bossche, P., Gestel, G., Bruneel, N., Crauwels, L., & Cathérine, L. (2019, januari). *Fytoremediatie – Code van Goede Praktijk*. (Rapport 2019). OVAM. Geraadpleegd op 18 oktober 2024, van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgs/saneren_5_bodemsanering_fytoremediatie_p_raktijk_www_ovam_be.pdf
- Wikifarmer. (2022, 6 december). *Luzerne – gebruik en algemene informatie – Waar is luzerne goed voor?* Website van Wikifarmer. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://wikifarmer.com/nl/luzerne-gebruik-en-algemene-informatie/>

- Wikifarmerredactie. (2023, 17 januari). *De geschiedenis van zonnebloem*. Website van Wikifarmer. Geraadpleegd op 22 november 2024, van <https://wikifarmer.com/nl/de-geschiedenis-van-zonnebloem/>
- Wilhout. (2024, 12 november). *Wilgentenen*. Website van Wilhout. Geraadpleegd op 22 november 2024, van https://www.wilgentenenschutting.nl/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9IC6BhA3EiwAsbltOC7BLjRCL3K72dCCNezOC9ieqnpigGi2Ry408zsAxA6CsTSpjGKpRhoCxxkQQAvD_BwE
- Willaert. (n.d.). *Arundo donax: pijlriet, mammoetgras, reuzenriet*. Website van Willaert. Geraadpleegd op 11 november 2024, <https://www.willaert.be/nl/plant/arundo-donax/ARDONAX>
- WUR. (n.d.). *Alnus glutinosa*. Website van Wageningen University & Research. Geraadpleegd op 20 november 2024, van <https://images.wur.nl/digital/collection/coll13/id/1364/>
- Zgorelec, Z., Bilandzija, N., Knez, K., Galic, M., & Zuzul, S. (2020). Cadmium and Mercury phytostabilization from soil using *Miscanthus × giganteus*. *Scientific Reports*, 10(1), 6685. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63488-5>
- 123planten. (n.d.). *Geranium verzorging*. Website van 123planten. Geraadpleegd op 29 oktober 2024, van <https://www.123planten.nl/verzorging/tuinplant-geranium>

Bijlagen

Bijlage 1; Grafieken en tabellen van de inventarisatie van planten voor fytoremediatie

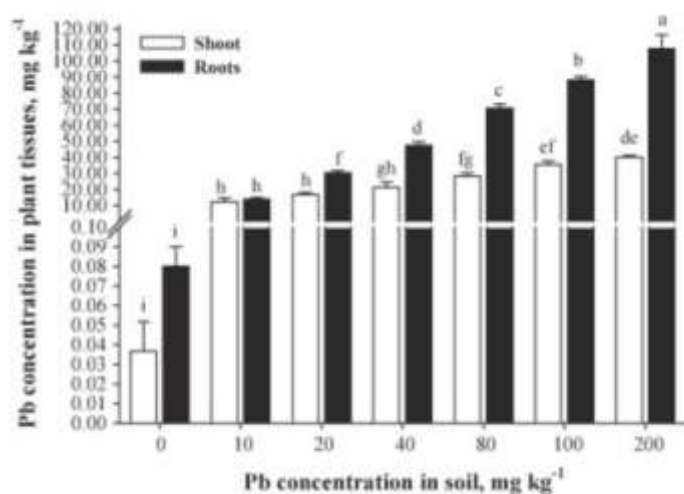
In deze bijlage is een uitgebreide beschrijving te zien van de onderzoeksresultaten met de bijbehorende grafieken en tabellen.

Bloemen

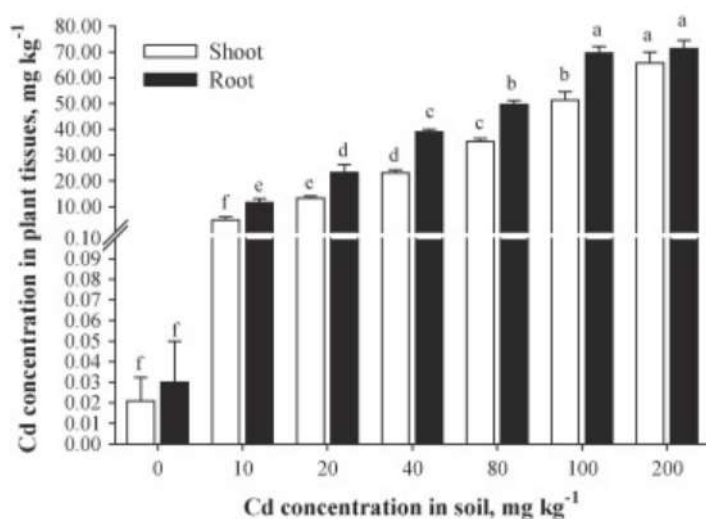
Gewone zonnebloem (*Helianthus annuus*)

Volgens een onderzoek van Alaboudi et al. (2018) kunnen zonnebloemen lood en cadmium opnemen.

Zoals in de figuren 14 en 15 te zien is, konden zonnebloemen bij zowel 100 ppm lood als cadmium in verhouding het meeste opnemen in de plantenvezels. Bij 100 ppm lood was de concentratie in de scheuten namelijk 90 ppm en bij 100 ppm cadmium was de concentratie ongeveer 70 ppm.



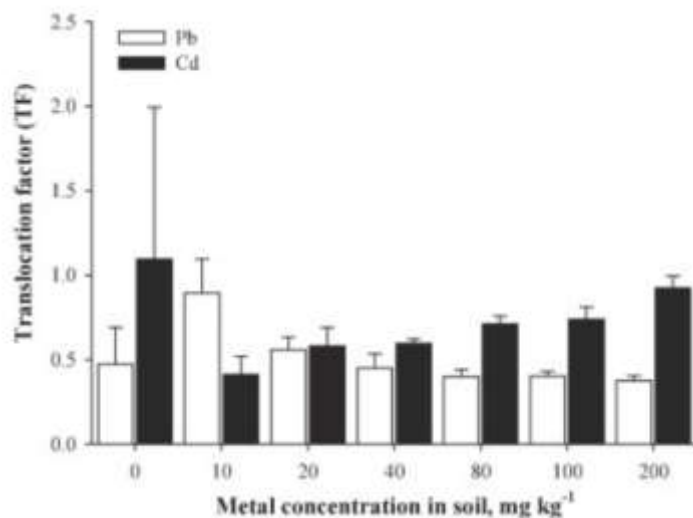
Figuur 14—Loodconcentratie in de scheuten en wortels van zonnebloemen bij verschillende beginconcentraties (Alaboudi et al., 2018)



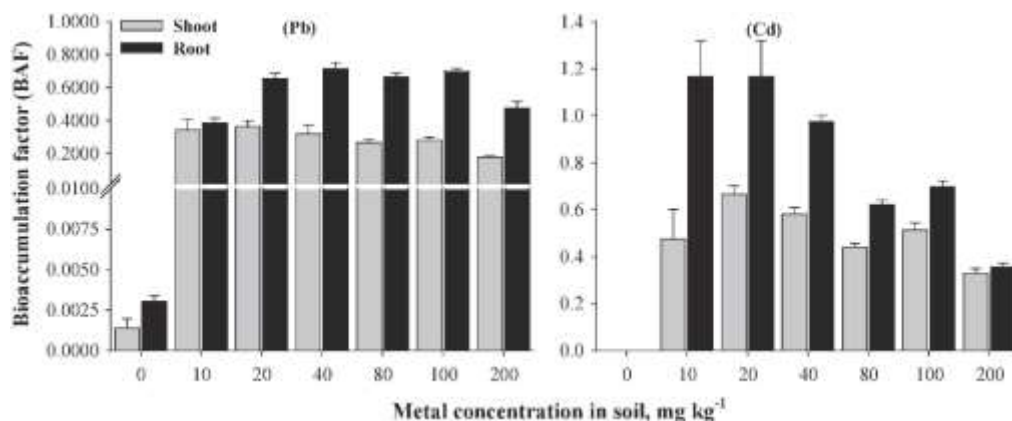
Figuur 15—Cadmiumconcentratie in de scheuten en wortels van de zonnebloem bij verschillende beginconcentraties (Alaboudi et al., 2018)

De translocatiefactor voor cadmium nam alleen maar toe naarmate de verontreinigingsconcentratie hoger werd. De translocatiefactor voor lood was het hoogste bij een concentratie van 10 ppm in de

bodem en was 0,9. Bij de andere beginconcentraties was de translocatiefactor rond de 0,5. De translocatiefactor voor lood en cadmium bij de verschillende beginconcentraties is te zien in figuur 16.



Figuur 16 – Translocatiefactor van zonnebloemen bij lood en cadmium (Alaboudi et al., 2018)



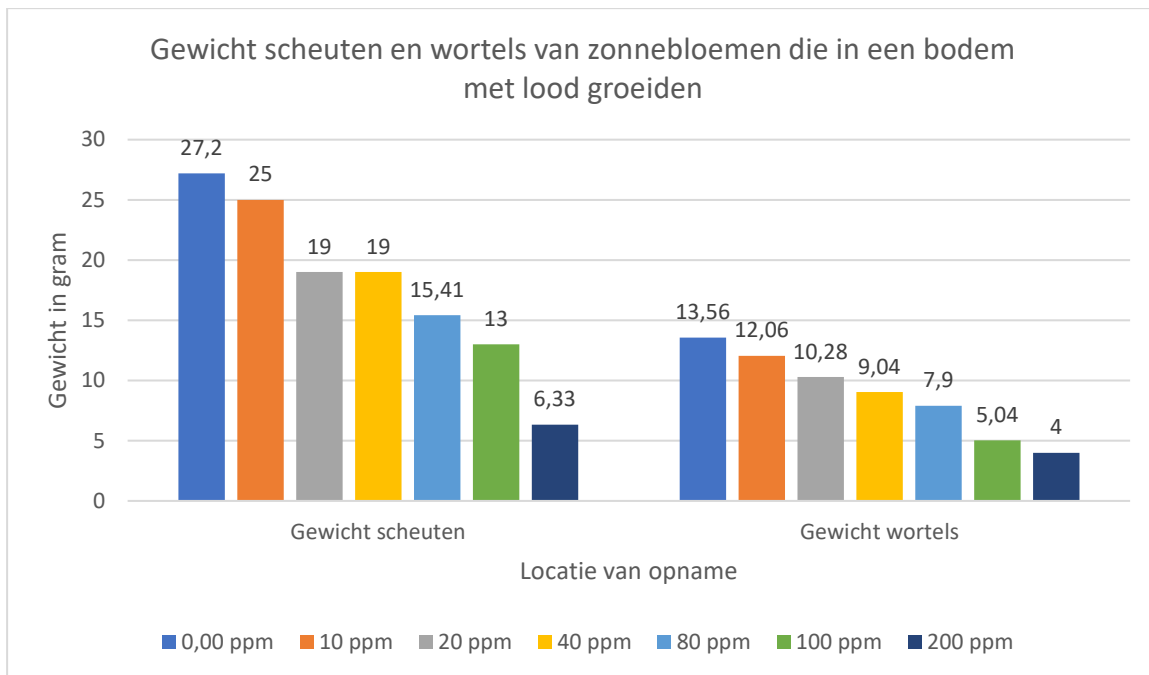
Figuur 17 – Bioaccumulatiefactor van zonnebloem bij lood (links) en cadmium (rechts) (Alaboudi et al., 2018)

Opmerking. De figuren 14 tot en met 17 zijn overgenomen uit het onderzoek van Alaboudi et al. (2018).

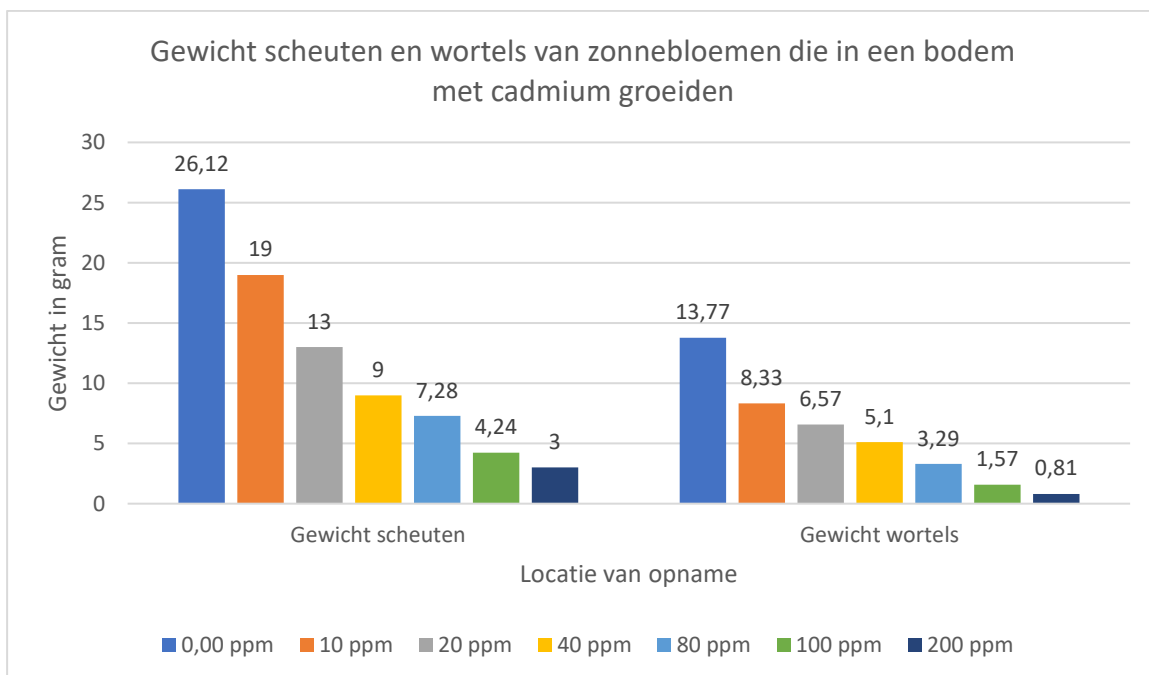
De bioaccumulatie factor voor lood was voor de wortels het hoogste tussen een beginconcentratie van 20 ppm en 100 ppm. Hierbij was de bioaccumulatiefactor ongeveer 0,6.

De bioaccumulatie factor van de wortels voor cadmium was het hoogste bij een beginconcentratie van 10 ppm en 20 ppm. De bioaccumulatiefactor was voor beide beginconcentraties ongeveer 1,2. De bioaccumulatiefactor voor lood en cadmium van de wortels en scheuten is te zien in figuur 17.

Tot een loodconcentratie van 40 ppm konden de bloemen redelijk blijven groeien, zonder grote effecten op het gewicht van de planten bij de oogst. Cadmium had al bij een beginconcentratie van 20 ppm invloed op de groei van de planten. Het gewicht van de wortels en scheuten van de zonnebloemen in vergelijking met de controlegroep bij een loodverontreiniging is te zien in figuur 18 en bij een cadmiumverontreiniging in figuur 19.



Figuur 18 – Gewicht in gram van zonnebloem bij elke beginconcentratie bij een loodverontreiniging (Alaboudi et al., 2018)

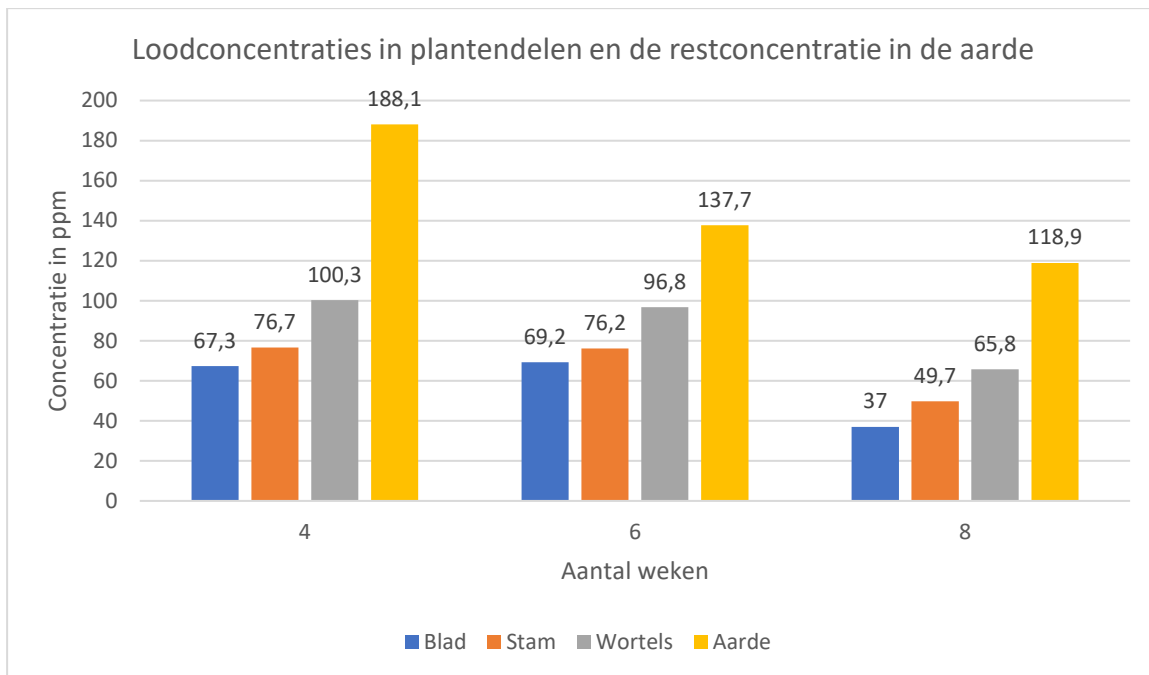


Figuur 19 – Gewicht in gram van zonnebloem op basis van de beginconcentratie bij een cadmiumverontreiniging (Alaboudi et al., 2018)

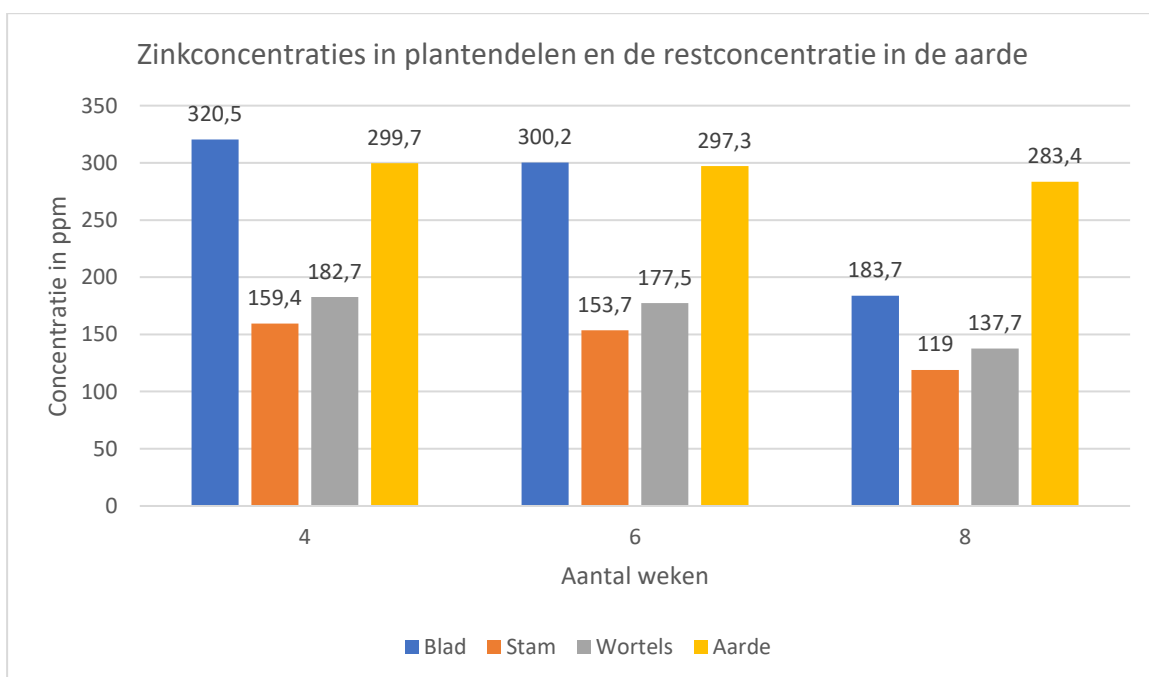
Volgens een onderzoek van Adesodum et al. (2010) kunnen zonnebloemen lood en zink opnemen. In de figuren 20 en 21 is een overzicht te zien van de lood- en zinkconcentraties in de bladeren, de stam en de wortels gedurende het onderzoek. De beginconcentratie van zowel lood als voor zink was 400 ppm.

In figuur 20 is te zien dat zonnebloemen na acht weken 281,1 ppm lood uit de bodem hebben verwijderd. De meest lood was aanwezig in de wortels van de zonnebloemen.

In figuur 21 is te zien dat na acht weken 116,6 ppm zink uit de bodem is verwijderd. De meest zink was aanwezig in de bladeren van de zonnebloemen.

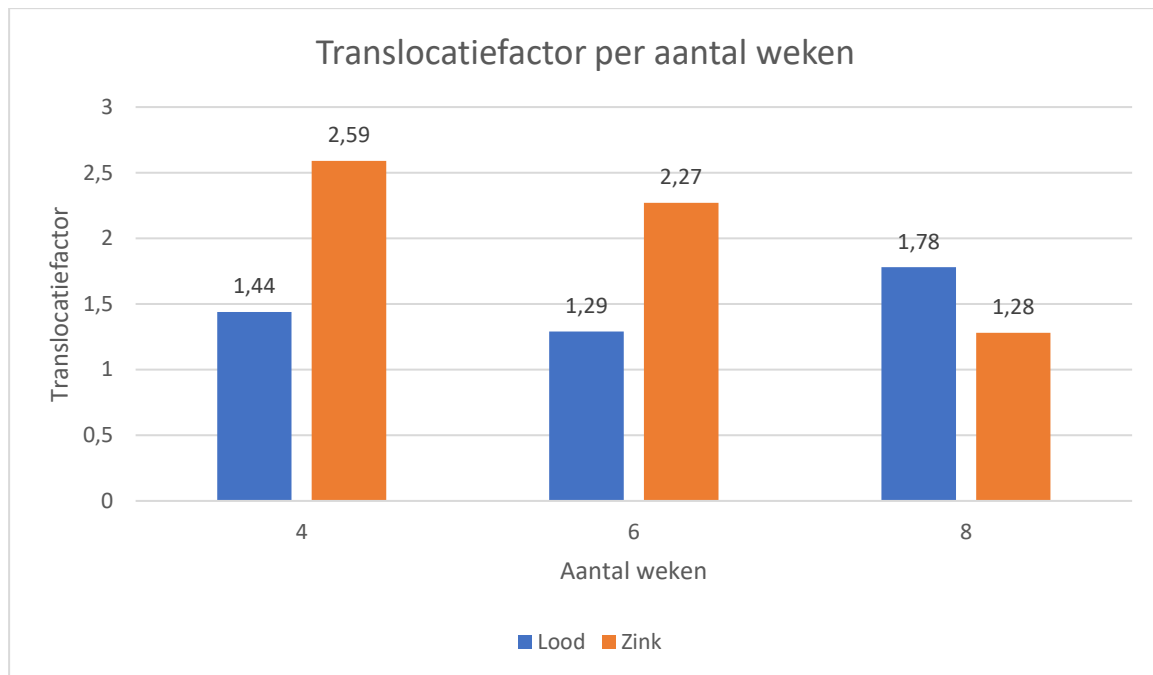


Figuur 20 – Loodconcentraties in stam, blad en wortels van zonnebloemen en de restconcentratie in de aarde (Adesodum et al., 2010)



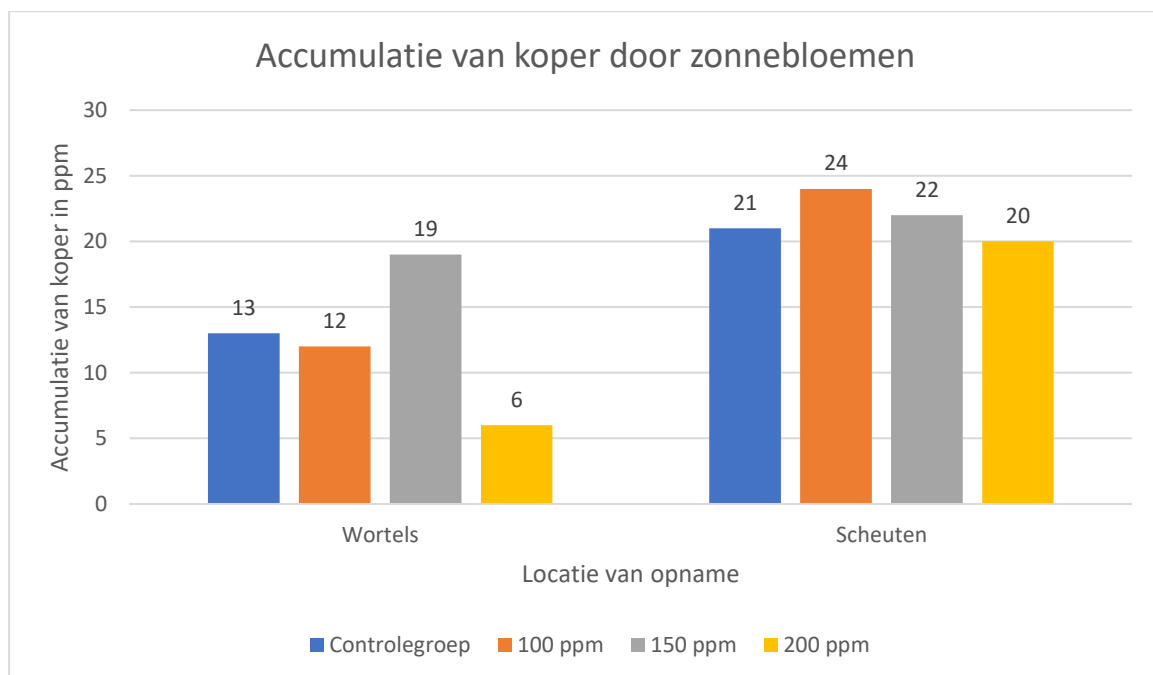
Figuur 21 – Zinkconcentraties in stam, blad en wortels van zonnebloemen en de restconcentratie in de aarde (Adesodum et al., 2010)

In figuur 22 is de translocatiefactor te zien, die net zoals bij het onderzoek van Alaboudi et al. (2018) een waarde van >1 had.



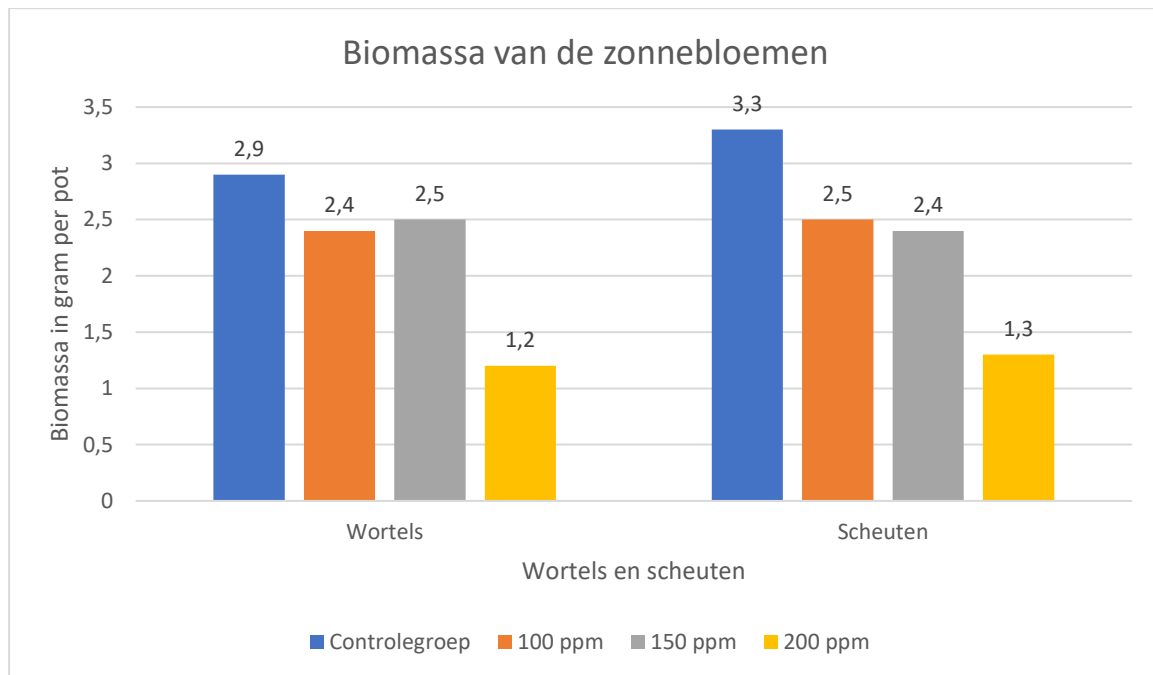
Figuur 22 – Translocatiefactor in week vier, zes en acht (Alaboudi et al., 2018)

Volgens Lothe et al. (2016) kunnen zonnebloemen ook koper opnemen. In figuur 23 is de hoeveelheid koper te zien die in de plant is geaccumuleerd. Figuur 23 geeft aan dat de zonnebloemen koper vooral in de scheuten hebben geaccumuleerd.



Figuur 23 – Accumulatie van koper in de wortels en scheuten van zonnebloemen (Lothe et al., 2016)

In figuur 24 is de biomassa te zien die de zonnebloemen produceerden bij verschillende verontreinigingsconcentraties. In figuur 24 is te zien dat de biomassaopbrengst bij een bodem met een concentratie tot 150 ppm aan koper nog redelijk hoog was. Vanaf een beginconcentratie van 200 ppm aan koper was de opbrengst met meer dan de helft afgenomen in vergelijking met de controlegroep.

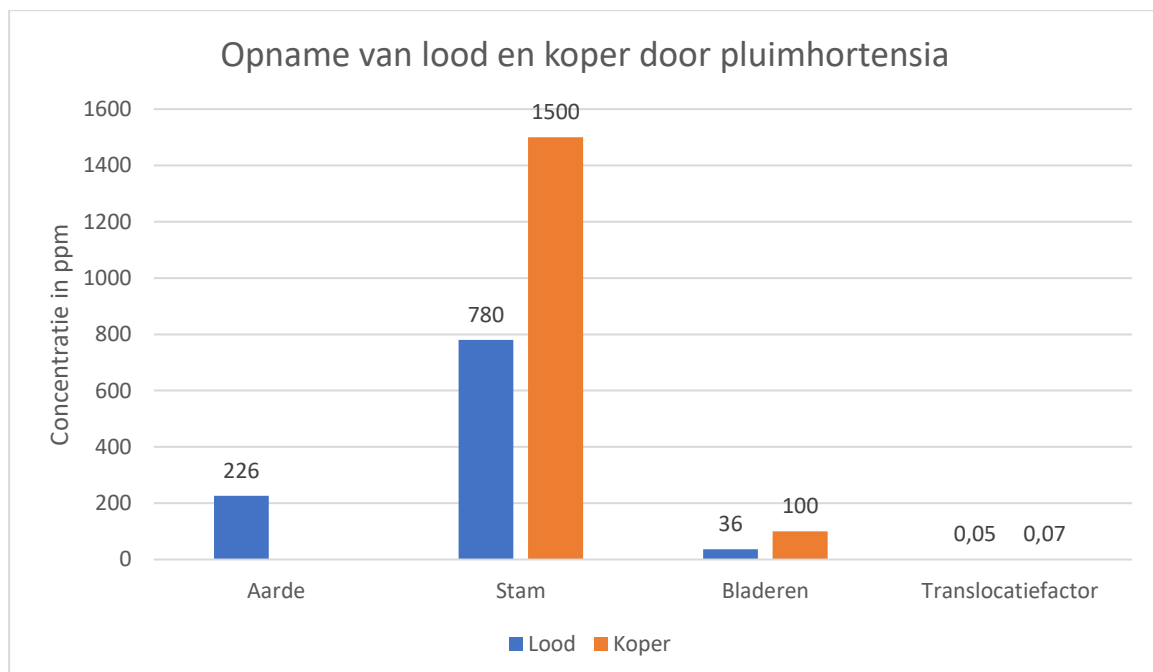


Figuur 24 - Biomassa van de zonnebloemen die groeiden in een bodem met een koperverontreiniging (Lothe et al., 2016)

Volgens de drie onderzoeken slaan zonnebloemen dus meer verontreinigingen op in de stam dan in de wortels of de bladeren. Hierdoor zal er rekening moeten worden gehouden met de verwerking van de zonnebloemvezels in nieuwe producten.

Pluimhortensia (*Hydrangea paniculata*)

Volgens het onderzoek van Forte en Mutiti (2017) kunnen pluimhortensia's lood en koper opnemen.



Figuur 25 – Belangrijkste onderzoeksresultaten van pluimhortensia die groeiden in een bodem met 10.000 ppm aan lood en koper (Forte en Mutiti, 2017)

In figuur 25 is te zien wat de concentratie in de pluimhortensia's was bij een verontreiniging met 10.000 ppm lood en koper. Bij een beginconcentratie van 10.000 ppm lood hebben pluimhortensia's

780 ppm in de stam opgenomen en 36 ppm in de bladeren. Van de 10.000 ppm was aan het eind van de proef nog maar 226 ppm in de bodem overgebleven.

Ook is te zien dat bij een beginconcentratie van 10.000 ppm koper pluimhortensia's 1.500 ppm hebben opgenomen in de stam en 100 ppm in de bladeren.

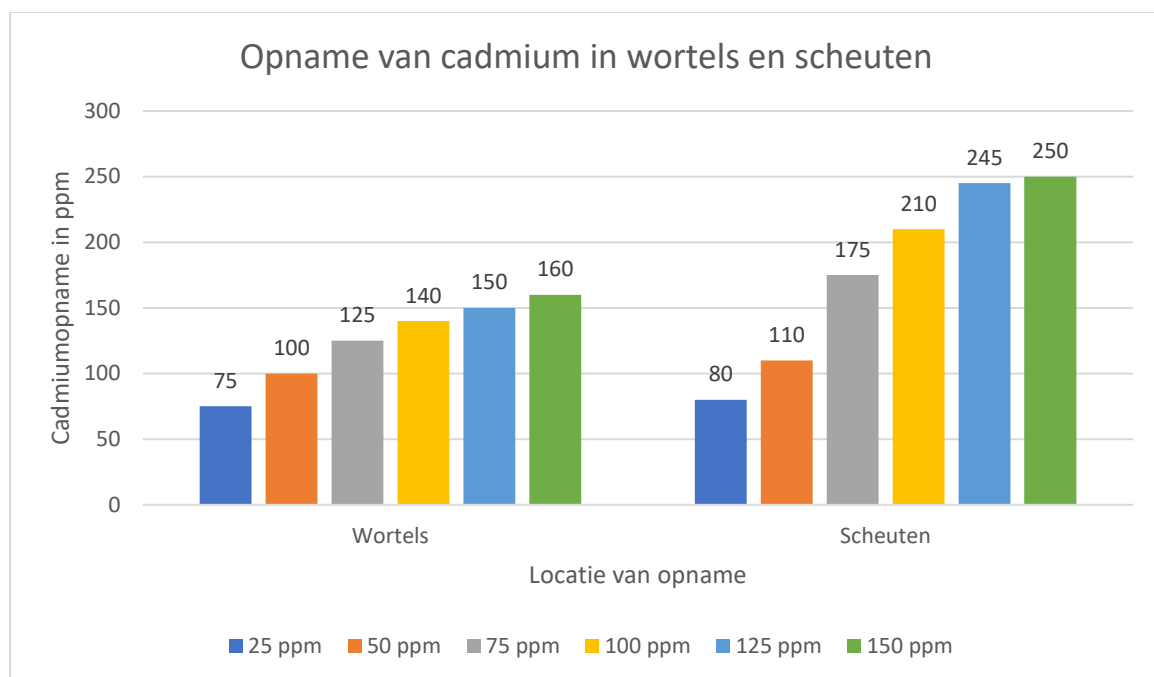
De translocatiefactoren voor zowel koper als voor lood waren erg klein, wat aangeeft dat de verontreiniging bijna niet van de wortels naar de bovengrondse delen werd getransporteerd.

Zoals het onderzoek dus omschrijft, kunnen pluimhortensia's lood en koper opnemen. De resultaten beschrijven de concentratie in de stam en bladeren, maar zeggen niets over de concentratie in de wortels. Door de kleine translocatiefactor kan dus worden geconcludeerd dat de plant nog meer kan opnemen dan uit de resultaten van het onderzoek blijkt. De werkelijke opnamecapaciteit van deze plant kan in het fieldlab verder worden onderzocht.

Wel geeft het onderzoek aan dat pluimhortensia's als hyperaccumulator kunnen worden beschouwd voor lood en koper, omdat de plant boven concentraties van 1.000 ppm verontreinigingen kan blijven opnemen (Forte & Mutiti, 2017).

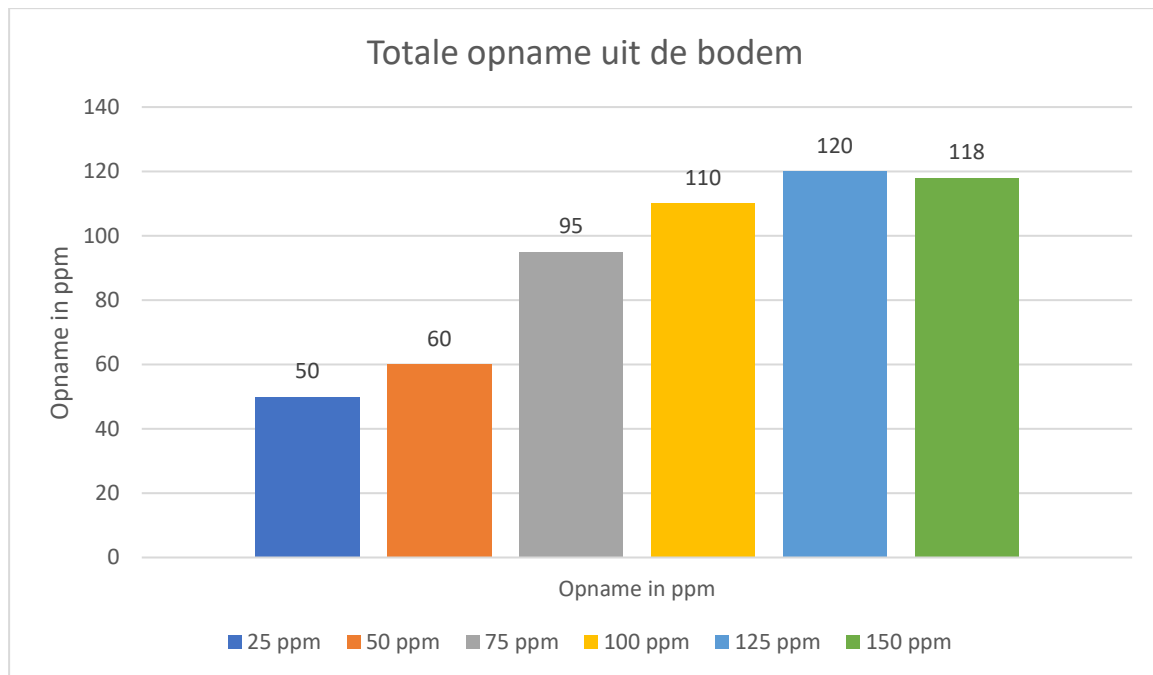
Tuingeraniums (*Pelargonium hortorum*)

Volgens een onderzoek van Gul et al. (2023) kunnen tuingeraniums cadmium opnemen.



Figuur 26 – Belangrijkste resultaten van de opname van cadmium door tuingeraniums (Gul et al., 2023)

In figuur 26 is te zien dat tuingeraniums bij een beginconcentratie van 150 ppm cadmium de verontreiniging nog steeds konden blijven opnemen. Figuur 27, waarin de totale opname van cadmium te zien is, geeft wel aan dat tuingeraniums bij een beginconcentratie van 125 ppm de meeste verontreiniging kan opnemen.



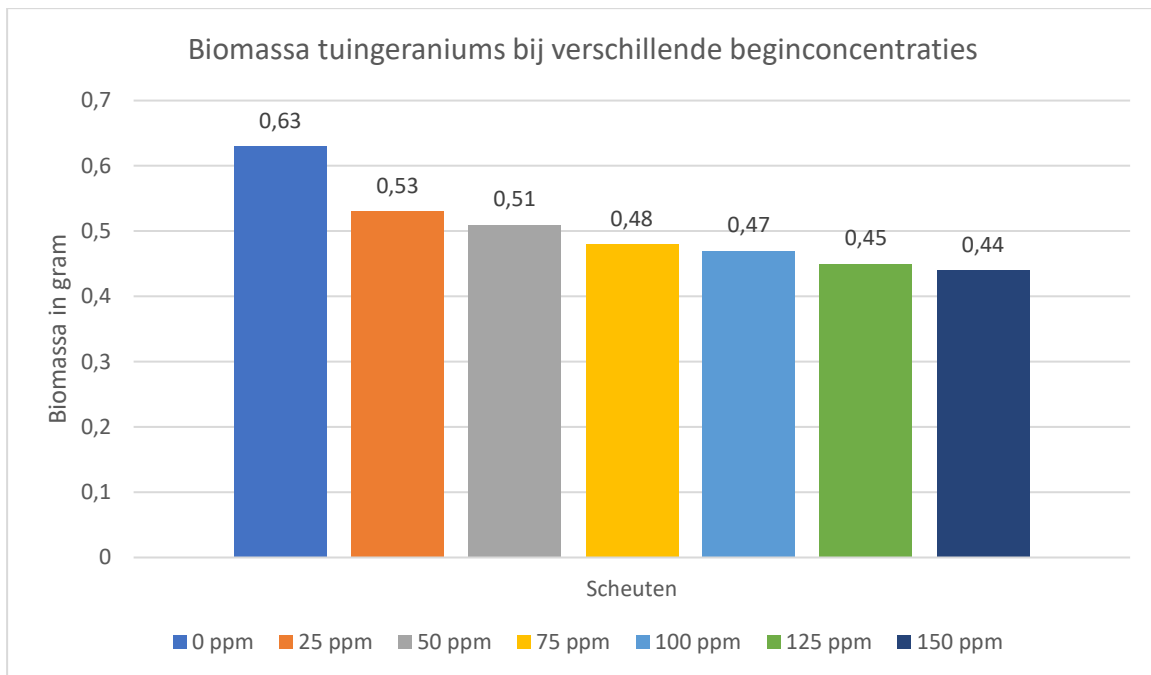
Figuur 27 – Opname van cadmium door tuingeraniums bij verschillende beginconcentraties (Gul et al., 2023)

Tabel 5 – Effectiviteit tuingeraniums bij de opname van cadmium (Gul et al., 2023)

Beginconcentratie in ppm	Bioconcentratiefactor	Translocatiefactor
25	3,1	1,1
50	1,9	1,1
75	1,7	1,5
100	1,4	1,6
125	1,2	1,6
150	1,1	1,6

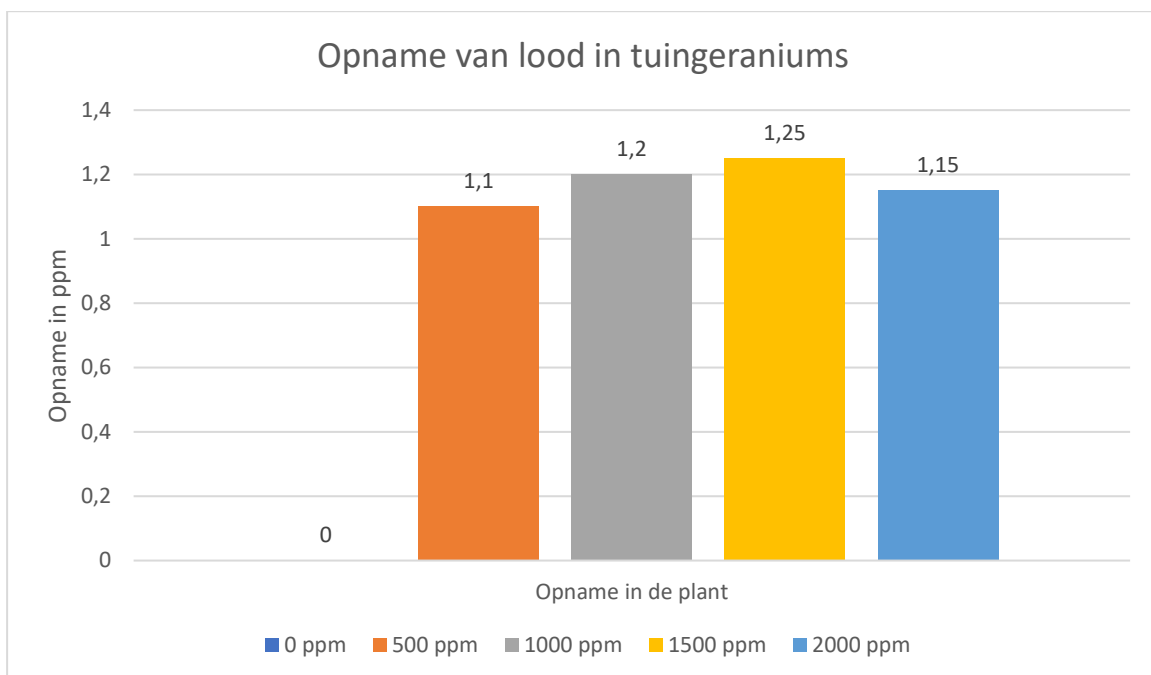
In tabel 5 zijn de bioconcentratiefactor en de translocatiefactor te zien van tuingeraniums bij verschillende beginconcentraties. De bioconcentratiefactor en translocatiefactor van >1 geven aan dat tuingeraniums zeer effectief zijn bij het opnemen van cadmium.

In figuur 28 is te zien dat de biomassa van tuingeraniums zal afnemen naarmate de cadmiumconcentratie hoger wordt.



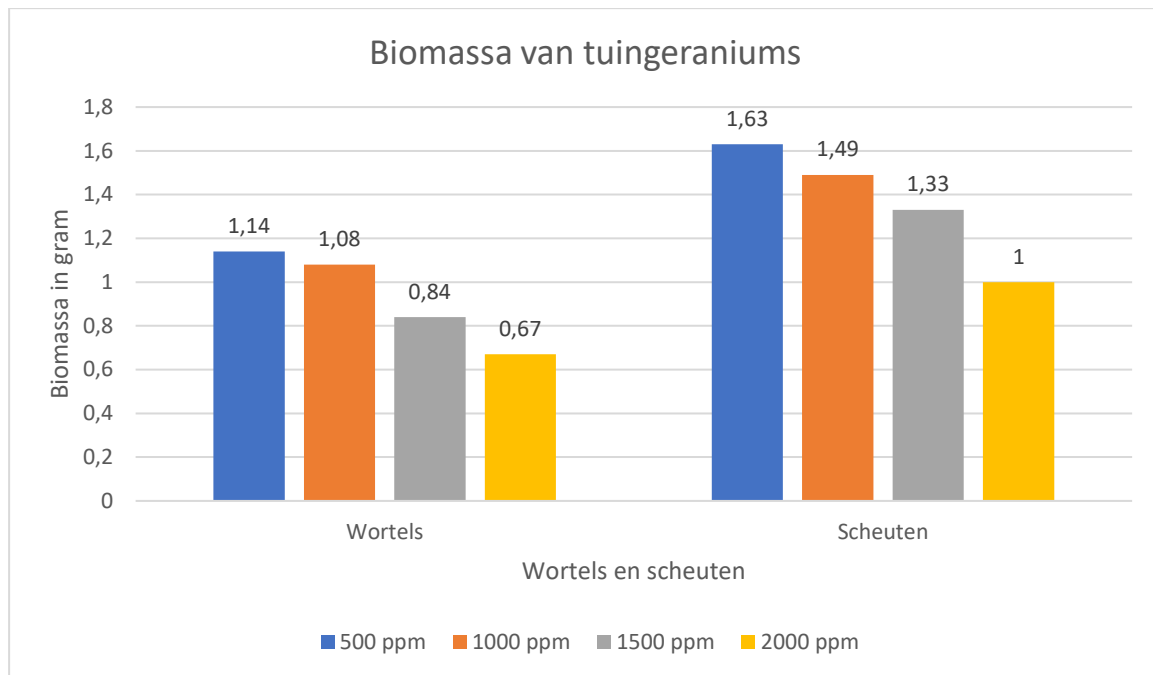
Figuur 28 – Biomassa van tuingeraniums na blootstelling aan diverse cadmiumconcentraties (Gul et al., 2023)

Volgens onderzoek van Manzoor et al. (2020) kunnen tuingeraniums ook lood opnemen. De grafieken in figuur 29 geven echter wel aan dat tuingeraniums bij een hoge beginconcentratie (500 ppm aan lood of hoger) niet veel lood kunnen opnemen.



Figuur 29 – Opname van lood door tuingeraniums bij verschillende beginconcentraties (Manzoor et al., 2020)

In figuur 30 is te zien dat ook bij steeds hoger wordende loodconcentraties de biomassa van tuingeraniums zal afnemen.



Figuur 30 – Biomassa van tuingeraniums bij verschillende loodconcentraties (Manzoor et al., 2020)

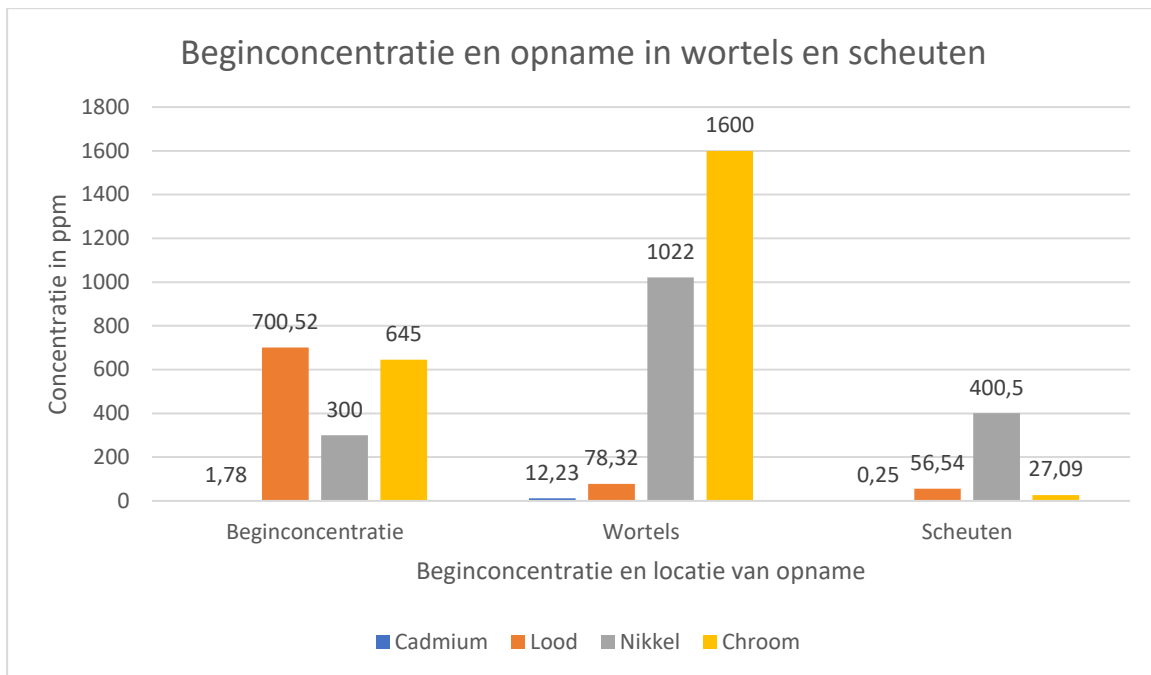
In tabel 6 is de effectiviteit van tuingeraniums te zien.

Tabel 6 – Effectiviteit van tuingeraniums bij lood (Manzoor et al., 2020)

Beginconcentratie in ppm	Translocatiefactor	Bioconcentratiefactor wortels	Bioconcentratiefactor scheuten
500	0,24	1,40	0,32
1.000	0,23	0,86	0,19
1.500	0,23	0,73	0,17
2.000	0,22	0,64	0,14

Door de bioconcentratiefactor van >1 en een translocatiefactor van <1 kunnen deze planten worden aangemerkt als potentiële planten voor fytostabilisatie.

Volgens onderzoek van Manshadi et al. (2013) kunnen tuingeraniums diverse zware metalen opnemen. De planten werden in een bodem met de metalen cadmium, lood, nikkel en chroom gezet. De uitkomst van de testen is te zien in figuur 31.



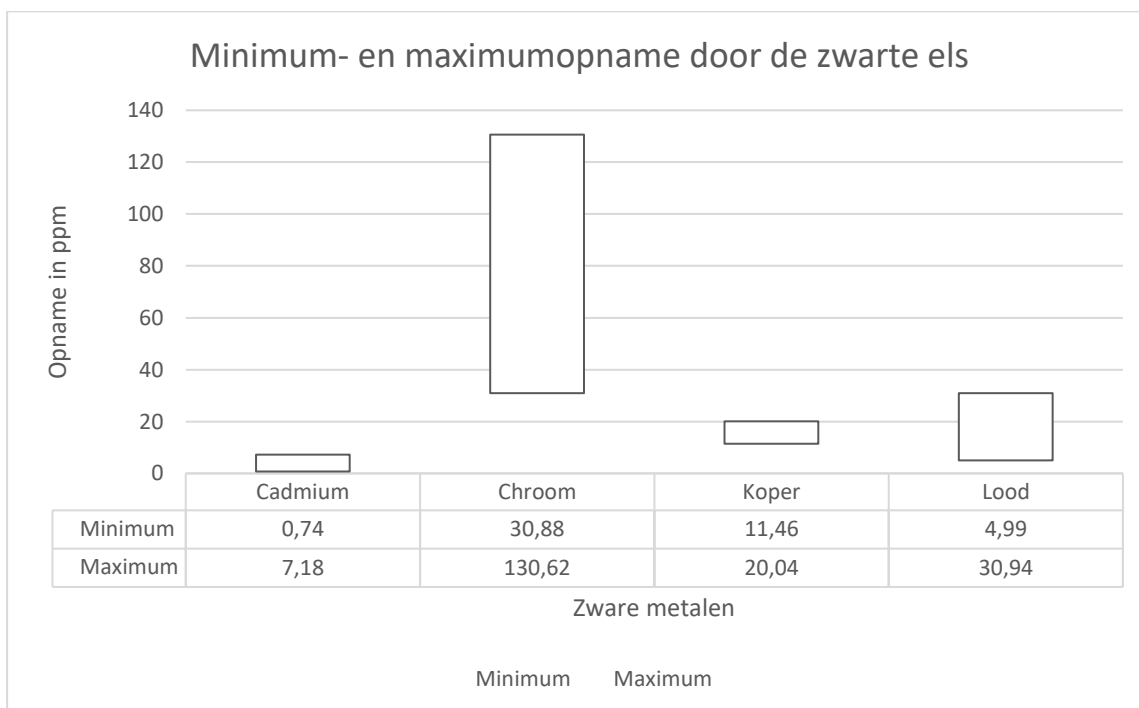
Figuur 31 – Opname cadmium, lood, nikkel en chroom door tuingeraniums (Manshadi et al., 2013)

In tegenstelling tot de resultaten uit het onderzoek van Gul et al. (2023), geeft figuur 31 aan dat deze metalen wel voornamelijk in de wortels werden opgeslagen.

Bomen

Zwarte els (*Alnus glutinosa*)

Volgens onderzoek van Świątek et al. (2019) kan de zwarte els lood, cadmium, chroom en koper opnemen in de wortels. In figuur 32 is te zien dat de zwarte elzen bij het onderzoek maximaal 7,18 ppm cadmium konden opnemen, 130,62 ppm aan chroom, 20,04 ppm aan koper en 30,94 ppm aan lood.



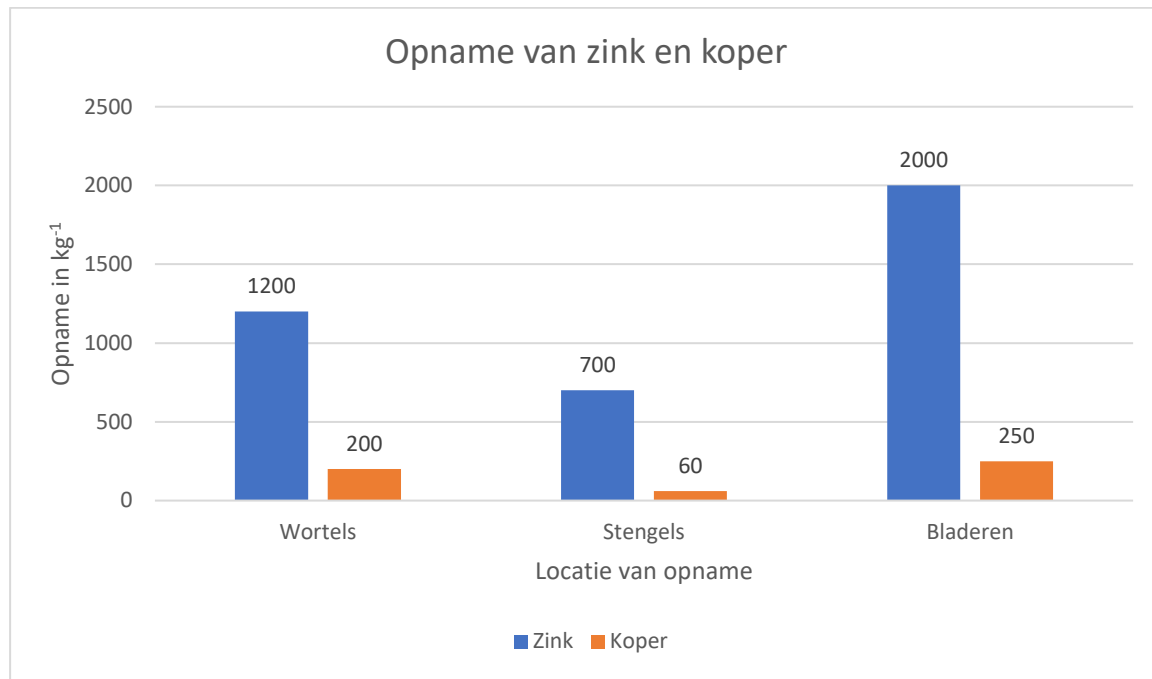
Figuur 32 – Minimum- en maximumopname van cadmium, chroom, koper en lood door zwarte elzen (Świątek et al., 2019)

Het onderzoek toonde aan dat planten in veel proefpercelen een bioaccumulatie-index hadden van ongeveer 2.

Volgens de website van Phytofuture kunnen zwarte elzen ook zink opnemen (Phytofuture, n.d.).

Zwarte populier (*Populus nigra*)

Volgens onderzoek van Castigione et al. (2009) kunnen zwarte populieren zink en koper opnemen.



Figuur 33 – Opname van zink en koper in zwarte populieren (Castigione et al., 2009)

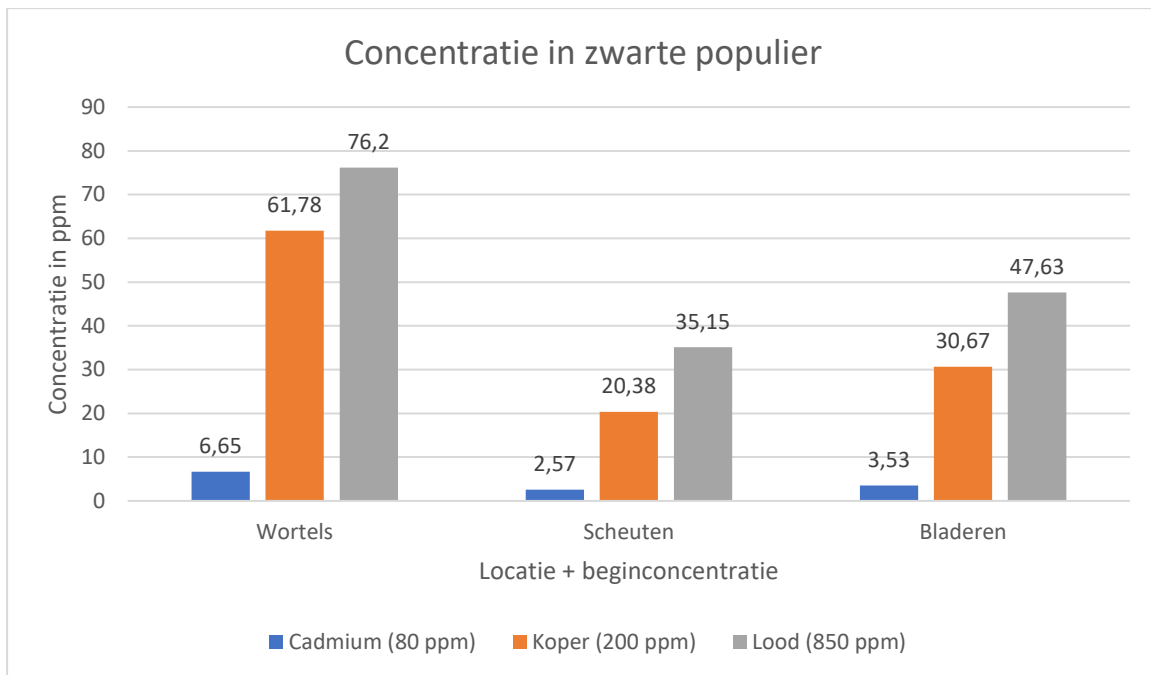
In figuur 33 is te zien dat de populieren in het onderzoek ongeveer 1.200 kg⁻¹ aan zink opnamen in hun wortels, 700 kg⁻¹ in hun stengels en 2.000 kg⁻¹ in hun bladeren. De hoeveelheid aan koper die de plant opnam was 200 kg⁻¹ in de wortels, 60 kg⁻¹ in de stengels en 250 kg⁻¹ in de bladeren.

In tabel 7 is te zien wat de beginconcentraties op verschillende diepten waren voor zink en koper. De gemiddelde concentratie aan zink was 925 ppm en de gemiddelde concentratie aan koper was 1241,33 ppm.

Tabel 7 – Beginconcentraties aan zink en koper (Castigione et al., 2009)

Diepte in cm	Zinkconcentratie in ppm	Koperconcentratie in ppm
0-20	950	1312
21-40	946	1269
41-60	879	1143

Volgens onderzoek van El-Mahrouk et al. (2020) kunnen zwarte populieren ook cadmium, koper en lood opnemen. In figuur 34 is te zien dat zware populieren de meeste zware metalen zullen opslaan in hun wortels. Verder laat figuur 34 zien dat zwarte populieren respectievelijk 6,65 ppm, 61,78 ppm en 76,2 ppm in hun wortels kunnen opnemen. In de scheuten was dit respectievelijk 2,57 ppm, 20,38 ppm en 35,15 ppm en respectievelijk 3,53 ppm, 30,67 ppm en 47,63 ppm in de bladeren. Bij de opname van de drie metalen is te zien dat de verontreiniging voornamelijk in de wortels wordt opgeslagen.

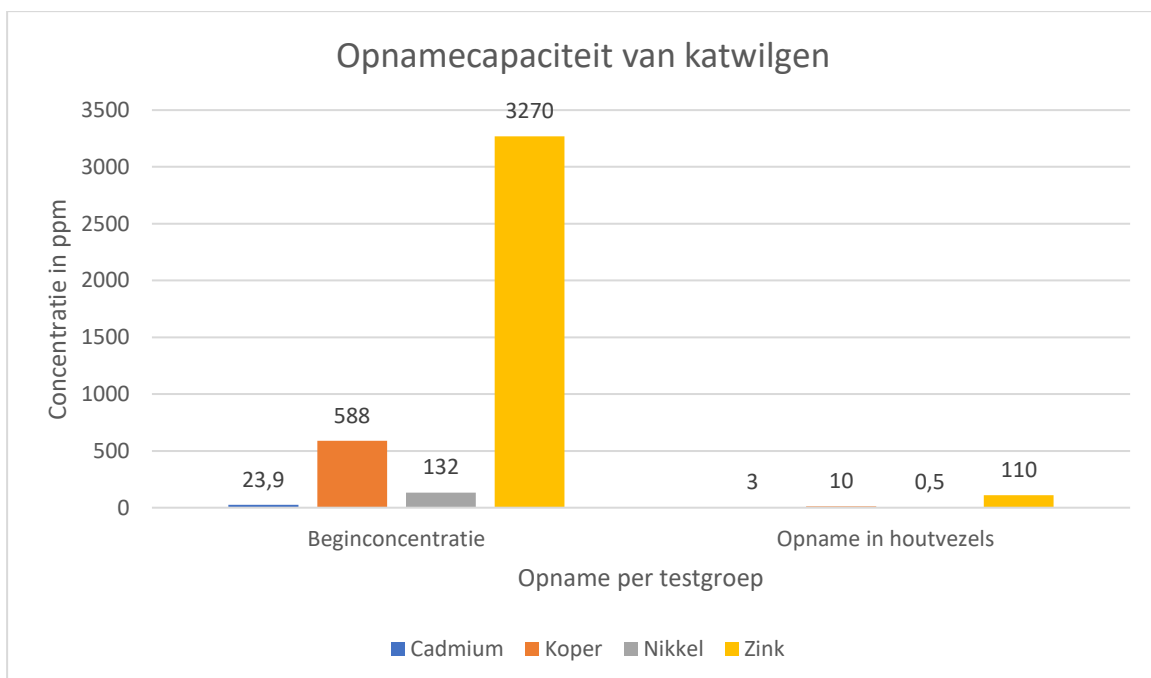


Figuur 34 – Concentratie cadmium, koper en lood in de zwarte populier (El-Mahrouk et al., 2020)

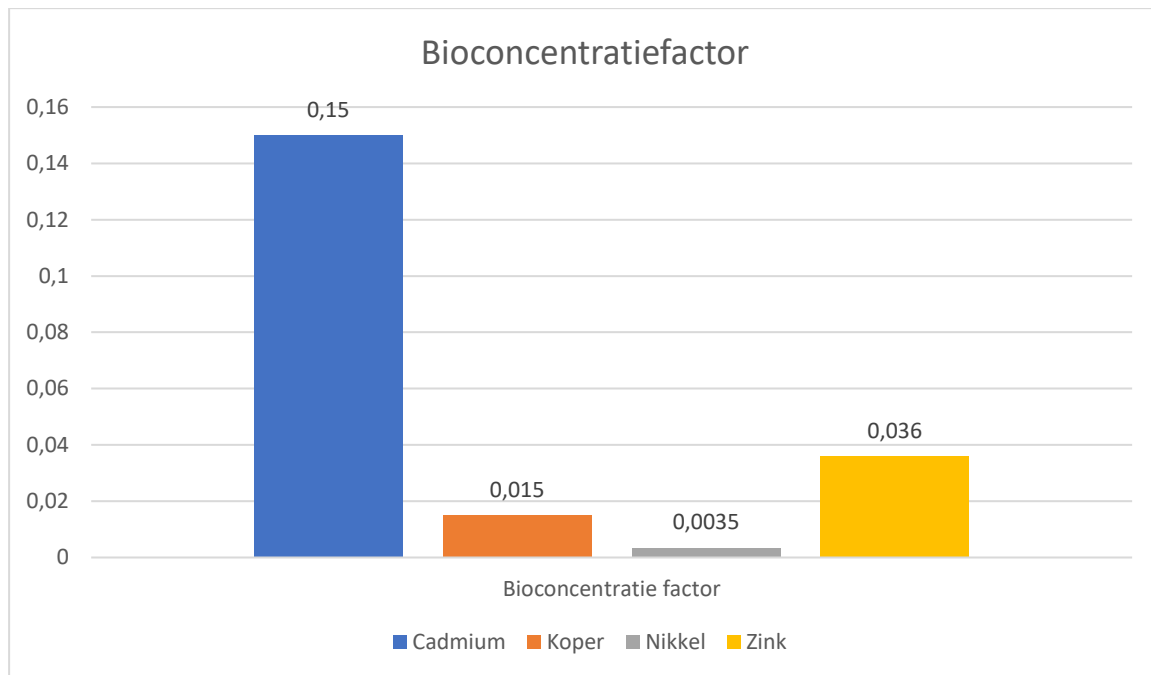
Volgens de meta-analyse van Tózsér et al. (2023) kan de zwarte populier ook de volgende metalen uit de bodem halen: cadmium, zink, koper, mangaan, chroom, nikkel en lood. De resultaten van dit onderzoek geven aan dat populieren met de tijd steeds meer chroom en mangaan kunnen opnemen. De cadmiumopname zal met de tijd juist afnemen.

Katwilg (*Salix viminalis*)

Volgens het onderzoek van Algreen et al. (2014) kunnen katwilgen cadmium, koper, nikkel en zink opnemen. In figuur 35 is te zien dat katwilgen 3 ppm aan cadmium, 10 ppm aan koper, 0,5 ppm aan nikkel en 110 ppm aan zink kunnen opnemen in de houtvezels.



Figuur 35 – Opnamecapaciteit van katwilgen voor cadmium, koper, nikkel en zink (Algreen et al., 2014)



Figuur 36 – Bioconcentratiefactor van katwilgen bij cadmium, koper, nikkel en zink (Algreen et al., 2014)

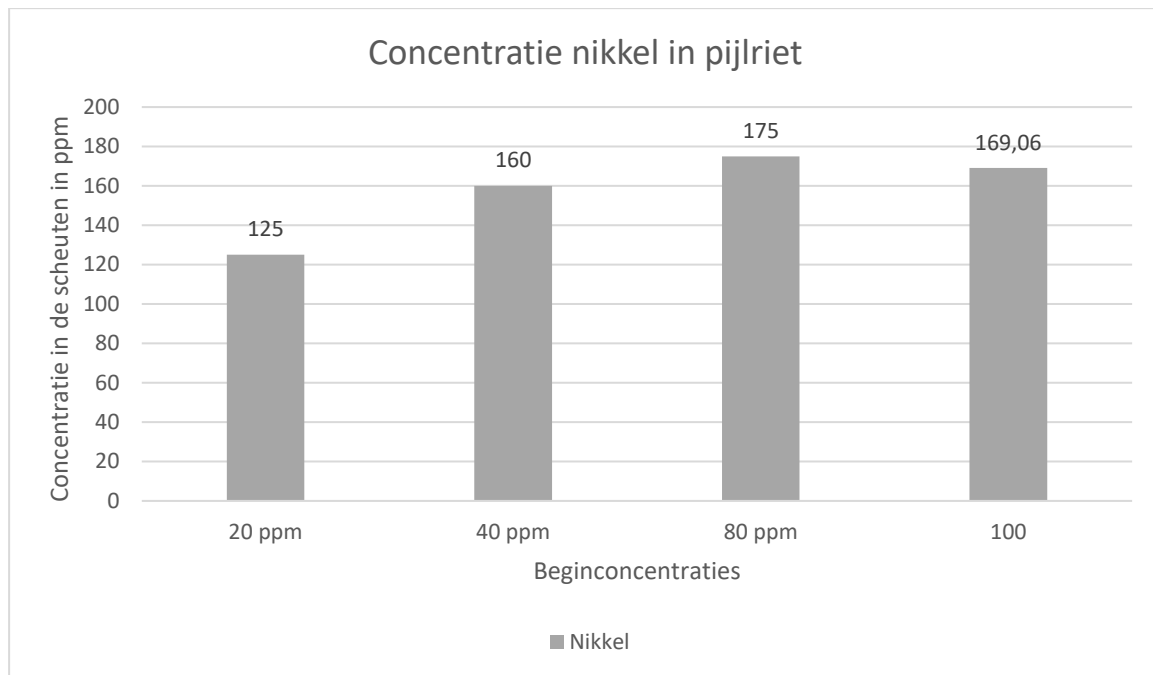
De bioconcentratiefactor bij cadmium was 0,15, bij koper 0,015, bij nikkel 0,0035 en bij zink 0,036, zoals te zien is in figuur 36.

Grassen/riet

Pijlriet (*Arundo donax*)

Volgens onderzoek van Atma et al. (2017) kon pijlriet goed groeien op een bodem verrijkt met nikkel tot een concentratie van 50 ppm.

Bij 50 ppm aan nikkel werden de planten één meter hoog. Dit is ongeveer 50 centimeter hoger dan de lengte van planten in de controlegroep. De hoogste concentratie in de wortels is waargenomen bij een beginconcentratie van 50 ppm en bedroeg 81,81 ppm. De totale concentratie aan nikkel was bij 50 ppm 181,81 ppm in drooggewicht. De andere testgroepen werden geplant in een bodem met 20 ppm nikkel, 40 ppm nikkel, 80 ppm nikkel en 100 ppm nikkel. Bij deze beginconcentraties was de opname in de scheuten respectievelijk 125 ppm, 160 ppm, 175 ppm en 169,06 ppm. Een vergelijking van de concentraties in de vezels van de plant bij verschillende beginconcentraties is te zien in figuur 37.

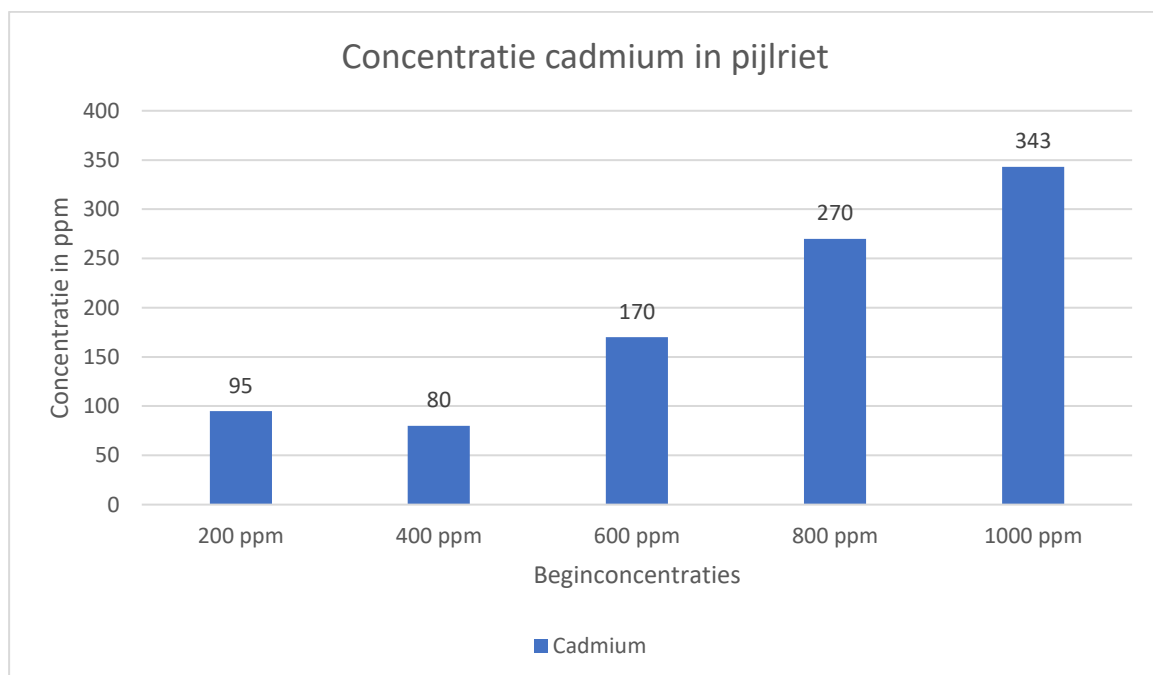


Figuur 37 – Concentratie nikkel in pijlriet bij verschillende beginconcentraties (Atma et al., 2017)

Ook is gebleken dat de bioconcentratiefactor 0,2 is bij een concentratie van 10 ppm. De lagere bioconcentratiefactor geeft aan dat de plant niet heel geschikt is voor de opname van verontreiniging zonder meststoffen. Alleen bij een concentratie van 10 ppm in combinatie met meststoffen (NPK) werd een bioconcentratiefactor van 1 bereikt.

Volgens onderzoek van Hussain et al. (2013) kon pijlriet cadmium effectief blijven opnemen in een bodem met een maximale beginconcentratie van 1.000 ppm. In figuur 38 is namelijk te zien dat pijlriet bij 1.000 ppm cadmium een concentratie van 343 ppm in de plantenvezels heeft.

Ook is te zien dat bij een beginconcentratie van 200 ppm 95 ppm in de vezels zat, bij 400 ppm 80 ppm in de vezels zat, bij 600 ppm 170 ppm in de vezels zat en bij 800 ppm 270 ppm in de vezels zat.



Figuur 38 – Concentratie cadmium in de plantenvezels bij verschillende beginconcentraties (Hussain et al., 2013)

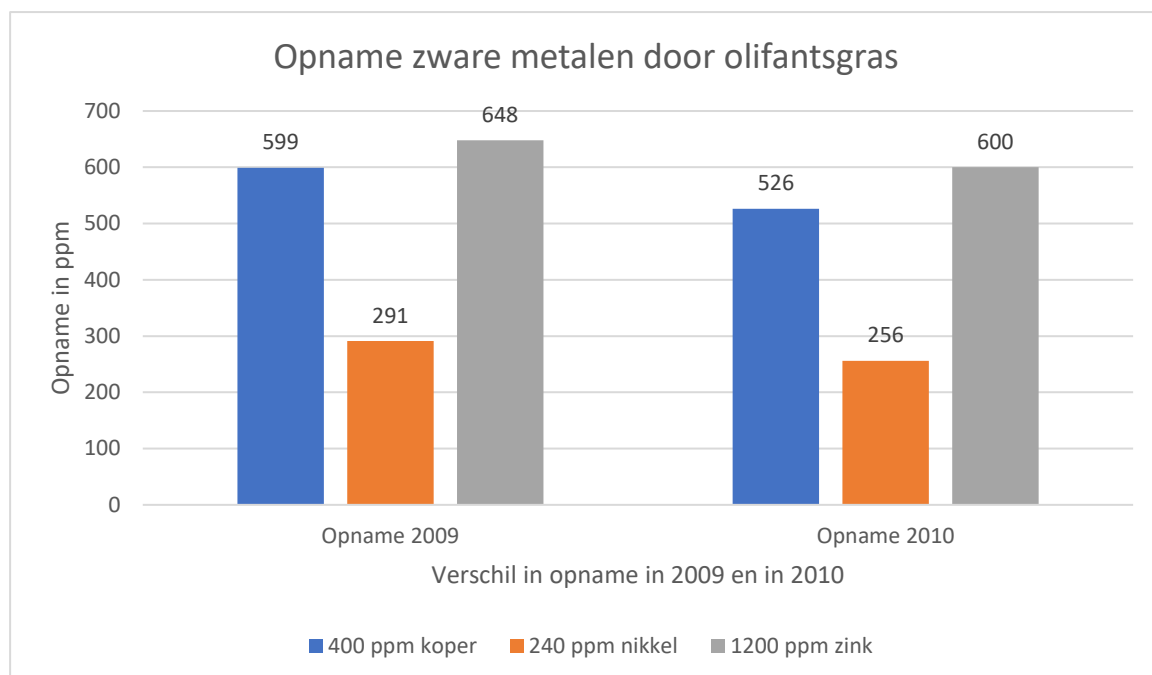
De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn dat pijlriet bij 1.000 ppm in de wortels 230 ppm kan opnemen, bij 1.000 ppm in de stengels 191 ppm kan opnemen en bij 500 ppm in de bladeren 138 ppm kan opnemen.

Ook voor cadmium is pijlriet geschikt voor fytoextractie vanwege de waarden hoger dan 1 voor de bioaccumulatiefactor en de translocatiefactor.

Olifantsgras (*Miscanthus giganteus*)

Olifantsgras kan volgens onderzoek van Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015) gebruikt worden voor fyto-extractie van zink. Daarnaast kan de plant in mindere mate koper en nikkel opnemen.

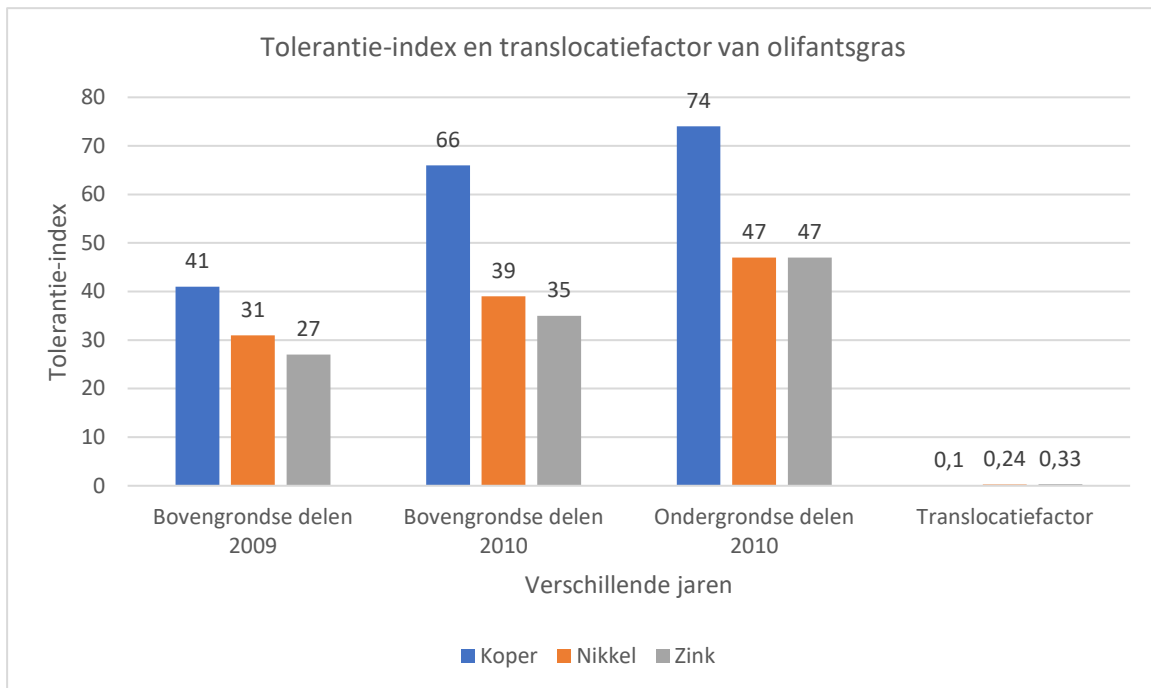
Olifantsgras kan bij een beginconcentratie van 400 ppm koper 599 ppm opnemen, bij 240 ppm aan nikkel 292 ppm en bij 1200 ppm aan zink 648 ppm. Dit is weergegeven in figuur 39.



Figuur 39 – Opname van koper, nikkel en zink door olifantsgras (Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak, 2015)

In figuur 39 is te zien dat olifantsgras in het tweede jaar van de drie metalen ongeveer 30 tot 40 ppm minder kan opnemen dan in het eerste jaar.

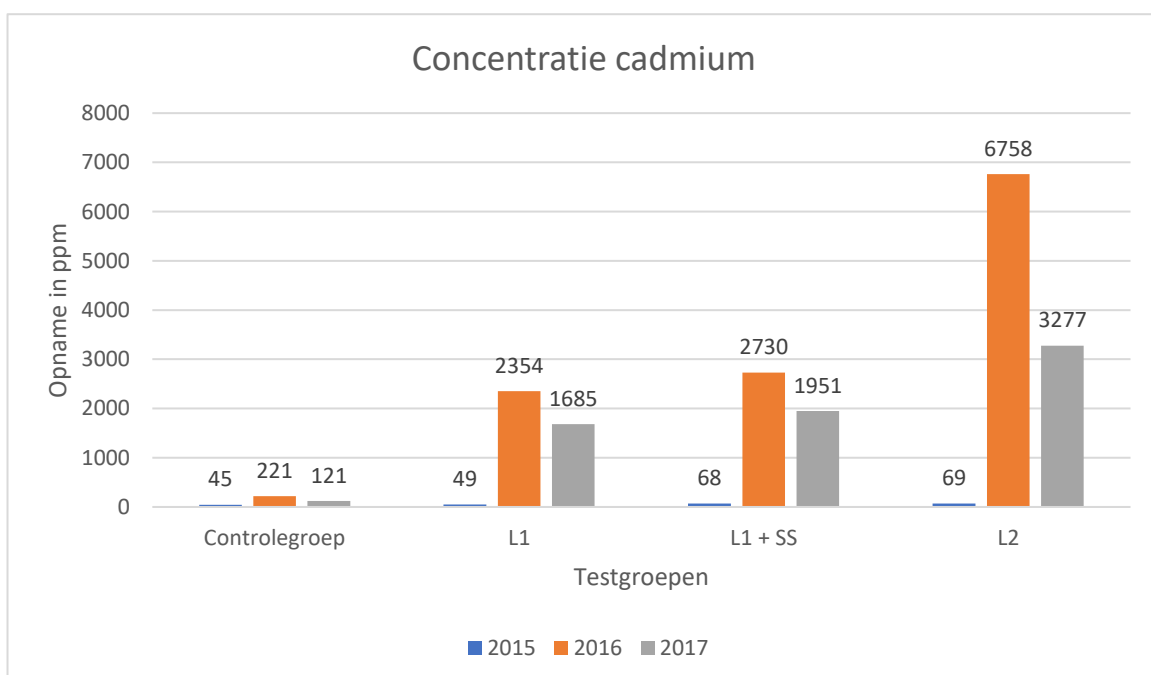
Aan de hand van de tolerantie-index is te zien dat de planten in het tweede groeiseizoen een hogere tolerantie hebben dan in het eerste jaar. Dit is te zien in figuur 40.



Figuur 40 – Tolerantie-index en translocatiefactor van olifantsgras bij opname van koper, nikkel en zink (Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak, 2015)

Volgens het onderzoek kan olifantsgras de verontreinigingen snel opnemen, maar zal het proces stagneren in het tweede groeiseizoen. Aan de hand van de translocatiefactor is te zien dat het grootste gedeelte van koper van de wortels naar de bovengrondse delen van de plant zal worden getransporteerd, terwijl nikkel en zink vooral in de wortels van de plant blijven zitten.

Volgens onderzoek van Zgorelec et al. (2020) kan olifantsgras ook cadmium en kwik opnemen. In figuur 41 is te zien wat de concentratie aan cadmium was in de verschillende jaren van de vier testgroepen.

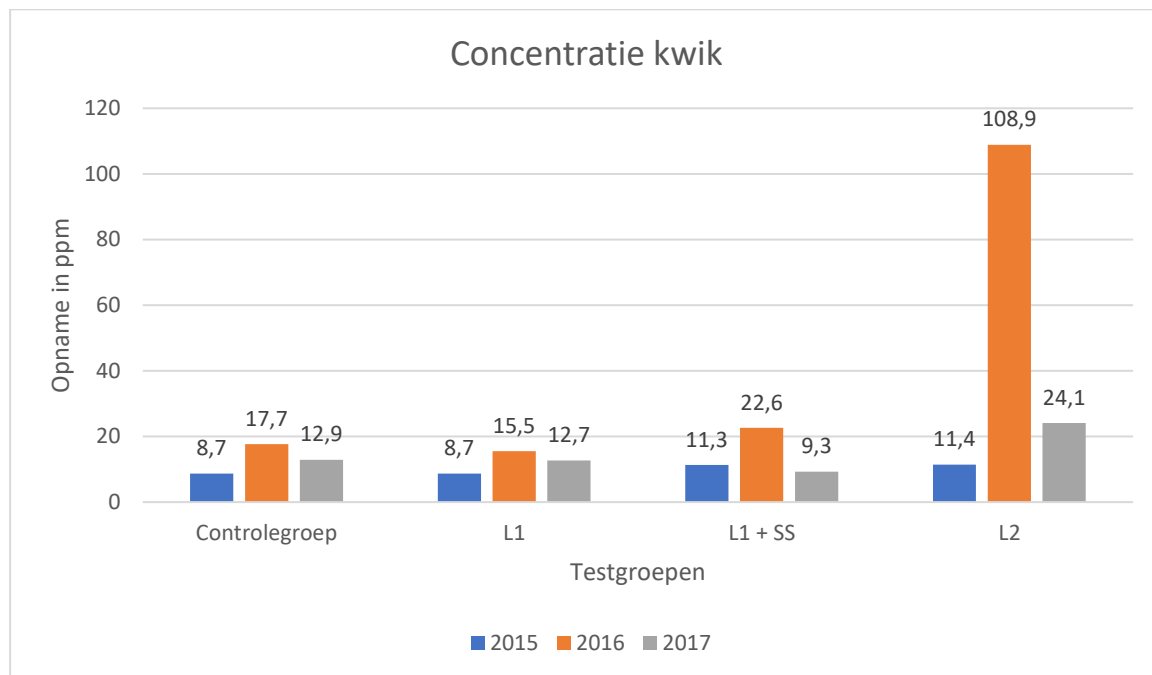


Figuur 41 – Concentratie cadmium in olifantsgras (Zgorelec et al., 2020)

In figuur 41 is te zien hoeveel concentratie in ppm in olifantsgras aanwezig was per testgroep in 2015, 2016 en 2017. De verschillende testgroepen waren de:

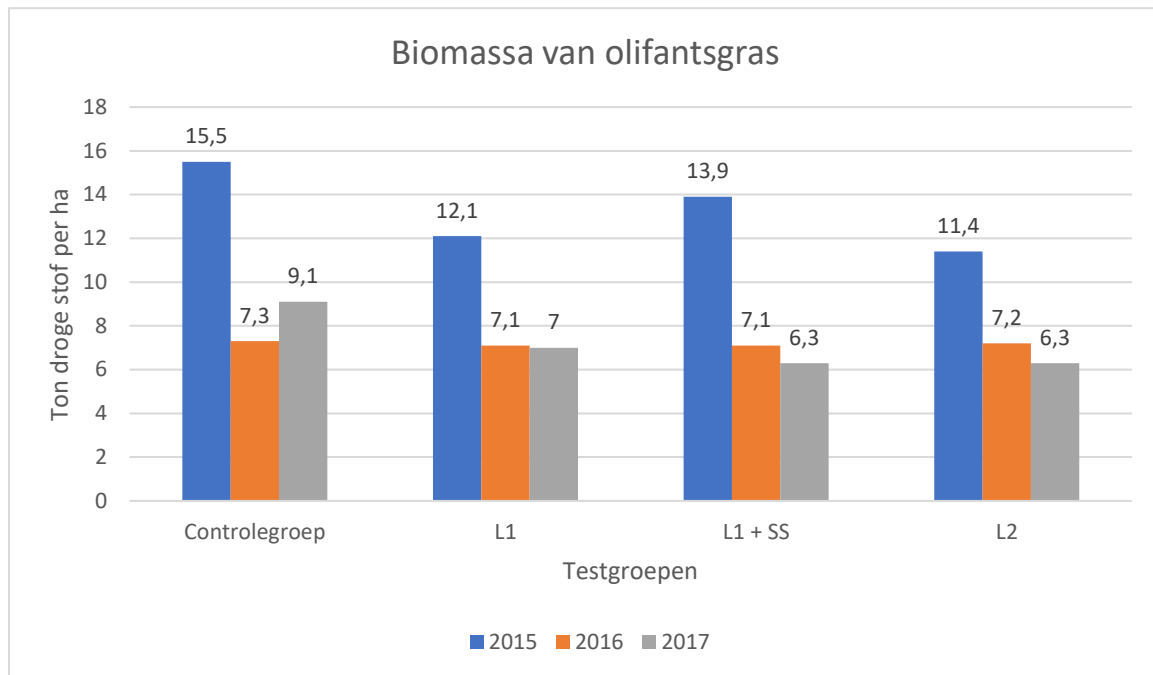
- controlegroep: de groep die op niet-verontreinigde bodem groeide;
- L1: grond waarin 10 ppm cadmium en 2 ppm kwik was toegevoegd;
- L2: grond waarin 100 ppm cadmium en 20 ppm kwik was toegevoegd;
- SS: grond waarin maximaal 1,66 ton droge massa per hectare aan rioolslib was toegevoegd.

In figuur 42 is te zien wat de concentratie aan kwik gedurende de drie jaar was in de vezels van de planten van de drie testgroepen.



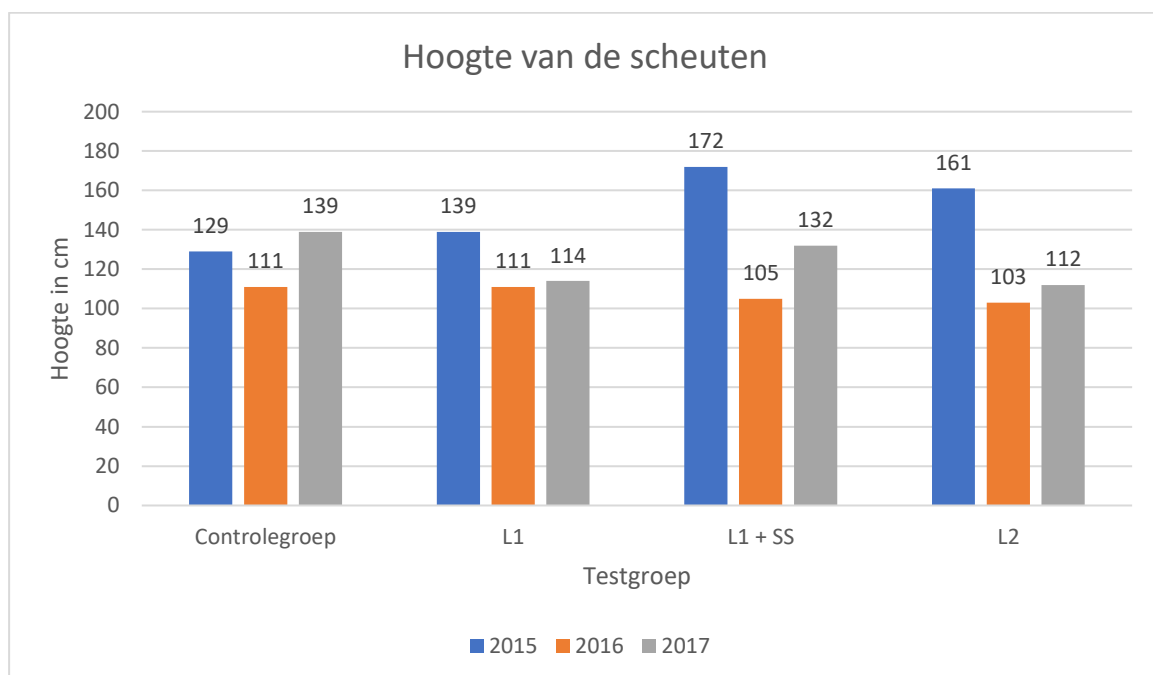
Figuur 42 – Concentratie kwik in olifantsgras in verschillende jaren (Zgorelec et al., 2020)

In figuur 43 is te zien dat de biomassaproductie zal afnemen wanneer planten op een verontreinigde bodem met cadmium en kwik staan (Zgorelec et al., 2020). In figuur 44 is wel te zien dat olifantsgras nog redelijk goed kan blijven groeien bij de aanwezigheid van zware metalen. Ook zonder de toevoeging van slib.



Figuur 43 – Biomassa per testgroep en groeijaar van olifantsgras (Zgorelec et al., 2020)

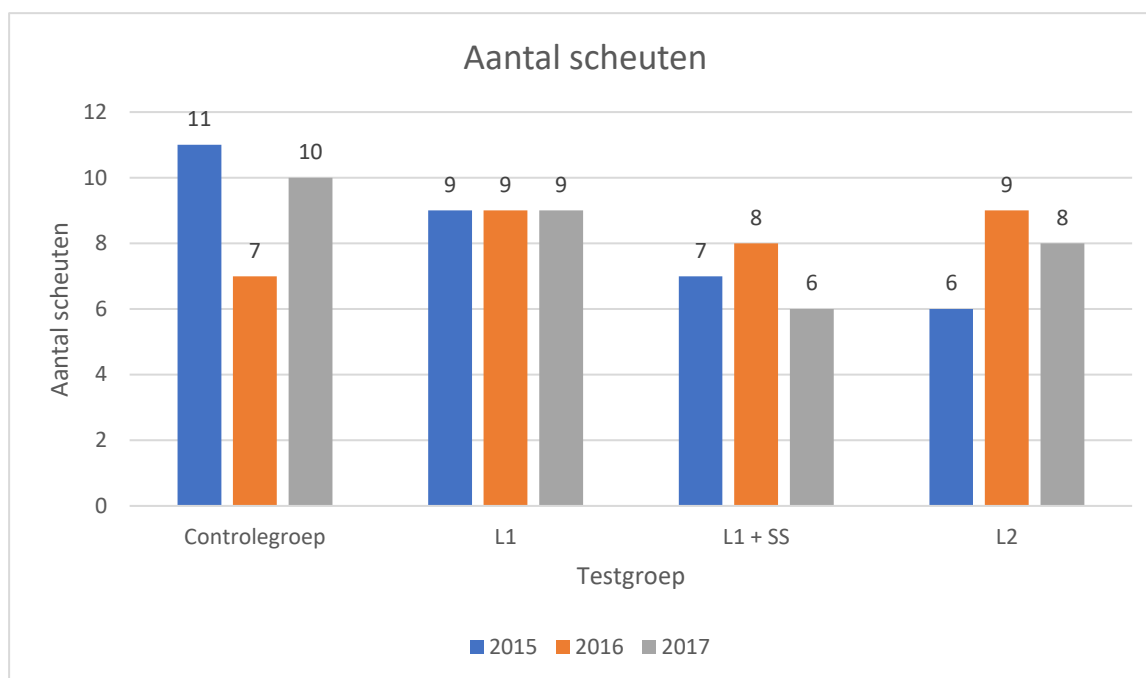
In figuur 43 is te zien wat de biomassa in ton droge stof per hectare van olifantsgras was van de verschillende testgroepen in 2015, 2016 en 2017.



Figuur 44 – Scheuthoogte van olifantsgras (Zgorelec et al., 2020)

In figuur 44 is te zien dat de scheuthoogte van olifantsgras niet werd beïnvloed door de aanwezigheid van verontreinigende stoffen in de bodem.

Wel nam het aantal scheuten van de plant af. In figuur 45 is te zien hoeveel scheuten olifantsgras ontwikkelde in bodems met verschillende verontreinigingsconcentraties.



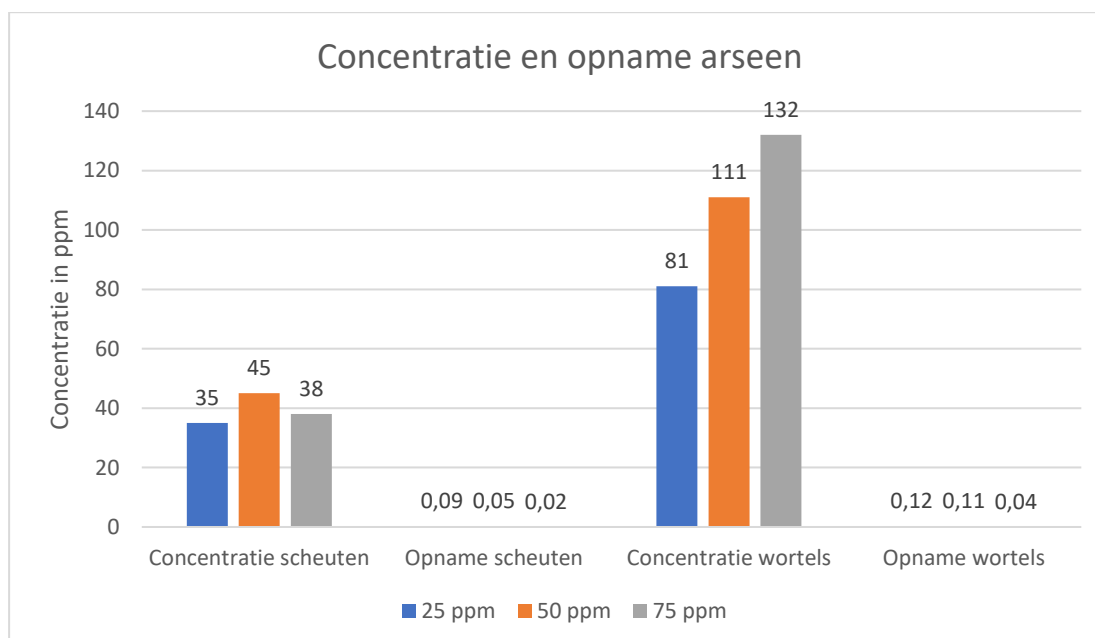
Figuur 45 – Aantal scheuten per testgroep van olifantsgras (Zgorelec et al., 2020)

Overige plantensoorten

Koolzaad (*Brassica napus*)

Volgens onderzoek van Niazi et al. (2017) kan koolzaad (*Brassica napus*) arseen opnemen.

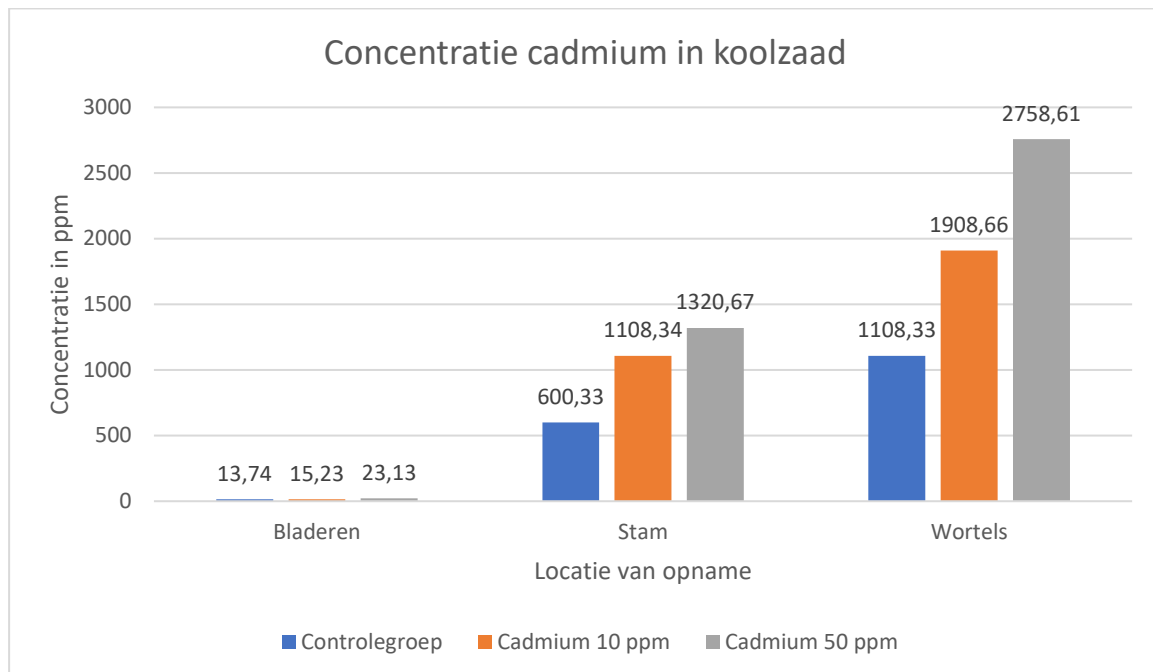
In figuur 46 is te zien wat de concentratie aan arseen in de scheuten en wortels was bij verschillende beginconcentraties. Ook is in figuur 46 te zien hoeveel arseen de scheuten en wortels konden opnemen bij de verschillende concentraties.



Figuur 46 – Belangrijkste resultaten van de opname van arseen door koolzaad en de concentratie in de scheuten en wortels (Niazi et al., 2017)

Volgens een onderzoek van Ehsan et al. (2014) kan koolzaad ook cadmium opnemen.

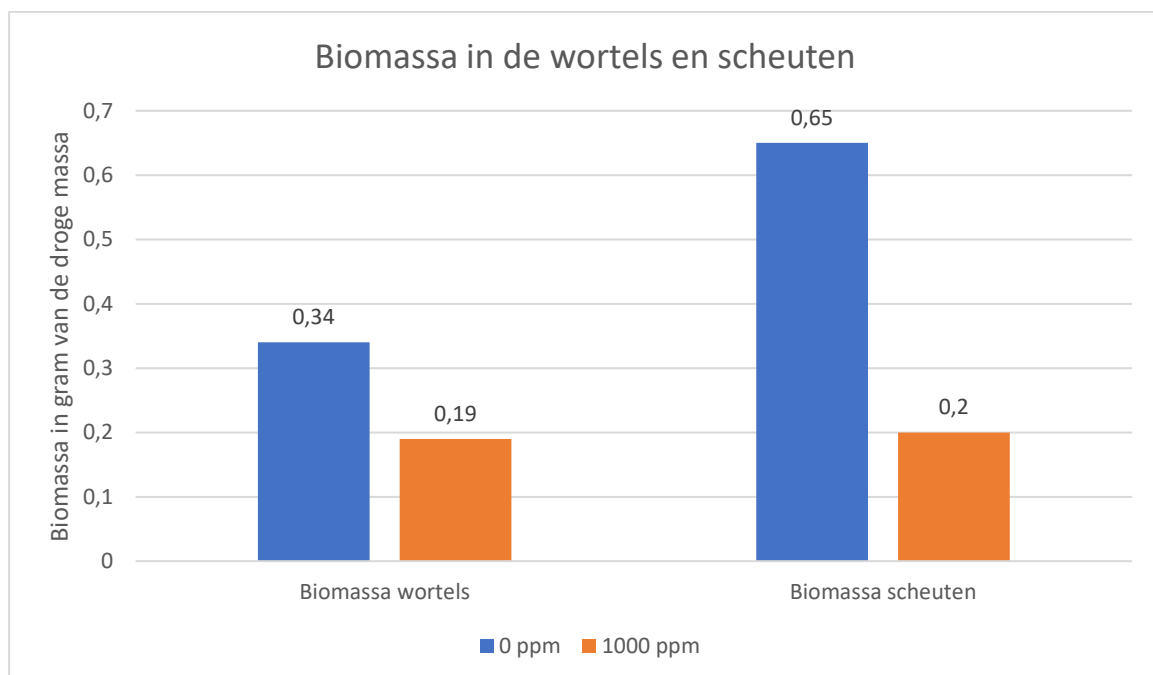
In figuur 47 is te zien dat ook cadmium vooral in de wortels wordt opgeslagen. Verder is in figuur 47 de concentratie aan cadmium te zien die aanwezig was in de bladeren, stam en wortels van de verschillende testgroepen bij verschillende beginconcentraties aan cadmium.



Figuur 47 – Concentratie cadmium in de bladeren, stam en wortels van koolzaad (Ehsan et al., 2014)

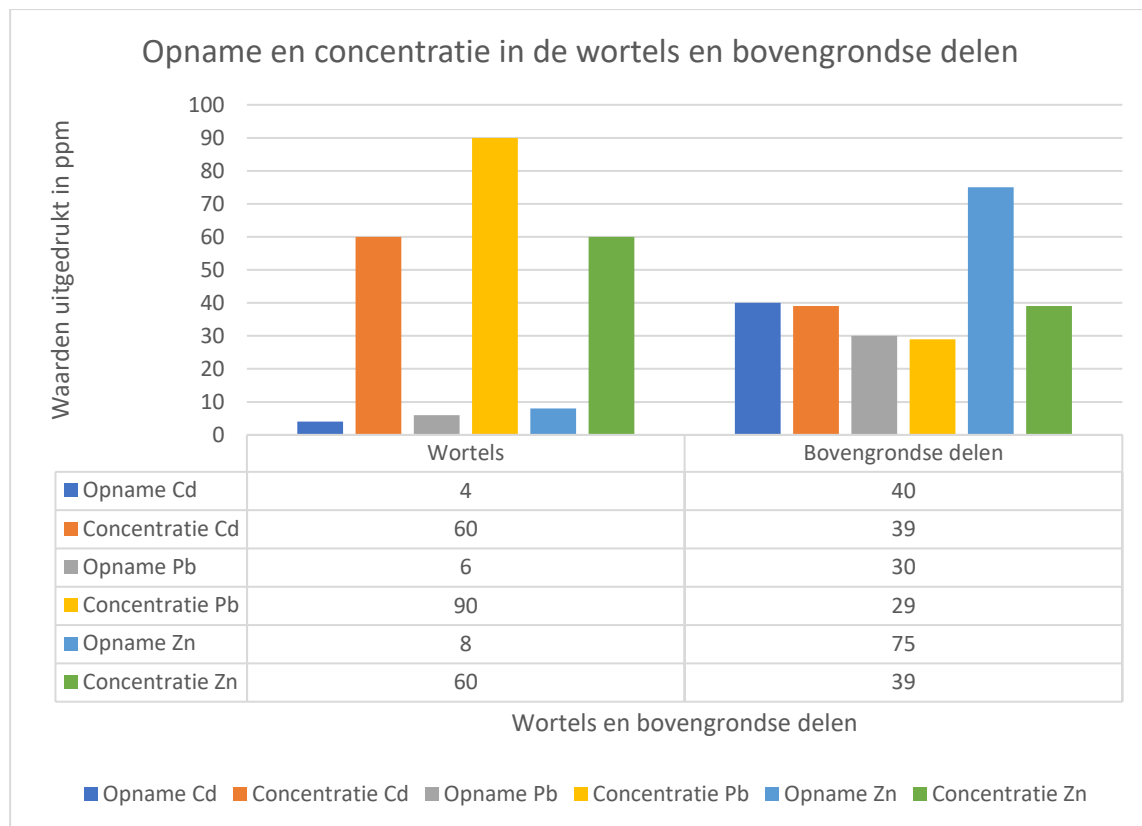
Volgens onderzoek van Reed en Glick (2005) kan koolzaad ook koper opnemen. Het onderzoek toonde aan dat bij een concentratie van 1.000 ppm koper, koolzaad een concentratie van 550 ppm aan koper in de vezels had opgenomen.

In figuur 48 is te zien dat de opname van koper leidt tot een afname van de biomassa van de wortels en scheuten. De biomassa van de wortels nam af met 0,15 gram en de biomassa van de scheuten nam af met 0,45 gram in vergelijking met de controlegroep.



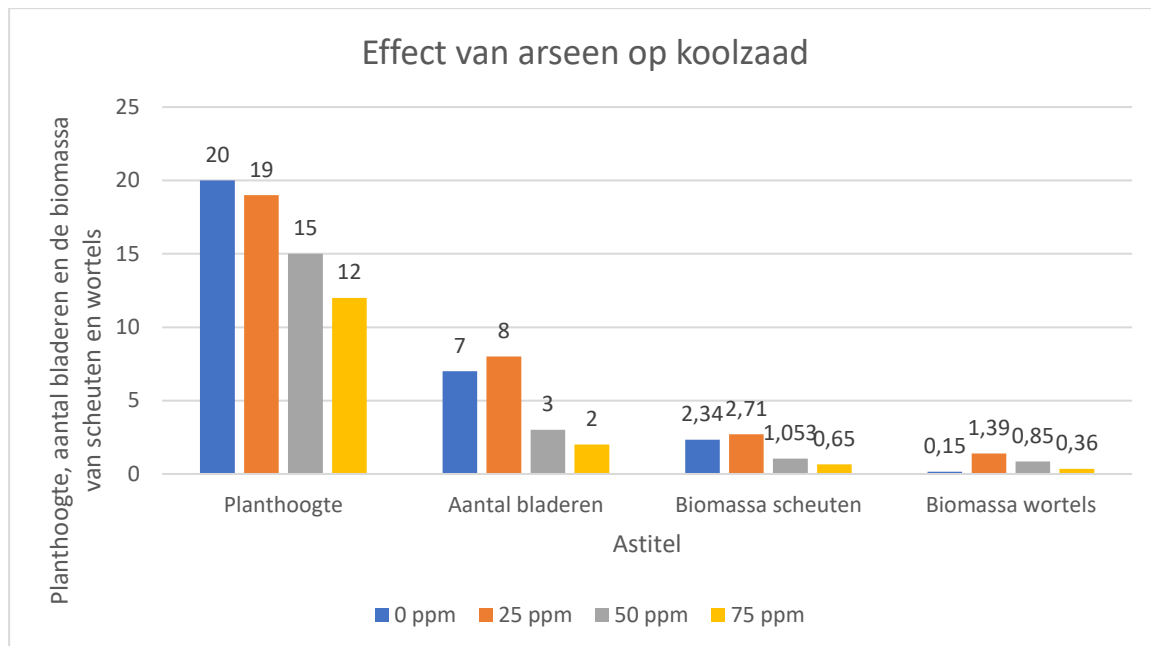
Figuur 48 – Biomassa-afname van koolzaad bij een koperverontreiniging (Reed en Glick, 2005)

Volgens onderzoek van Jing et al. (2014) kon koolzaad cadmium, lood en zink opnemen. Dit was getest in bodems met 50 ppm aan cadmium, 200 ppm aan lood en 200 ppm aan zink. In figuur 49 is te zien dat de concentratie van de drie metalen het hoogste was in de wortels. De bovengrondse delen van de plant hadden daarentegen de meeste zware metalen uit de bodem gehaald.



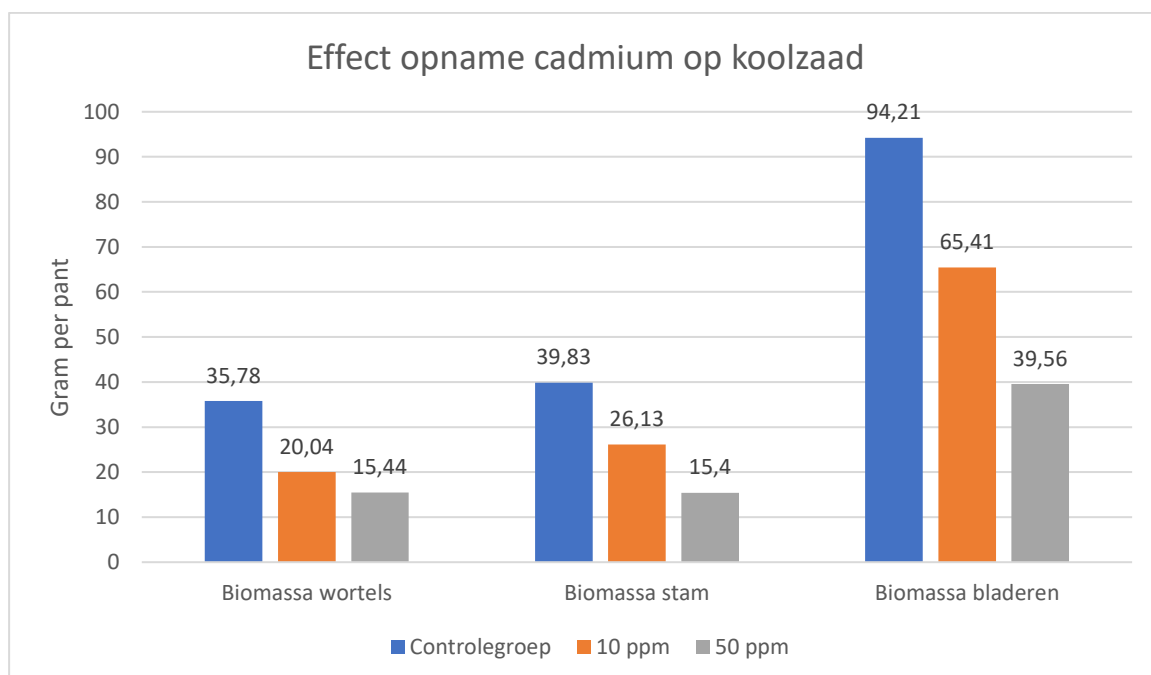
Figuur 49 – Opname van cadmium, lood en zink in koolzaad en de concentratie in de wortels en bovengrondse delen van de plant (Jing et al., 2014)

In figuur 50 is te zien dat de planthoogte, het aantal bladeren en de biomassa van de scheuten en wortels van de planten afnamen door de aanwezigheid van arseen in de bodem. Alleen bij een beginconcentratie van 25 ppm arseen werden geen nadelige gevolgen waargenomen. Hierbij kregen de planten meer bladeren en meer biomassa in de scheuten en wortels.



Figuur 50 - Effect van arseen op de groei van koolzaad (Niazi et al., 2017)

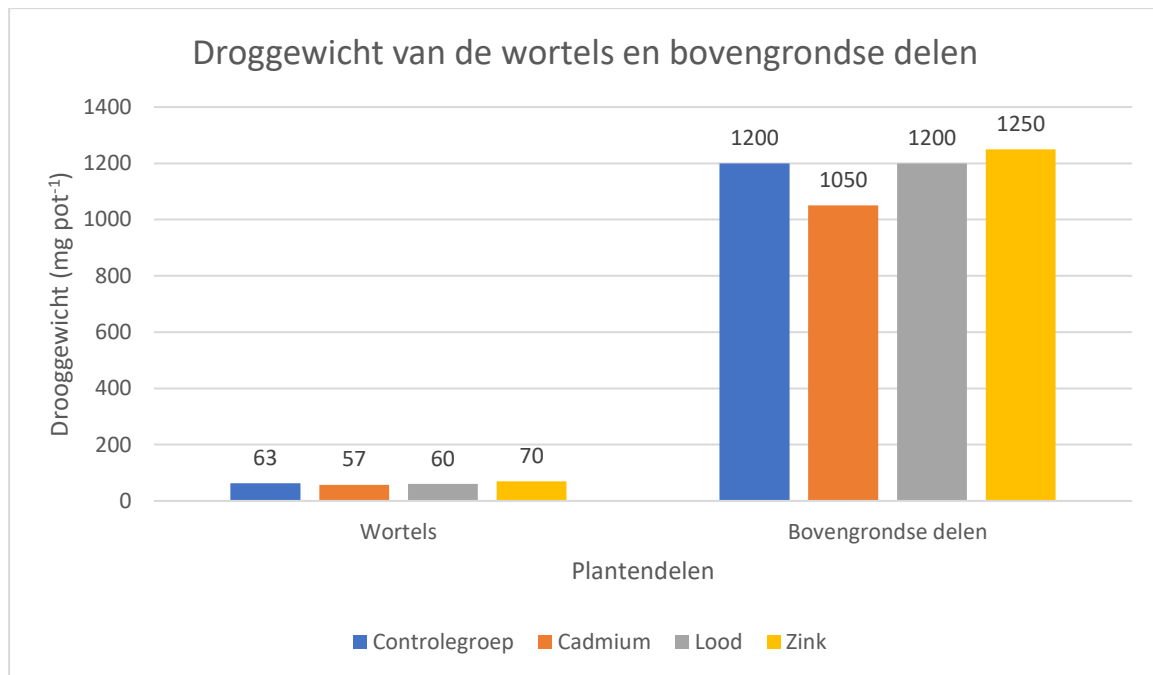
Hoewel in figuur 50 te zien is dat bij een concentratie van 25 ppm arseen er weinig effect is op de planten, werd in het onderzoek van Ehsan et al. (2014) aangetoond dat planten minder goed groeiden bij een verontreiniging met cadmium. Ook was de hoeveelheid geproduceerde biomassa minder door metaalstress, zoals weergegeven in figuur 51.



Figuur 51 – Effect opname van cadmium op koolzaad (Ehsan et al., 2014)

Figuur 51 laat zien dat de biomassa van de wortels, stam en bladeren zal afnemen. Dit effect is al te zien vanaf een concentratie van 10 ppm aan cadmium in de bodem.

In het onderzoek van Jing et al. (2014) was er weinig invloed van cadmium, lood en zink waargenomen, zoals te zien is in figuur 52.

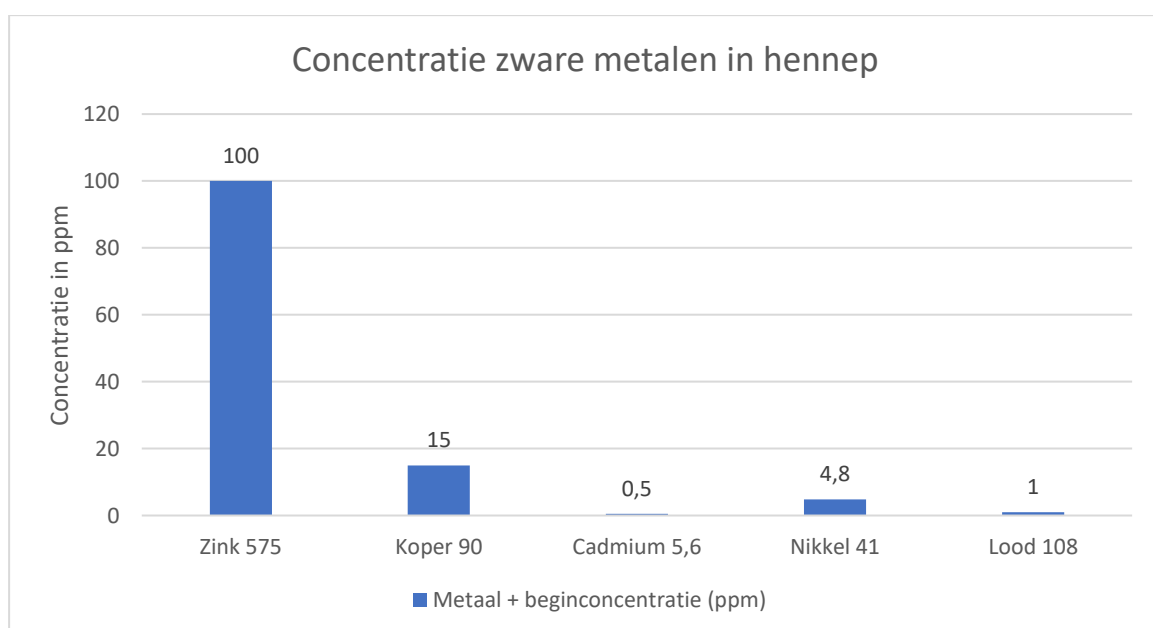


Figuur 52 – Effect van cadmium, lood en zink op de groei van koolzaad (Jing et al., 2014)

In figuur 52 is te zien dat de hoeveelheid biomassa niet veel afnam bij de groei op verontreinigde bodems. Het gewicht van de planten zal dus niet veel afnemen bij een verontreiniging met cadmium, lood en zink.

Hennep (*Cannabis sativa*)

Volgens een onderzoek van Meers et al. (2005) kan hennep diverse zware metalen opnemen. In figuur 53 is een overzicht te zien van de opname van zink, koper, cadmium, nikkel en lood door hennep. Figuur 54 geeft weer dat bij een beginconcentratie van 575 ppm zink, de concentratie in de plant 100 ppm was. Bij een beginconcentratie van 90 ppm koper was de concentratie 15 ppm. Bij een beginconcentratie van 5,6 ppm cadmium was de concentratie 0,5 ppm. Bij een beginconcentratie van 41 ppm nikkel was de concentratie 4,8 ppm. En bij een beginconcentratie van 108 ppm lood was de concentratie 1 ppm.



Figuur 53 – Opname van zink, koper, cadmium, nikkel en lood door hennep (Meers et al., 2005)

Luzerne (*Medicago sativa*)

Volgens onderzoek van Ju et al. (2020) kan luzerne koper opnemen. Van de 669 ppm koper zat na de proef 79,8 ppm in de plant zelf. Hierbij is 560 ppm aan koper verwijderd uit de aarde.

Bij het onderzoek van He et al. (2021) is onderzoek gedaan naar de opname van koper en zink door luzerne. Bij een beginconcentratie van 200 ppm zink was de concentratie in de plant 375 ppm en bij een beginconcentratie van 800 ppm zink was de concentratie in de plant 850 ppm. Deze gegevens zijn te zien in tabel 8. Verder heeft het onderzoek aangetoond dat bacteriën in de rhizosfeer de plant hielpen bij het opnemen van de koperverontreiniging. De belangrijkste resultaten van de onderzoeken van Ju et al. (2020) en He et al. (2021) zijn te zien in tabel 8.

Tabel 8 – Belangrijkste gegevens en resultaten van onderzoek naar luzerne bij koper en zink (Ju et al., 2020) en (He et al., 2021)

Omschrijving	Waarden + eenheid voor koper	Waarde + eenheid voor zink (200 ppm)	Waarde + eenheid voor zink (800 ppm)
Beginconcentratie per pot	669 ppm	200 ppm	800 ppm
Biomassa scheuten	7 gram per pot	1 gram per pot	< 1 gram per pot
Biomassa wortels	7,02 gram per pot	1 gram per pot	< 1 gram per pot
Concentratie scheuten	26,1 ppm	75 ppm	200 ppm
Concentratie wortels	53,7 ppm	300 ppm	650 ppm
Translocatiefactor	0,49	0,31	0,32
Totale opname in de planten	182 ppm	-	-
Totale opname per pot	560 ppm per pot	-	-
Bron	Ju et al. (2020)	He et al. (2021)	

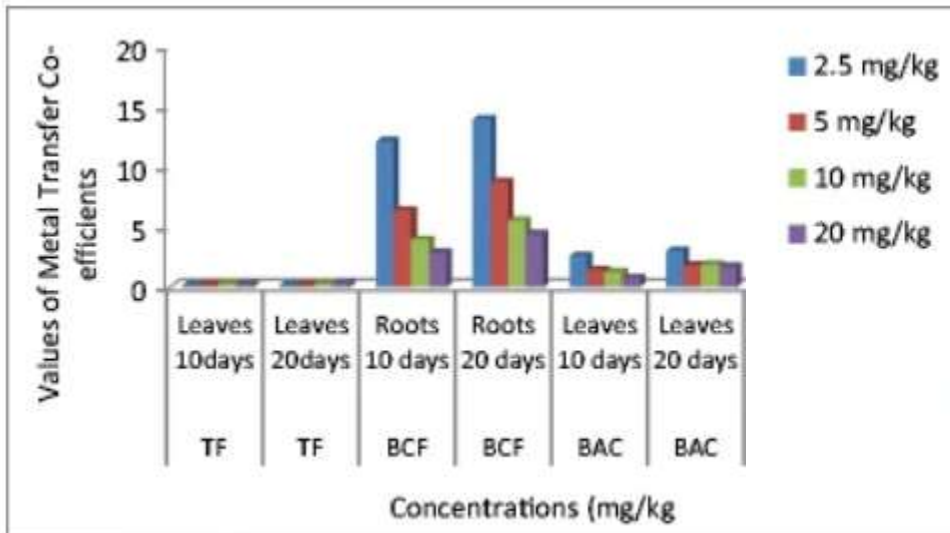
Ook heeft het onderzoek van Mathur en Panwar (2024) aangetoond dat luzerne cadmium, zink en lood kan opnemen. Van elke metaal was de beginconcentratie 150 ppm. In tabel 9 is te zien dat de concentratie in de scheuten respectievelijk 74,19 ppm, 91,20 ppm en 87,95 ppm bedroeg. Bij een combinatie van de drie metalen was de concentratie in de scheuten 78,15 ppm aan zink, 57,36 ppm aan lood en 42,28 ppm aan cadmium. De concentratie in de wortels was respectievelijk, 40,91 ppm, 46,78 ppm en 40,91 ppm.

Tabel 9 – Belangrijkste gegevens en resultaten van onderzoek naar Luzerne bij cadmium, zink en lood (Mathur en Panwar, 2024)

Omschrijving	Cadmium	Zink	Lood	Cd + Zn + Pb
Beginconcentratie per pot	150 ppm (T2)	150 ppm (T3)	150 ppm (T4)	150 ppm per stof
Biomassa scheuten	18 gram per pot	17 gram per pot	15 gram per pot	8 gram per pot
Biomassa wortels	13 gram per pot	12 gram per pot	11 gram per pot	5 gram per pot
Concentratie scheuten	74,19 ppm	91,20 ppm	87,95 ppm	78,15 ppm Zn, 57,36 ppm Pb en 42,28 ppm Cd
Concentratie wortels	40,91 ppm	46,78 ppm	40,91 ppm	
Translocatiefactor	0,55	0,57	0,50	
Totale opname in de planten	82 ppm	87 ppm	120 ppm	

Grote weegbree (*Plantago major*)

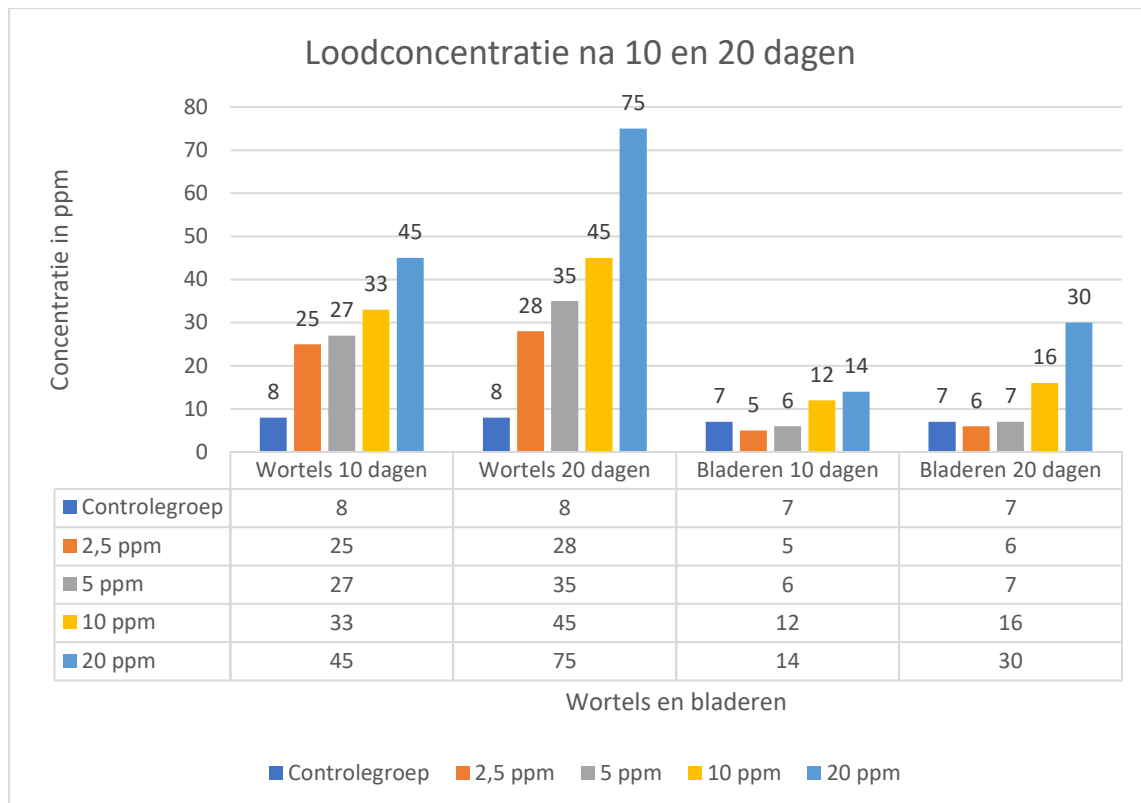
Romeh et al. (2016) hebben onderzoek gedaan naar de opname van lood door de grote weegbree. In figuur 54 is te zien dat de translocatiefactor nagenoeg nul is, terwijl de bioconcentratiefactor tussen de 3 en 15 zit. Ook is te zien dat de bioaccumulatiefactor varieert tussen de 1 en 4. Deze waarden samen geven aan dat de grote weegbree geschikt is voor de opname en het concentreren van lood in de plant. De lage translocatiefactor geeft wel aan lood vooral in de wortels wordt opgeslagen.



Figuur 54 – Translocatiefactor, bioconcentratiefactor en de bioaccumulatiefactor van de grote weegbree in een bodem verrijkt met diverse loodconcentraties (Romeh et al., 2016)

Opmerking. Dit figuur (figuur 54) is overgenomen uit het onderzoek van Romeh et al. (2016).

In figuur 55 is te zien dat de concentratie in de wortels na 20 dagen bij een beginconcentratie van 2,5 ppm 28 ppm was, bij 5 ppm 35 ppm, bij 10 ppm 45 ppm en bij 20 ppm 75 ppm. De concentratie in de bladeren was na 20 dagen bij een beginconcentratie van 2,5 ppm 6 ppm, bij 5 ppm 7 ppm, bij 10 ppm 16 ppm en bij 20 ppm 30 ppm.



Figuur 55 – Loodconcentratie in de wortels en bladeren van de grote weegbree na dag tien en na dag twintig (Romeh et al., 2016)

In tabel 10 is de opnamecapaciteit van de grote weegbree te zien bij verschillende beginconcentraties.

Tabel 10 - Opnamecapaciteit van de grote weegbree voor lood (Romeh et al., 2016)

Beginconcentratie in ppm	Concentratie na 10 dagen in ppm	Concentratie na 20 dagen in ppm
Controlgroep (0)	0,36	0,36
2,5	2,01	1,96
5	4,29	4,19
10	8,76	8,72
20	17,67	17,45

Aanvullend is in het onderzoek van Galal en Shehata (2015) aangetoond dat de grote weegbree ook koper, zink, cadmium, chroom en nikkel uit de bodem kan verwijderen. In tabel 11 is te zien dat de zware metalen vooral worden geconcentreerd in de wortels van de plant.

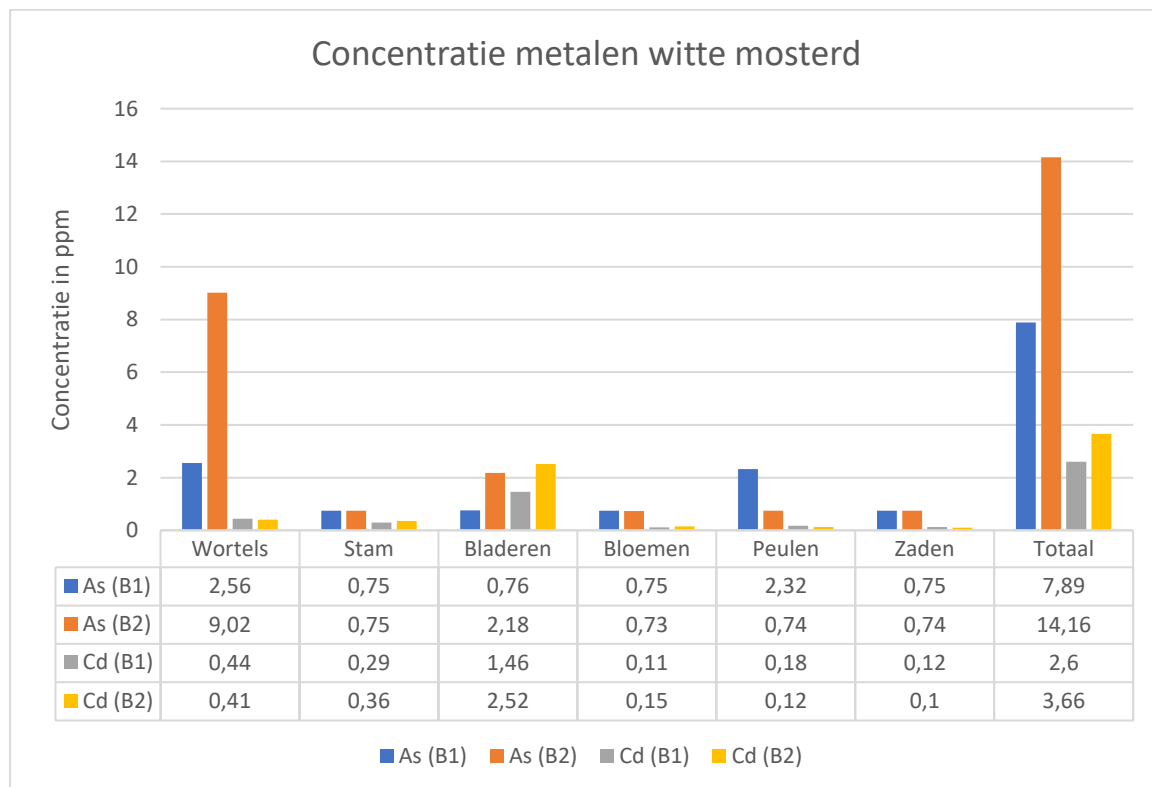
Tabel 11 – Beginconcentratie en concentratie in de wortels en scheuten van de grote weegbree bij verschillende zware metalen (Galal en Shehata, 2015)

Metaal	Concentratie bodem	Concentratie wortels	Concentratie scheuten
Koper	68,4	53	29,6
Zink	372,1	122,4	68,7
Cadmium	<2	0,5	0,5
Chroom	120,4	62,1	17,3
Nikkel	53,4	24,6	6,7

Het onderzoek toonde aan dat de grote weegbree geschikt is voor fytoremediatie. De grote weegbree is geschikt voor de extractie van cadmium en lood.

Witte mosterd (*Sinapis alba*)

Volgens onderzoek van Vasilache et al. (2023) kan witte mosterd arseen en cadmium uit de bodem halen. Witte mosterd kan zowel in een bodem met arseen en cadmium als in een bodem met arseen, cadmium en nikkel worden ingezet. De concentraties van arseen en cadmium die tijdens het onderzoek in de planten zijn waargenomen, zijn te zien in figuur 56.

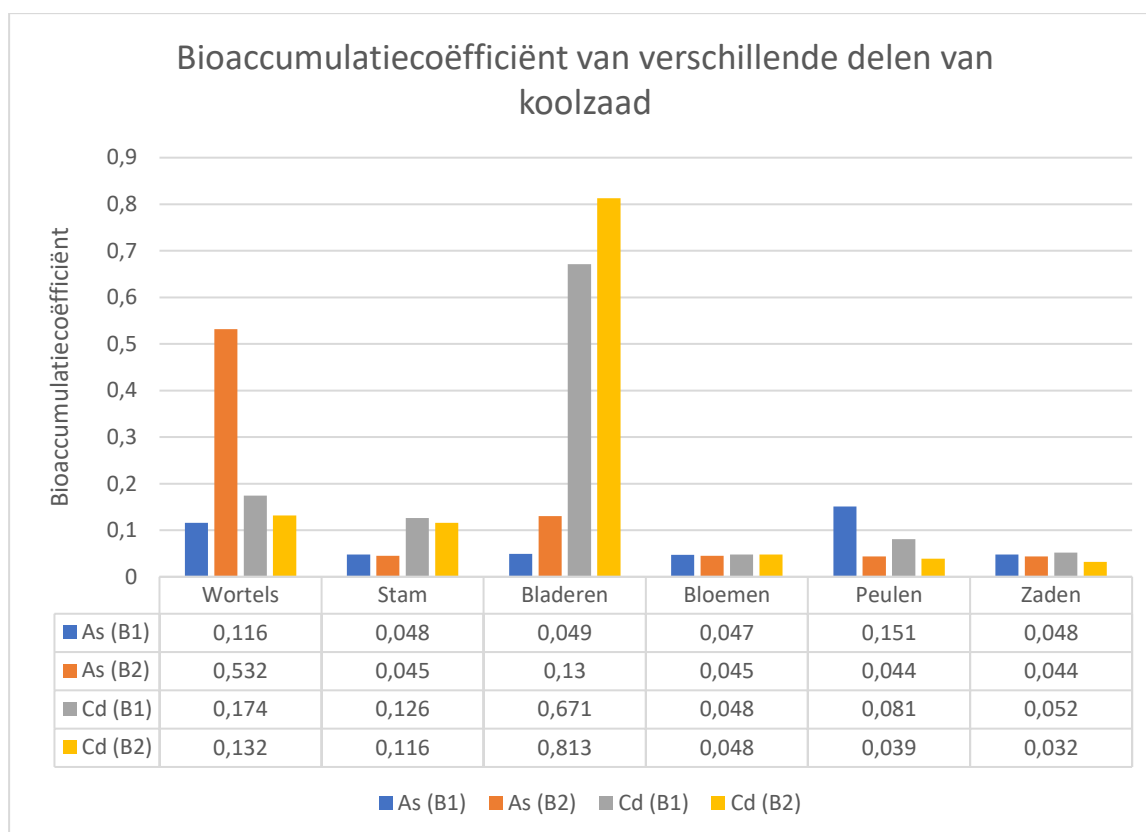


Figuur 56 – Concentratie van arseen en cadmium in de verschillende plantendelen van witte mosterd bij verschillende beginconcentraties (Vasilache et al., 2023)

In figuur 56 is de concentratie te zien in verschillende plantendelen. Dit is getest op verschillende bodems. Aan bodem 1 (B1) was 15 ppm arseen en 2 ppm cadmium toegevoegd. Aan bodem 2 (B2) was 15 ppm arseen, 3 ppm cadmium en 10 ppm nikkel toegevoegd.

In figuur 56 is te zien dat arseen vooral in de wortels wordt opgeslagen en cadmium vooral in de bladeren van de plant.

In figuur 57 is de bioaccumulatiecoëfficiënt te zien van witte mosterd bij diverse verontreinigingen.



Figuur 57 – Bioaccumulatiecoëfficiënt van witte mosterd bij diverse verontreinigingen (Vasilache et al., 2023)

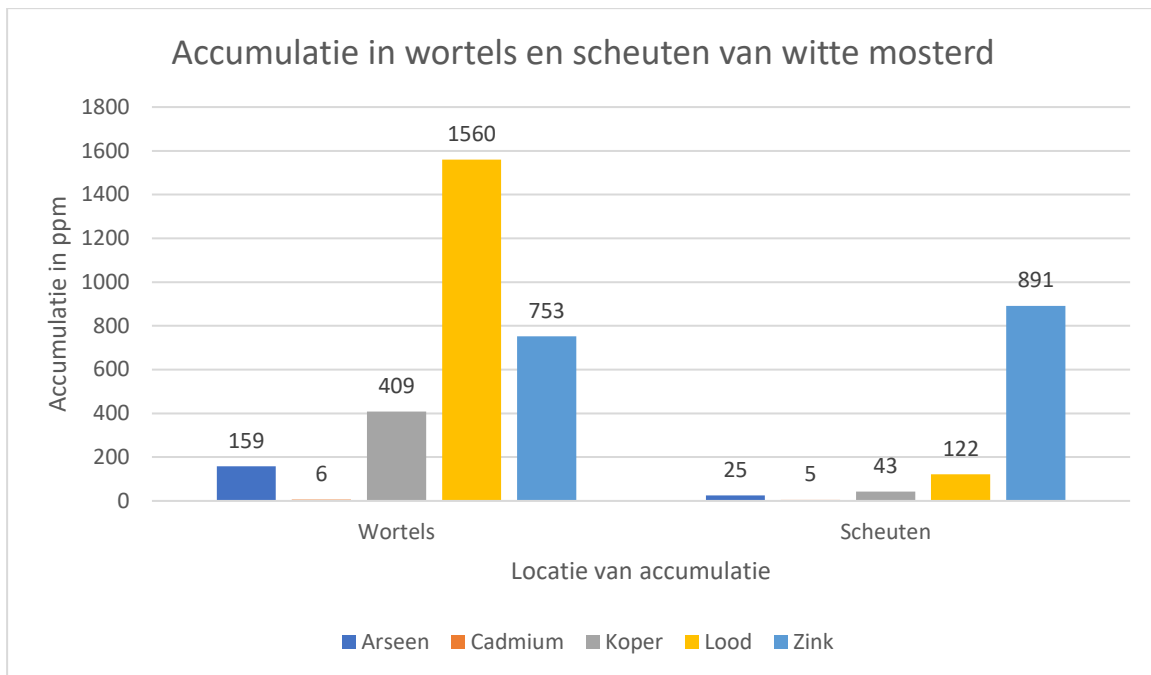
In figuur 56 is te zien dat de plant arseen voornamelijk opneemt in de wortels en cadmium in de bladeren. De hoogste bioaccumulatiecoëfficiënt komt overeen met de delen waarin de planten het beste de metalen kunnen opslaan, zoals te zien is in figuur 57.

Aanvullend heeft het onderzoek van Díaz et al. (2024) aangetoond dat witte mosterd ook arseen, cadmium, koper, lood en zink kan opnemen. De concentratie van de verschillende zware metalen is te zien in tabel 12.

Tabel 12 – Totaalconcentratie en extraheerbare concentratie (Díaz et al., 2024)

Metaal	Totaalconcentratie	Extraheerbare concentratie in ppm
Arseen	633	0,67
Cadmium	25	0,67
Koper	1707	5
Lood	5112	25
Zink	3739	176

In figuur 58 is de hoeveelheid aan arseen, cadmium, koper, lood en zink te zien in de wortels en scheuten van witte mosterd.



Figuur 58 – Accumulatie van arseen, cadmium, koper, lood en zink in de wortels en scheuten van witte mosterd (Díaz et al., 2024)

In figuur 58 is te zien dat de zware metalen vooral worden opgeslagen in de wortels van de planten, behalve voor zink waar meer van in de scheuten wordt opgeslagen.

Bijlage 2; MCA met puntenverdeling en het totaaloverzicht van de criteria

Alle gegevens van de inventarisatie zijn per criterium omgezet in waarden. De score van alle planten per criterium is te zien in tabel 13. In tabel 14 is een overzicht te zien met de score per criterium en de gegevens waarop de scores zijn gebaseerd.

Tabel 13 – Ingevulde MCA

Criteria Plant	Hoeveelheid metalen voor extractie	Hoeveelheid metalen voor stabilisatie	Bereik van de planten (1 – minste, 13 – meeste)	Invloed van de verontreinigingen op de planten	Levensduur van de planten	Standplaatsfactoren (1 – meest specifiek, 13 – minst specifiek)	Verzorging	Verwerkbaarheid	Beperkingen voor de verwerking (1 – veel, 13 – weinig/geen)	Score
Weging	0,2	0,18	0,15	0,13	0,12	0,09	0,07	0,04	0,02	1,0
Helianthus annuus	4	0	11	3	1	7	1	3	6	
Hydrangea paniculata	2	0	5	4	2	8	3	0	2	
Pelargonium hortorum	4	0	2	1	2	10	1	0	3	
Alnus glutinosa	5	0	13	3	5	9	6	7	9	
Populus nigra	7	0	4	2	6	3	4	3	11	
Salix viminalis	4	0	6	1	2	4	2	6	13	
Arundo donax	2	0	3	2	2	1	2	2	10	
Miscanthus giganteus	3	2	10	3	4	2	6	4	12	
Brassica napus	5	0	8	1	1	6	4	2	4	
Cannabis sativa	5	0	12	3	1	5	6	4	5	
Medicago sativa	4	0	9	3	3	12	4	5	7	
Plantago major	2	4	1	4	2	13	5	0	1	
Sinapis alba	5	0	7	3	1	11	6	0	8	

Tabel 14 – Ingevulde MCA met gegevens

Criteria Plant	Hoeveelheid zware metalen voor fyto- extractie	Hoeveelheid zware metalen voor fyto- strabilisatie	Bereik van de planten (1 – minste, 13 – meeste)	Invloed van de verontreinigingen op de planten	Levensduur	Standplaats- factoren	Verzorging	Verwerkbaarheid	Beperkingen voor de verwerking (1 – veel, 13 – weinig tot geen)
Weging	0,2	0,18	0,15	0,13	0,12	0,09	0,07	0,04	0,02
Helianthus annuus	1. cadmium 2. koper 3. lood 4. zink	0	11. 300 cm	3. • verminderde biomassa	1. Eénjarig	7	1. • snoeien als de koppen zijn geknakt • ziektegevoelig	3. 1. bioplastic 2. harsen 3. verf	6
Hydrangea paniculata	1. koper 2. lood	0	5. 50 cm	4. Er zijn geen effecten waargenomen.	2. Meerjarig	8	2. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei • extra bemesten • voorbereidingen treffen voor de winter/vorstperiode	0.	2
Pelargonium hortorum	1. cadmium 2. chroom 3. lood 4. nikkel	0	2. 20 cm	1. • verminderde biomassa • morfotoxicologische symptomen	2. Meerjarig	10	1. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei • extra bemesten • voorbereidingen treffen voor de winter/vorstperiode • ziektegevoelig	0.	3

Alnus glutinosa	1. cadmium 2. chroom 3. koper 4. lood 5. zink	0	13. 360 cm	3. • verminderde biomassa	5. 100 jaar	9	6. Heeft geen extra verzorging nodig.	7. 1. bezems 2. bouw materiaal 3. kisten 4. meubels 5. perslijsten 6. speelgoed 7. triplex	9
Populus nigra	1. cadmium 2. chroom 3. koper 4. lood 5. mangaan 6. nikkel 7. zink	0	4. 45 cm	2. • chlorose • morfotoxicologische symptomen	6. 150 jaar	3	4. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei	3. 1. meubels 2. spaanplaat 3. zaaghout	11
Salix viminalis	1. cadmium 2. koper 3. nikkel 4. zink	0	6. 90 cm	1. • groeiachterstand • chlorose • morfotoxicologische symptomen	2. Meerjarig	4	2. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei • extra bemesten • voorbereidingen treffen voor de winter/vorstperiode	6. 1. gereedschapsstelen 2. klompen 3. schuttingen en schermen 4. speelgoed 5. tuinversiering 6. verpakkingen	13
Arundo donax	1. cadmium 2. nikkel	0	3. 40 cm	2. • chlorose	2. Meerjarig	1	2. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei • extra bemesten • voorbereidingen treffen voor de winter/vorstperiode	2. 1. hengels 2. wandelstokken	10

Miscanthus giganteus	1. koper 2. nikkel 3. zink	1. cadmium 2. kwik	10. 244 cm	3. • groeiachterstand • verminderde biomassa	4. 20 jaar	2	6. Heeft geen extra verzorging nodig.	4. 1. bioplastic 2. bouw materiaal 3. papier 4. plaatmateriaal	12
Brassica napus	1. arseen 2. cadmium 3. koper 4. lood 5. zink	0	8. 150 cm	1. • groeiachterstand • verminderde biomassa • chlorose	1. Eénjarig	6	4. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei	2. 1. glansmiddel 2. kunstharsen	4
Cannabis sativa	1. cadmium 2. koper 3. lood 4. nikkel 5. zink	0	12. 300 m	3. • verminderde biomassa	1. Eénjarig	5	6. Heeft geen extra verzorging nodig.	4. 1. bioplastic 2. bouw materiaal 3. isolatiemateriaal 4. papier	5
Medicago sativa	1. cadmium 2. koper 3. lood 4. zink	0	9. 200 cm	3. • groeiachterstand	3. 12 jaar	12	4. • extra bewateren in de zomer • snoeibeurt geven voor een optimale groei	5. 1. bioplastic 2. glansmiddelen 3. kunstharsen 4. leerbehandeling 5. schoensmeer	7
Plantago major	1. cadmium 2. lood	1. chroom 2. koper 3. nikkel 4. zink	1. 20 cm	4. Er zijn geen effecten waargenomen.	2. Meerjarig	13	5. extra bemesten	0.	1
Sinapis alba	1. arseen 2. cadmium 3. koper 4. lood 5. zink	0	7. 100 cm	3. • groeiachterstand	1. Eénjarig	11	6. Heeft geen extra verzorging nodig.	0.	8

Bijlage 3; Uiteenzetting criterium 'bereik van de planten'

In deze bijlage is de totstandkoming van het criterium 'bereik van de planten' te zien. In tabel 15 is de wortellengte van elke plant te zien op volgorde van klein naar groot en de bijbehorende bron.

Tabel 15 – Bereik van de planten + bronvermelding

Plant	Wortellengte in cm	Bron
Grote weegbree (<i>Plantago major</i>)	12	(Dijkstra, 2001)
Tuingeranum (<i>Pelargonium hortorum</i>)	20	(Pelargonium for Europe, n.d.)
Pijlriet (<i>Arundo donax</i>)	40	(Atma et al., 2017)
Zwarte populier (<i>Populus nigra</i>)	45	(Landscape Plants, n.d.)
Pluimhortensia (<i>Hydrangea paniculata</i>)	50	(Tuinplanten, n.d.)
Katwilg (<i>Salix viminalis</i>)	90	(Pietrzykowski et al, 2020)
Witte mosterd (<i>Sinapis alba</i>)	100	(Hajzler et al. 2011)
Koolzaad (<i>Brassica napus</i>)	150	(Koscienly en Gulden, 2012)
Luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	200	(Dolling en Revell, 2018)
Olifantsgras (<i>Miscanthus giganteus</i>)	244	(Jacobson et al, n.d.)
Gewone zonnebloem (<i>Helianthus annuus</i>)	300	(Sapje, n.d.)
Hennep (<i>Cannabis sativa</i>)	300	(Soesbergen en Lanen, 1992)
Zwarte els (<i>Alnus glutinosa</i>)	360	(WUR, n.d.)

In de MCA zijn de planten op volgorde genummerd van 1 tot en met 13, waarbij nummer 1 staat voor de plant met de kortste wortels en nummer 13 voor de plant met de langste wortels.

Bijlage 4; Uiteenzetting criterium 'invloed van de verontreinigingen op de planten'

In deze bijlage is een overzicht toegevoegd met het effect van elke verontreiniging op de dertien planten, inclusief de bijbehorende bron in de rechterkolom. Per plant is in tabel 16 een 'x' neergezet als in de wetenschappelijke artikelen sprake was van een negatief effect op de plant. Dit is een totaaloverzicht van alle geïnventariseerde gegevens. In tabel 17 is een overzicht te zien met alle mogelijke gevolgen per verontreiniging en de bijbehorende bron bij alle dertien planten.

Alle mogelijke gevolgen voor het opnemen van zware metalen voor planten zijn:

- een groeiachterstand (ten opzichte van de controlegroep);
- een vermindering van de biomassa productie (ten opzichte van de controlegroep);
- chlorose; en
- andere morfotoxicologische symptomen.

Tabel 16 – Overzicht uiteenzetting invloed van de verontreinigingen op de planten

Planten	Score MCA	Groei-achterstand	Vermindering biomassa	Chlorose	Andere morfotoxicologische symptomen
Pelargonium hortorum	1		x		x
Hydrangea paniculata	4				
Helianthus annuus	3		x		
Miscanthus giganteus	3	x	x		
Populus nigra	2			x	x
Salix viminalis	1	x		x	x
Alnus glutinosa	3		x		
Arundo donax	2			x	
Plantago major	4				
Cannabis sativa	3		x		
Brassica napus	1	x	x	x	
Medicago sativa	3		x		
Sinapis alba	3	x			

De opbouw van de score is als volgt:

- 1) Als in de wetenschappelijke artikelen sprake was van de volgende effecten, heeft de plant een score van 1 gekregen:
 - een groeiachterstand en/of een verminderde biomassa; en
 - chlorose en/of morfotoxicologische symptomen.
- 2) Als in de wetenschappelijke artikelen sprake was van chlorose en/of morfotoxicologische symptomen, heeft de plant een score van 2 gekregen. Door de invloed op de chlorofylaanmaak of morfotoxicologische symptomen zal het functioneren van de plant afnemen. Dit effect is groter dan de invloed op de groei en de biomassa, waardoor dit een 2 heeft gekregen.
- 3) Als in de wetenschappelijke artikelen sprake was van een groeiachterstand en/of een verminderde biomassa, heeft de plant een score van 3 gekregen.
- 4) Als er geen effecten zijn waargenomen door zware metalen op de plant, heeft de plant een score van 4 gekregen.

Tabel 17 – Effect op de planten aangegeven per verontreiniging + bijbehorende bron

Plant	Metaal	Effect	Bron
Gewone zonnebloem (<i>Helianthus annuus</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. koper 3. lood 4. zink	Lood en cadmium • vermindering biomassa van scheuten Koper • vermindering biomassa van wortels en scheuten	Alaboudi et al. (2018) Lothe et al. (2016)
Pluimhortensia (<i>Hydrangea paniculata</i>)	Fyto-extractie: 1. koper 2. lood	Geen	Forte en Mutiti (2017)
Tuingeraniums (<i>Pelargonium hortorum</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. chroom 3. lood 4. nikkel	Cadmium • vermindering biomassa • morfotoxicologische symptomen Lood • vermindering biomassa	Gul et al. (2023) Manzoor et al. (2020)
Zwarte els (<i>Alnus glutinosa</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. chroom 3. koper 4. lood 5. zink	Cadmium en koper • vermindering biomassa	Świątek et al. (2019)
Zwarte populier (<i>Populus nigra</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. chroom 3. koper 4. lood 5. mangaan 6. nikkel zink	Cadmium, koper en lood • afname opnamecapaciteit voedingsstoffen • chlorose • morfotoxicologische symptomen	El-Mahrouk et al. (2020)
Katwilgen (<i>Salix viminalis</i>)	Fytostabilisatie: 1. cadmium 2. koper 3. nikkel 4. zink	Cadmium • groeiachterstand • chlorose • morfotoxicologische symptomen	Sandil en Gowala (2022)
Pijlriet (<i>Arundo donax</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. nikkel	Cadmium • chlorose	Hussain et al. (2013)
Olifantsgras (<i>Miscanthus giganteus</i>)	Fyto-extractie: 1. koper 2. nikkel 3. zink Fytostabilisatie: 4. cadmium 5. kwik	Cadmium en kwik • groeiachterstand • vermindering biomassa	Zgorelec et al. (2020)

Koolzaad (<i>Brassica napus</i>)	Fyto-extractie: 1. arseen 2. cadmium 3. koper 4. lood zink	Arseen • chlorose Cadmium • groeiachterstand • verminderde biomassa Koper • groeiachterstand • verminderde biomassa	Niazia et al. (2017) Ehsan et al. (2014) Reed en Glick (2005)
Hennep (<i>Cannabis sativa</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. koper 3. lood 4. nikkel zink	Cadmium, koper, lood nikkel en zink • vermindering biomassa	Meers et al. (2005)
Luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. koper 3. lood zink	Cadmium, zink en lood • verminderde biomassa	Mathur en Panwar (2024)
Grote weegbree (<i>Plantago major</i>)	Fyto-extractie: 1. cadmium 2. lood Fytostabilisatie: 3. chroom 4. koper 5. nikkel 6. zink	Geen	Romeh et al. (2016)
Witte mosterd (<i>Sinapis alba</i>)	Fyto-extractie: 1. arseen 2. cadmium 3. koper 4. lood 5. zink	Arseen • groeiachterstand	Vasilache et al. (2023)

Bijlage 5; Uiteenzetting criterium 'levensduur'

In deze bijlage staat een beschrijving van de levensduur van de planten. Dit is een criterium van de MCA die te zien is in hoofdstuk 4.

In tabel 18 is een overzicht te zien van de maximale leeftijd die de plantensoorten meestal bereiken. De planten zijn gerangschikt van de kortste levensduur naar de langste levensduur.

Tabel 18 – Levensduur van de planten + bronvermelding

Plant	Score	Levensduur	Bron
Koolzaad (<i>Brassica napus</i>)	1	Eénjarig	(Keukenplanten, n.d.b)
Hennep (<i>Cannabis sativa</i>)	1	Eénjarig	(Keukenplanten, n.d.a)
Gewone zonnebloem (<i>Helianthus annuus</i>)	1	Eénjarig	(Cruydt Hoeck, n.d.)
Witte mosterd (<i>Sinapis alba</i>)	1	Eénjarig	(Keukenplanten, n.d.c)
Pijlriet (<i>Arundo donax</i>)	2	Meerjarig	(GroenRijk, n.d.)
Pluimhortensia (<i>Hydrangea paniculata</i>)	2	Meerjarig	(Picture This, n.d.c)
Tuingeranum (<i>Pelargonium hortorum</i>)	2	Meerjarig	(Tuinadvies, n.d.b)
Grote weegbree (<i>Plantago major</i>)	2	Meerjarig	(Ecopedia, n.d.)
Katwilg (<i>Salix viminalis</i>)	2	Meerjarig	(EcoFlora, n.d.)
Luzerne (<i>Medicago sativa</i>)	3	12 jaar	(Horse Pure, 2024)
Olifantsgras (<i>Miscanthus giganteus</i>)	4	20 jaar	(Ekoland, 2021)
Zwarte els (<i>Alnus glutinosa</i>)	5	100 jaar	(Voedselbos Emmeloord, n.d.)
Zwarte populier (<i>Populus nigra</i>)	6	150 jaar	(BNNVARA, 2014)

De opzet van de score is als volgt:

- 1) Eénjarige planten hebben een score van 1 gekregen;
- 2) Meerjarige planten hebben een score van 2 gekregen;
- 3) Planten die 10 tot 50 jaar kunnen worden hebben een score van 3 gekregen;
- 4) Planten die 50 tot 100 jaar kunnen worden hebben een score van 4 gekregen;
- 5) Planten die 100 tot 150 jaar kunnen worden hebben een score van 5 gekregen; en
- 6) Planten die 150 jaar of ouder kunnen worden hebben een score van 6 gekregen.

Bijlage 6; Uiteenzetting criterium 'standplaatsfactoren van de planten'

In deze bijlage is een toelichting te zien van het criterium 'standplaatsfactoren van de planten'. In tabel 19 is een overzicht te zien met de eisen waaraan de standplaats moet voldoen, zodat de planten optimaal kunnen groeien.

Tabel 19 – Totaaloverzicht standplaatsfactoren per plant + verdeling in de MCA

Soort plant	Verdeling MCA	Specifieke standplaats	Verzorging vóór planten	Intraspecifieke concurrentie	Waterhuishouding
Helianthus annuus	7	pH tussen de 6 en 7,5		Ja, 30 centimeter van elkaar af	Veel drainage
Hydrangea paniculata	8	Neutraal tot licht zuur			
Pelargonium hortorum	10			Ja, zie verzorging	Veel drainage
Alnus glutinosa	9	Mineraalrijke bodems met een pH van 5,5 tot 7,5		Ja, minimaal 1 meter van elkaar af, maar meer afstand is beter vanwege de beschikbaarheid van voedingsstoffen	Niet specifiek, omdat ze op droge tot natte bodems voorkomen
Populus nigra	3	pH hoger dan 6,5		Ja, 4 meter van elkaar af	Altijd vochtig tot nat, maar geen verdichte bodem
Salix viminalis	4	Hoe hoger de temperatuur, hoe meer verontreiniging de bomen kunnen opnemen		Ja, 3 meter van elkaar af	Vochtig tot nat
Arundo donax	1	Warm en beschut			Vochtige bodem
Miscanthus giganteus	2	pH tussen de 5,5 en 7,5	Onkruid weghalen		Vochtige bodem, vooral in de eerste jaren van de groei
Brassica napus	6	Neutrale pH			De plant mag droger staan
Cannabis sativa	5	Zonnige plek			Vochtige bodem
Medicago sativa	12				
Plantago major	13				

Sinapis alba	11	De bodem moet goed waterdoorlatend zijn			Niet specifiek, omdat ze op droge tot natte bodems voorkomen
---------------------	----	---	--	--	--

In de tabel is de verdeling te zien voor de standplaatsfactoren voor de planten die zijn geïnventariseerd. De onderbouwing van de verdeling is als volgt:

1. Pijlriet heeft de meest specifieke standplaatsfactoren, omdat de bodem vochtig moet blijven en ze warm en beschut moeten staan. Dit is een specifieke plek, aangezien de planten worden gebruikt in een open veld.
2. Olifantsgras heeft daarna de meest specifieke standplaats, omdat de bodem ook vochtig moet blijven. Daarnaast moet de pH tussen de 5,5 en 7,5 blijven. De extra verzorging vóór het planten is het veld vrijmaken van onkruid en andere planten die kunnen concurreren om ruimte en voedingsstoffen met de jonge planten.
3. De zwarte populier heeft daarna de meest specifieke plek nodig, omdat ze ook vochtig moeten staan met specifieke pH van 6,5 of hoger. Door intraspecifieke concurrentie moet erop worden gelet dat ze minimaal vier meter van elkaar afstaan.
4. Katwilgen hebben wat minder eisen aan de standplaats. Katwilgen hebben ook minimaal een vochtige bodem nodig om goed te kunnen groeien. Ook hierbij moet worden gelet op de afstand tussen de bomen. De onderlinge afstand moet minimaal drie meter zijn.
5. Hennep heeft ook een vochtige bodem nodig. Daarnaast hoeft alleen een locatie gevonden te worden die zonnig is.
6. Koolzaad heeft ook een specifiekere plek nodig, maar kan op een drogere bodem staan met een pH rond de 7.
7. Zonnebloemen kunnen op diverse bodems staan met een pH tussen de 6 tot 7,5. Wel moet worden gelet op een onderlinge afstand van 30 centimeter.
8. Pluimhortensia's hebben ook een bodem nodig met een pH die varieert tussen neutraal tot licht zuur. Hierbij hoeft alleen niet gelet te worden op een onderlinge afstand.
9. Zwarte elzen kunnen op diverse bodems staan, waarbij de pH nog meer mag variëren. Namelijk tussen de 5,5 en 7,5. Ook hierbij moet erop worden gelet dat de bomen niet te dicht op elkaar staan. Zwarte elzen moeten minimaal één meter van elkaar afstaan.
10. Tuingeraniums kunnen op diverse soorten bodem worden geplant. Behalve een goede drainage heeft deze plant niets anders nodig.
11. Witte mosterd kan ook op diverse bodems voorkomen, maar heeft in tegenstelling tot geraniums geen extra drainage nodig.
12. Luzerne heeft geen specifieke standplaatsen, omdat de plant van nature in bewerkte en omgewoelde bodem voorkomt.
13. De grote weegbree heeft ook geen specifieke standplaats. Omdat het een tredplant is, kan die op nog iets meer soorten locaties worden toegepast dan luzerne. De plant is namelijk niet gevoelig voor betreding.

Bijlage 7; Uiteenzetting criterium 'verzorging van de planten'

In deze bijlage is een overzicht te zien met de verzorging die de planten nodig hebben om optimaal te kunnen groeien. In tabel 20 is per onderwerp de verzorging te zien. Onderaan de tabel wordt de opzet van de categorieën toegelicht.

Tabel 20 – Totaaloverzicht verzorging van de planten + indeling in de MCA

Soort plant	Score MCA	Extra water in zomer	Snoeien	Extra bemesten	Vorbereidingen voor de winter	Ziektegevoelig
Helianthus annuus	1		Alleen als ze onder hun eigen gewicht bezwijken			Ja
Hydrangea paniculata	3	Ja	Tot tientallen centimeters boven de grond snoeien in februari	Extra humus toedienen		
Pelargonium hortorum	1	Ja	Pollen splitsen	Extra humus toedienen	Afdekken voor de vorstperiode	Ja
Alnus glutinosa	6					
Populus nigra	4	Ja	Uitdunnen om goed te blijven groeien			
Salix viminalis	3	Ja	Na drie jaar afzagen tot ongeveer 2 meter	Ja, bladafval of mest		
Arundo donax	2	Ja	Snoeien d.m.v. uitdunning of een begrenzing plaatsen, omdat de plant bekend staat als een soort die snel de ruimte inneemt		Voor de winter of afdekken met een daarvoor bestemd winterdek	
Miscanthus giganteus	6					
Brassica napus	4			Ja, ze staan graag op voedselrijke bodems		
Cannabis sativa	6					
Medicago sativa	5			Ja, ze staan graag op matige tot voedselrijke bodems		
Plantago major	5			Optioneel kan extra mest worden toegediend voor grotere planten		
Sinapis alba	6					

Ook voor dit criterium zijn categorieën opgesteld. Hierbij zijn de volgende verzorgingspunten samengevoegd.

De planten die de meeste verzorging nodig hebben, zijn de planten die ziektegevoelig zijn. Hierdoor moet regelmatig worden gecontroleerd op ziekte en plagen, zodat deze zo snel mogelijk kunnen worden bestreden. Zieke planten kunnen minder goed groeien en zijn minder effectief bij het vastzetten aan de bodembestanddelen of het opnemen in de vezels van de zware metalen. Hierdoor krijgen deze planten een score van 1.

Planten in de tweede categorie hebben minder verzorging nodig dan planten van categorie 1, maar nog wel veel. Deze planten hebben de volgende verzorging nodig:

- het extra bewateren in de zomer;
- een snoeibeurt geven voor een optimale groei;
- het extra bemesten; en
- voorbereidingen treffen voor de winter/vorstperiode.

Planten van de derde categorie hebben iets minder verzorging nodig. Hierbij moet worden gedacht aan:

- het extra bewateren in de zomer;
- een snoeibeurt geven voor een optimale groei; en
- het extra bemesten.

Planten in de vierde categorie hoeven alleen extra water in de zomer en een snoeibeurt te krijgen.

Planten in de vijfde categorie hoeven alleen gesnoeid te worden of extra mest toegediend te krijgen.

Planten in de zesde categorie hebben geen extra verzorging nodig.

Bijlage 8; Uiteenzetting criterium 'verwerkbaarheid'

In deze bijlage is de toelichting van de categorieën voor het criterium 'verwerkbaarheid' te zien. Voor dit criterium is een overzicht gemaakt van alle verschillende producten waarin de planten kunnen worden verwerkt. Vervolgens zijn alle producten in een categorie geplaatst op basis van het risico van de zware metalen in producten voor mensen, dieren en de natuur. Een toelichting op de categorieën voor dit criterium is te zien onderaan tabel 21.

In tabel 21 is een overzicht te zien van de producten waarin de vezels van de plant nog kunnen worden verwerkt. Per plant is ook de bijbehorende bron te zien.

Tabel 21 – Totaaloverzicht voor de verwerking van de planten in producten met bronvermelding

Planten	Producten	Bron
1. Helianthus annuus	• biobrandstof • bioplastics • cosmetica • harsen • plantaardige olieproducten • veevoer • verf • vogelzaadmixen • zeep	(Wikifarmerredactie, 2023)
2. Hydrangea paniculata	• kruidengeneesmiddelen	(Lang et al, 2021)
3. Pelargonium hortorum	• etherische oliën • verzorgingsproducten	(Pelargonium for Europe, 2024) en (Nodes, 2021)
4. Alnus glutinosa	• bezems • bouw materiaal • brandhout • kisten • meubels • perslijsten • speelgoed • triplex	(Houtinfo, n.d.) en (Haardhout, n.d.)
5. Populus nigra	• meubels • spaanplaat • zaaghout	(Houtverf, 2023) en (Bomenstichting, n.d.)
6. Salix viminalis	• gereedschapsstelen • klompen • schuttingen en schermen • speelgoed • tuinversiering • verpakkingen	(Van Aalsburg, 2022) en (Wilhout, 2024).
7. Arundo donax	• hengels • muziekinstrumenten • wandelstokken	(CIR, 2022)
8. Miscanthus giganteus	• biobrandstof • bioplastic • bouwmaterialen • energieopwekking • papier	(Delphy BV, 2019)

	• plaatmateriaal • strooisel voor (landbouw)huisdieren	
9. Brassica napus	• glansmiddel • kaarsen • kunstharsen • smeerolie • textiel • veevoer • voedingsmiddelen • wasmiddel • zeep	(Kennissakker, 2003)
10. Cannabis sativa	• bioplastic • bouwmaterialen • biobrandstof • cosmetica • isolatiemateriaal • papier • textiel	(Dun Argo Hemp Group, 2023) en (Agriculture and rural development, n.d.)
11. Medicago sativa	• biobrandstof • bioplastic • glansmiddelen • groenbemester • hooi • kaarsen • kruidengeneesmiddelen • kunstharsen • leerbehandelingen • schoensmeer • veevoer • zeep	(Wikifarmer, 2022) en (Lamont & Lambrechts, 2005)
12. Plantago major	• kruidengeneesmiddelen	(Naturitas, 2021)
13. Sinapis alba	• biobrandstof • kookolie • verzorgingsproducten • voedingsconservering	(Mitrović et al., 2020)

Op basis van de specifieke verwerking van de planten is één lijst gemaakt waarin alle producten zijn weergegeven. Op deze manier konden alle individuele producten worden ingedeeld voor het toekennen van een score voor de MCA. De score die elk product heeft gekregen is te zien in tabel 22. Onderaan de tabel is een beschrijving toegevoegd met de onderbouwing van de categorieën die zijn opgesteld voor dit criterium.

Tabel 22 – Verwerkbaarheid van de planten in producten verdeeld in drie categorieën

Product	Indeling in categorie
Brandhout	1
Brandstof	1
Cosmetica	1
Energieopwekking	1
Etherische oliën	1

Groenbemester	1
Kaarsen	1
Muziekinstrumenten	1
Olieproducten	1
Strooisel	1
Textiel	1
Verzorgingsproducten	1
Wasmiddel	1
Glansmiddel	2
Leerbehandelingen	2
Schoensmeer	2
Smeerolie	2
Bezems	3
Bioplastic	3
Bouwmaterialen	3
Gereedschapsstelen	3
Hengels	3
Isolatiematerialen	3
Kisten	3
Klompen	3
Kunstharsen	3
Meubels	3
Papier	3
Perslijsten	3
Plaatmateriaal	3
Schuttingen en schermen	3
Spaanplaat	3
Speelgoed	3
Triplex	3
Tuinversiering	3
Verf	3
Verpakkingen	3
Wandelstokken	3
Zaaghout	3

Bij dit criterium is een onderscheid gemaakt in de soorten risico's die producten met zware metalen met zich meebrengen. Ook bij dit criterium zijn categorieën gemaakt. De volgende categorieën zijn opgesteld voor dit criterium:

1. *Categorie 1:* bij het gebruik van producten in categorie 1 kunnen de zware metalen door middel van verbranding, consumptie of via contact met de huid het lichaam binnenkomen. Deze categorie is het laagste, omdat het niet gewenst is dat de zware metalen het lichaam kunnen binnenkomen;
2. *Categorie 2:* de planten van categorie 2 worden gebruikt in producten waarmee mensen contact zullen hebben, maar minder intensief dan bij de producten van categorie 1. Dit zijn bijvoorbeeld verpakkingsmaterialen. Ook bij deze producten is het noodzakelijk om onderzoek te doen om uit te kunnen sluiten dat het product nadelige gevolgen heeft voor de gezondheid;
3. *Categorie 3:* dit zijn producten waarmee mensen en het milieu ook contact zullen krijgen, maar waarbij wordt ingeschat dat de zware metalen in het product vastzitten en bij gebruik

niet zullen vrijkomen. Toch is het verstandig om ook de mogelijke gezondheidsrisico's te onderzoeken die het gebruik van deze producten met zich meebrengt.

Als laatste stap om de score per plant voor dit criterium te bepalen is gekeken in hoeveel producten uit categorie 2 en 3 de planten nog verwerkt kunnen worden. Op deze manier zijn de producten die mogelijk de grootste gezondheidsrisico's met zich meebrengen al uit de lijst gehaald.

Bijlage 9; Uiteenzetting criterium ‘beperkingen voor de verwerking’

In deze bijlage zijn in tabel 23 de grenswaarden voor zware metalen te zien per product. Ook wordt aangegeven uit welke wet of richtlijn deze grenswaarden komen. De tabel bevat alleen producten die zijn bedoeld voor niet-consumptiedoeleinden.

Tabel 23 – Grenswaarden voor zware metalen per product en waar deze regels staan beschreven

Product	Grenswaarde		Regel/richtlijn
	Stof	Grenswaarde in ppm	
Biobrandstof (uitstoot), energieopwekking	Arseen	0,05	(Art. 4.49b Bal, 2024)
	Cadmium	0,005	
	Chroom	0,05	
	Koper	0,05	
	Kwik	0,003	
	Nikkel	0,05	
	Lood	0,02	
	Zink	0,02	
Bioplastic, kisten, papier en andere verpakkingen	Lood + kwik + zeswaardig chroom (Cr 6+) + cadmium	100 ppm voor alle stoffen bij elkaar. Wel moeten producenten na 2010 zoveel mogelijk maatregelen treffen dat deze waarde zo laag mogelijk is.	(Art. 11 Richtlijn 94/62/EG, 1994)
Bouwmaterialen, isolatiemateriaal, plaatmateriaal, kunstharsen, spaanplaat, triplex	Volgens de Verordening (EU) 305/2011 van 9 maart 2011, mag er uit bouw- en isolatiematerialen geen emissie van toxische gassen of van gevaarlijke stoffen vrijkomen. Uitspoeling van stoffen en emissies naar het milieu moet ook worden voorkomen.		(Bijlage 2 Verordening 305/2011, 2011)
Brandhout voor huishoudens	De grenswaarden worden per gemeente opgesteld. Als er geen grenswaarden zijn opgenomen, dient men te voldoen aan artikel 1.6 en 1.7 van de Omgevingswet waarin wordt verwezen naar de zorgplicht. Aanvullend adviseren omgevingsdiensten geen hout te verstoken waarin schadelijke stoffen zitten.		(Omgevingsdienst Haaglanden, 2021) en (Omgevingsdienst Haaglanden, 2024)
Cosmetica, verzorgingsproducten, plantaardige	Arseen	0	(Bijlage 2 1223/2009 (herschikking), 2009)
	Cadmium		
	Chroom		

olieproducten, etherische oliën, schoensmeer, glansmiddel en wasmiddel	Koper		
	Lood		
	Nikkel		
	Zink in diverse verbindingen als: zinkacetaat, zinkchloreide, zinkoxide, zinkstearaat, Zinkpyrithion_		
Meubels	Arseen	25	(Bijlage criterium 3.2a 2016/1332, 2016)
	Cadmium	50	
	Chloor	1.000	
	Chroom	25	
	Fluor	100	
	Koper	40	
	Kwik	25	
	Lood	90	
Smeerolie**	Zware metalen	0	(Interflon, 2022)
Speelgoed (droog/vast materiaal)	Arseen	3,8	(Art. 13 2009/48/EG, 2009)
	Cadmium	1,9	
	Chroom (VI)	0,02	
	Koper	622,5	
	Kwik	7,5	
	Lood	13,5	
	Nikkel	75	
	Zink	3.750	
Strooisel voor (landbouw)huisdieren*	Arseen	2	(Bijlage 1 richtlijn 2002/32, 2002)
	Cadmium	1	
	Kwik	0,1	
	Lood	10	
Textiel	Arseen	0	(Bijlage 17 richtlijn 1907/2006, 2006)
	Cadmium		
	Chroom		
	Zink		
	Nikkel		
Verf die wordt gebruikt op hout/ metaal	Cadmium, lood, chroom VI, kwik, arseen of selenium	100	(Besluit (EU) 2016/1332, 2016)

* Deze grenswaarden zijn gebaseerd op de regels voor diervoeding, omdat het mogelijk is dat de dieren het strooisel opeten.

** Deze grenswaarden gelden voor machines waarbij de smeerolie in aanraking kan komen met producten die geconsumeerd kunnen worden of in aanraking komen met de huid, zoals voedsel, medicijnen en cosmetica.

Op basis van tabel 23 zijn de producten gerangschikt naar de grenswaarden aan zware metalen die een product mag bevatten. Hierbij staat nummer 1 voor de meest strenge eisen voor de kwaliteit van producten en 37 voor de minst strenge eisen voor producten.

Vanaf nummer 22 (kaarsen) zijn er geen specifieke regels gevonden. Producenten moeten nog wel voldoen aan algemene regels voor het waarborgen van de gezondheid van mensen en een goede kwaliteit van het milieu. Er is een indeling gemaakt op basis van het mogelijke effect dat producten met zware metalen kunnen hebben op de gezondheid van mensen. Bovenaan de lijst staan producten waar mensen direct mee in contact kunnen komen, waardoor er overdracht kan zijn van schadelijke stoffen naar bijvoorbeeld het ademhalingsstelsel of via de huid. Verder is de volgorde vanaf nummer 22 gebaseerd op de mate waarin producten in het dagelijks leven worden gebruikt. Bovenaan de lijst staan producten waarmee de meeste mensen regelmatig in contact komen en onderaan de lijst staan producten waarmee mensen in een gemiddelde week minder of niet in aanraking komen. Vanuit deze oogpunten is de volgorde van de producten als volgt:

1. kruidengeneesmiddelen
2. verzorgingsproducten
3. cosmetica
4. textiel
5. etherische oliën
6. olieproducten
7. schoensmeer
8. brandhout
9. wasmiddel
10. glansmiddel
11. smeerolie
12. biobrandstof
13. energieopwekking
14. strooisel
15. speelgoed
16. meubels
17. bioplastic
18. papier
19. kisten
20. verpakkingen
21. verf
22. kaarsen
23. muziekinstrumenten
24. leerbehandelingen
25. isolatiematerialen
26. bouwmaterialen
27. plaatmateriaal
28. spaanplaat
29. triplex
30. kunstharsen
31. klompen

32. bezems
33. wandelstokken
34. tuinversiering
35. hengels
36. gereedschapsstelen
37. schuttingen en schermen
38. perslijsten

Alle producten, samen met de bijbehorende nummers, zijn in een tabel opgenomen om een totaaloverzicht te krijgen. Dit overzicht toont de producten waarin de plantenvezels nog kunnen worden verwerkt, samen met de bijbehorende grenswaarden voor zware metalen. Een overzicht van deze producten en de beperkingen voor de verwerking is te zien in tabel 24.

Tabel 24 – Overzicht met de score van elk product ingedeeld per plantensoort

Plant	Product	Indeling
<i>Pelargonium hortorum</i>	verzorgingsproducten	2
	etherische oliën	5
<i>Hydrangea paniculata</i>	kruidengeneesmiddelen	1
<i>Helianthus annuus</i>	zeep	2
	cosmetica	3
	olieproducten	6
	biobrandstof	12
	plastics	17
	verf	21
	harsen	30
<i>Miscanthus giganteus</i>	biobrandstof	12
	energieopwekking	13
	strooisel voor (landbouw)huisdieren	14
	plastic	17
	papier	18
	bouwmaterialen	26
	plaatmateriaal	27
<i>Populus nigra</i>	meubels	16
	zaaghout (bouwmaterialen)	26
	spaanplaat	28
<i>Salix viminalis</i>	speelgoed	15
	verpakkingen	20
	klompen	31
	tuinversiering	34
	gereedschapsstelen	36
	schuttingen en schermen	38
<i>Alnus glutinosa</i>	brandhout	8
	speelgoed	15
	meubels	16
	kisten	19
	bouwmateriaal	26
	triplex	29
	bezems	32
	perslijsten	38

Arundo donax	muziekinstrumenten	23
	wandelstokken	33
	hengels	35
Plantago major	kruidengeneesmiddelen	1
Cannabis sativa	cosmetica	3
	textiel	4
	biobrandstof	12
	bioplastic	17
	papier	18
	isolatiemateriaal	25
	bouwmaterialen	26
Brassica napus	zeep (verzorgingsproducten)	2
	textiel	4
	wasmiddel	9
	glansmiddel	10
	smeerolie	11
	kaarsen	22
	kunstharsen	30
Medicago sativa	zeep (verzorgingsproducten)	2
	schoensmeer	7
	glansmiddelen	10
	biobrandstof	12
	bioplastic	17
	kaarsen	22
	leerbehandelingen	24
	kunstharsen	30
Sinapis alba	verzorgingsproducten	2
	biobrandstof	12

Op basis van tabel 24 zijn de planten ingedeeld in de MCA. In tabel 25 is de volgorde en een korte samenvatting van de mogelijke producten waarin de plantenvezels nog verwerkt kunnen worden te zien. Onderaan tabel 25 is een toelichting te zien op de scores die aan de planten zijn gegeven.

Tabel 25 – Indeling van de planten voor beperkingen voor de verwerking

Score	Plant	Motivering
1.	<i>Plantago major</i>	De grote weegbree wordt niet in grote hoeveelheden verwerkt in producten. Als de vezels van de plant wel verwerkt zouden worden, heb je veel nodig aangezien de planten klein zijn.
2.	<i>Hydrangea paniculata</i>	Pluimhortensia's worden ook niet veel toegepast in producten. Als de vezels wel gebruikt zouden worden, dan zijn ze geschikter dan vezels van de grote weegbree vanwege de grootte.
3.	<i>Pelargonium hortorum</i>	Geraniums worden voornamelijk in verzorgingsproducten gebruikt waarvoor strenge regels gelden.
4.	<i>Brassica napus</i>	Koolzaad wordt veel in verzorgingsproducten en wasmiddelen gebruikt. Hierdoor is de kans dat de stoffen het lichaam kunnen komen erg groot.
5.	<i>Cannabis sativa</i>	Door de toepassing in cosmetica en textiel staat hennep hoger op in de lijst, maar minder hoog dan geraniums en koolzaad omdat hennep meer verschillende toepassingen heeft. Hennep is nummer vijf in de lijst, omdat mensen deze producten op de huid dragen, waarbij de kans dat de zware metalen in het lichaam binnen kunnen komen erg groot is.

6.	<i>Helianthus annuus</i>	Zonnebloemen worden ook in veel verzorgingsproducten en zeep gebruikt, maar kunnen ook andere toepassingen krijgen waarvoor minder strenge eisen gelden.
7.	<i>Medicago sativa</i>	Luzerne is nummer zeven, omdat het in persoonlijke verzorgingsproducten en producten voor bijvoorbeeld schoenen en meubels kan worden verwerkt. Met deze producten zullen mensen vaak in aanraking komen. Ook wordt het vaak gebruikt in producten die verstookt kunnen worden, waardoor de zware metalen weer vrij kunnen komen.
8.	<i>Sinapis alba</i>	Witte mosterd wordt ook in verzorgingsproducten gebruikt en producten die verstookt worden, maar staat na luzerne omdat het in minder producten wordt gebruikt.
9.	<i>Alnus glutinosa</i>	Naast de toepassing voor brandhout wordt het hout van elzen gebruikt in producten waar mensen af en toe mee in aanraking kunnen komen.
10.	<i>Arundo donax</i>	Door de toepassing in muziekinstrumenten is het gebruiksrisico groot als bijvoorbeeld rieten worden gemaakt van vezels die verontreinigingen bevatten.
11.	<i>Populus nigra</i>	Het hout van deze bomen wordt minder vaak dan de zwarte els gebruikt in producten waar mensen regelmatig mee in aanraking komen.
12.	<i>Miscanthus giganteus</i>	Olifantsgras wordt vooral in producten gebruikt die niet direct in contact komen met de huid.
13.	<i>Salix viminalis</i>	Wilgen worden vaak gebruikt in producten waar mensen niet regelmatig en niet direct mee in aanraking komen.

1. *Grote weegbree*: de grote weegbree heeft de minste voorkeur gekregen, omdat deze plant voornamelijk wordt gebruikt in producten die mensen consumeren. Als de plant in andere producten verwerkt kan worden, zou de vezelopbrengst kleiner zijn dan bij pluimhortensia's.
2. *Pluimhortensia*: pluimhortensia's worden ook gebruikt in kruidengeneesmiddelen, waardoor de vezels niet kunnen worden gebruikt vanwege de aanwezigheid van zware metalen.
3. *Geraniums*: geraniums worden voornamelijk in verzorgingsproducten gebruikt waarvoor strenge regels gelden.
4. *Koolzaad*: koolzaad wordt veel in verzorgingsproducten en wasmiddelen gebruikt. Hierdoor is de kans dat de stoffen in het lichaam kunnen komen erg groot.
5. *Hennep*: door de toepassing in cosmetica en textiel staat hennep hoger op in de lijst, maar minder hoog dan geraniums en koolzaad. Hennep heeft namelijk meer verschillende toepassingen. Hennep is nummer vijf in de lijst, omdat mensen deze producten op de huid dragen. Hierbij bestaat de kans dat de zware metalen het lichaam kunnen binnenkomen.
6. *Zonnebloem*: zonnebloemen worden ook in veel verzorgingsproducten en zeep gebruikt, maar kunnen ook andere toepassingen krijgen waarvoor minder strenge eisen gelden.
7. *Luzerne*: luzerne is nummer zeven, omdat het in persoonlijke verzorgingsproducten en producten voor bijvoorbeeld schoenen en meubels kan worden verwerkt. Met deze producten zullen mensen vaak in aanraking komen. Ook wordt het vaak gebruikt in producten die verstookt kunnen worden, waardoor de zware metalen weer vrij kunnen komen.
8. *Witte mosterd*: witte mosterd wordt ook in verzorgingsproducten gebruikt en producten die verstookt worden, maar staat na luzerne omdat het in minder producten wordt gebruikt.
9. *Zwarte els*: naast de toepassing voor brandhout wordt het hout van elzen gebruikt in producten waar mensen af en toe mee in aanraking kunnen komen.

10. *Pijlriet*: door de toepassing in muziekinstrumenten is het gebruiksrisico groot als bijvoorbeeld rieten worden gemaakt van vezels die verontreinigingen bevatten. Wel kan pijlriet in andere producten worden verwerkt waarvoor is ingeschat dat het risico minder groot is.
11. *Zwarte populier*: het hout van deze bomen wordt minder vaak dan de zwarte els gebruikt in producten waar mensen regelmatig mee in aanraking komen.
12. *Olifantsgras*: olifantsgras wordt vooral in producten gebruikt die niet direct in contact komen met de huid.
13. *Wilgen*: wilgen worden vaak gebruikt in producten waar mensen niet regelmatig en niet direct mee in aanraking komen.

Bijlage 10; Totaaloverzicht met de concentratie aan zware metalen in de planten

In deze bijlage is een tabel te zien met een totaaloverzicht van alle verschillende verontreinigingen die de planten kunnen opnemen. Per plant is de concentratie weergegeven in de wortels, scheuten/vezels en bladeren en/of een totaalconcentratie. De bijbehorende bron is in de rechter kolom toegevoegd. In tabel 26 zijn deze gegevens te zien.

Tabel 26 – Concentratie in verschillende plantendelen/algehele concentratie per verontreiniging + bijbehorende bron

Metaal	Plant	Begin concentratie	Max. ppm wortels	Max. ppm scheuten	Max. ppm bladeren	Totaal-concentratie	Bron
Arseen	Brassica napus	75	132	38			Naizai et al. (2017)
	Sinapis alba	15	2,56	0,75	0,76	7,89	Vesilache et al. (2023)
Cadmium	Pelargonium hortorum	150	160	250			Gul et al. (2023)
	Helianthus annuus	200				70	Alaboudi et al (2018)
	Miscanthus giganteus	100	6.758				Zgorelec et al. (2020)
	Populus nigra	80	6,65	2,57	3,53		Castigione et al. (2009)
	Salix viminalis	23,9		3			Algreen et al. (2014)
	Alnus glutinosa	0,3	7,18				Świątek et al. (2019)
	Arundo donax	1.000				343	Hussain et al. (2013)
	Plantago major	<2	0,5	0,5			Galal en Shehata (2015)
	Cannabis sativa	5,6				0,5	Meers et al. (2005)
	Brassica napus	50	60	39			Jing et al. (2014)
	Sinapis alba	25	6	5			Díaz et al. (2024)
	Medicago sativa	150	40,91	74,19			Mathur en Panwar (2024)
	Pelargonium hortorum	645	1.600	27,09			Manshadi et al. (2013)
	Alnus glutinosa	4,26	130,62				Świątek et al. (2019)
Chroom	Plantago major	120,4	62,1	17,3			Galal en Shehata (2015)
	Populus nigra						

Koper	Hydrangea paniculata	10.000		1.500	100		Forte en Mutiti (2017)
	Helianthus annuus	150	19	22			Lothe et al. (2016)
	Miscanthus giganteus	400				559	Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015)
	Populus nigra	1.241,33	200	60	250		Castigione et al. (2009)
	Salix viminalis	588		10			Algreen et al. (2014)
	Alnus glutinosa	6,29	20,4				Świątek et al. (2019)
	Plantago major	68,4	53	29,6			Galal en Shehata (2015)
	Cannabis sativa	90				15	Meers et al. (2005)
	Brassica napus	1.000				550	Reed en Glick (2005)
	Sinapis alba	1.707	409	43			Díaz et al. (2024)
	Medicago sativa	669	53,7	26,1			Ju et al. (2020)
Kwik	Miscanthus giganteus	20				108,9	Zgorelec et al. (2020)
Lood	Pelargonium hortorum	700,52	78,32	56,54			Manshadi et al. (2013)
	Hydrangea paniculata	10.000		780	36		Forte en Mutiti (2017)
	Helianthus annuus	400	100,3	76,7	67,3		Adesodum et al. (2010)
	Populus nigra	850	76,2	35,15	47,63		El-Mahrouk et al. (2020)
	Alnus glutinosa	4,64	30,94				Świątek et al. (2019)
	Plantago major	20	75		30		Romeh et al. (2016)
	Cannabis sativa	108				1	Meers et al. (2005)
	Brassica napus	200	90	29			Jing et al. (2014)
	Sinapis alba	5.112	1.560	122			Díaz et al. (2024)
	Medicago sativa	150	40,91	87,95			Mathur en Panwar (2024)
Mangaan	Populus nigra						Tózsér et al. (2023)
Nikkel	Pelargonium hortorum	300	1.022	400,5			Manshadi et al. (2013)

	Miscanthus giganteus	240				291	Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015)
	Populus nigra						Tózsér et al. (2023)
	Salix viminalis	132		0,5			Algreen et al. (2014)
	Arundo donax	50				181,81	Atma et al. (2017)
	Plantago major	53,4	24,6	6,7			Galal en Shehata (2015)
	Cannabis sativa	41				4,8	Meers et al. (2005)
	Zink						
	Helianthus annuus	400	100,3	76,7	67,3		Adesodum et al. (2010)
	Miscanthus giganteus	1.200				648	Korzeniowska en Stanislawska-Glubiak (2015)
	Populus nigra	925	1.200	700	2.000		Castigione et al. (2009)
	Salix viminalis	3.270		110			Algreen et al. (2014)
	Alnus glutinosa						Phytofuture, (n.d.)
	Plantago major	372,1	112,4	68,7			Galal en Shehata (2015)
	Cannabis sativa	575				100	Meers et al. (2005)
	Brassica napus	200	60	39			Jing et al. (2014)
	Medicago sativa	800	650	200			He et al. (2021)
	Sinapis alba	3.739	753	891			Díaz et al. (2024)

Bijlage 11; Interviews

In deze bijlage zijn de verslagen te zien van de interviews die zijn gehouden voor dit onderzoek. Per interviewvraag is een verslag te zien die kort de belangrijkste punten behandelt die aan bod zijn gekomen.

Interview met Karlijn Besse – Onderzoeker voor het project PhytoFuture

18-11-2024

Vragen over het project zelf

Zou u in het kort willen toelichten wat het project precies inhoudt en wat uw functie en rol is in dit project?

Het doel van het project is het maken van een ontwerp voor een eco-industrieel park voor het westelijk havengebied in Amsterdam. In het project worden door middel van drie scenario's verschillende bouwstenen onderzocht. Het aandeel van Karlijn in het project was om onderzoek te doen naar gewassen die in de verschillende scenario's toegepast kunnen worden. Deze planten zullen in de 'oliemoestuin' worden geplant.

Vervolgens is ook gekeken naar de manier waarop de planten ingezet kunnen worden in de bio-economie. Bijvoorbeeld bio-olie of bioplastic.

De kennis die is verzameld tijdens het project is nog niet in de praktijk getest, vanwege de vele restricties in het havengebied. Het plan zelf, inclusief begroting, is echter al opgesteld.

Op welke manier zijn de te onderzoeken planten geselecteerd? En welke eisen zijn hiervoor geweest?

De selectie van de planten was gebaseerd op het type verontreinigingen dat in de bodem zit, welke planten voor deze vervuilingen geschikt zijn en het landschap (waar je de planten kunt inzetten en in welke omstandigheden ze kunnen groeien). Er werd ook gekeken of de planten inheems zijn of niet. De Vlinderstichting heeft hierbij geholpen.

Wat waren de voorbereidingen die zijn getroffen bij het klaarzetten en klaarmaken van het perceel voor het planten van de gewassen?

Middels de verschillende bouwstenen is onderzocht welke planten goed samengaan. Ook dit is in samenwerking met de Vlinderstichting gedaan. Er is gekeken naar hoe de planten zich in de loop van de tijd ontwikkelen. Het is hierbij belangrijk dat het gebied zich succesvol kan ontwikkelen op basis van de visies die zijn opgesteld.

Naar de bodemkenmerken zelf is niet veel gekeken, omdat het project niet door hen zelf zou worden uitgevoerd.

Welke planten zijn tot nu toe als meest geschikt uit de test gekomen?

Een selectie van de meest geschikte planten is gemaakt op basis van de scenario's. In de tweede publicatie op de website van PhytoFuture is beschreven welke scenario's er zijn en welke planten per scenario kunnen worden toegepast.

Vragen voor het project:

Is het bereik van de planten om de verontreiniging aan te pakken beperkt tot alleen de wortelzone van de plant? Dan bedoel ik het bereik van de plant zelf, dus niet bijvoorbeeld de grondwaterstroming die nieuwe verontreiniging kan aanvoeren. En hoe weet je dan hoe groot het bereik is?

Het bereik van de plant is inderdaad alleen hoe ver de rhizosfeer van de plant reikt. De grondwaterstroming en het soort gewas spelen echter ook een rol. Als er nieuw grondwater voorbij stroomt, kan de plant hieruit ook de verontreiniging opnemen. De werking en effectiviteit hangen ook

af van het type gewas, omdat waterplanten bijvoorbeeld een heel andere uitwerking kunnen hebben dan planten die op het land groeien.

In wetenschappelijke artikelen heb ik de translocatiefactor gevonden, maar kon niet precies vinden wat dit betekent. Deze is bijvoorbeeld 0,49. Betekent dit dan dat de plant 49% van de opgenomen verontreiniging van de wortels naar de scheuten afvoert?

Ja, dat klopt. 49% van de opname wordt opgenomen in de bovengrondse delen.

Kun je door middel van een kruistabel met de gegevens van de beginconcentratie en de totale opname in de plant zeggen hoeveel er in totaal uit de bodem is gehaald?

En zou je dan ook kunnen zeggen dat wanneer er bijvoorbeeld 25% uit de bodem is gehaald, dat je 4 keer opnieuw moet planten voordat de verontreiniging weg is?

Het eenvoudigste antwoord op deze vraag is nee. Dit hangt van meerdere factoren af, zoals de beschikbaarheid van de verontreinigingen, de samenstelling van de bodem en mogelijke complexvormingen.

Wat zijn uw werkzaamheden rondom fytoremediatie?

Voor een industriële klant voert zij een project uit op een perceel met PFAS-verontreiniging. Bij het project wordt onderzoek gedaan naar wat er gebeurt met bomen als ze tien jaar lang aan PFAS-verontreiniging worden blootgesteld. De parameters hiervoor zijn de concentratie PFAS in de wortels, de stam en de bladeren.

Ook wordt onderzocht of er herverontreiniging plaatsvindt door onder andere bladval en hoe groot deze verontreiniging dan is. Hetzelfde wordt onderzocht op een nieuw perceel waarop diverse soorten gewassen zijn geplant. De vraag die hierbij beantwoord moet worden is: hoe kan je effectief PFAS uit de bodem halen en waar moet je daarna naartoe met de stam en de bladeren waarin PFAS zit? De klant wil het perceel namelijk gebruiken voor andere doeleinden, waarvoor een schonere bodem nodig is.

Zijn jullie ook bezig met meerdere verontreinigingstypen dan PFAS?

Toen het project op het perceel begon, werd er onderzoek gedaan naar VOCL. Na acht jaar bleek dat er op het perceel veel PFAS-verontreiniging aanwezig was.

Bij TAUW onderzoeken ze ook andere stoffen die door middel van fytoremediatie aangepakt kunnen worden, maar dit komt minder vaak voor dan PFAS-verontreinigingen. De afgelopen jaren zijn er in ieder geval geen projecten voor andere verontreinigingen gestart.

Naast fytoremediatie is TAUW ook bezig met andere saneringstechnieken zoals pomp and treat, ontgravingen en dergelijke. Bij de klanten van TAUW komen natuurlijke saneringen steeds meer in beeld, omdat het saneren van bodemverontreinigingen belangrijker wordt.

Op de site stond dat jullie werken met bomen voor fytoremediatie? Werken jullie nog met andere soorten gewassen of wat is de reden dat jullie alleen met bomen werken?

Voor het project voor VOCL stonden er al bomen. Op twee andere locaties in Nederland was er ook een grote PFAS-verontreiniging in de bodem en in het grondwater waar al een bos stond. Dat bos moest op een gegeven moment gekapt worden, waarbij het hout werd afgevoerd. De vraag aan TAUW was om te onderzoeken hoeveel PFAS in de bodem zit en hoeveel PFAS per ton vegetatie dit dan is.

De kleinere gewassen zijn minder interessant, omdat de bomen de meeste massa innemen op het perceel. Omdat het huidige perceel al vegetatie had, moesten ze werken met de aanwezige gewassen. Dit was in dit geval een perceel met bomen. Bij de proef deden ze onderzoek naar wilgen, populieren en berken.

Voor een ander project op een defensie terrein werd gekeken naar de PFAS in het gras. Dit is belangrijk om te weten vanwege het maaibeheer. Hierbij moest onderzocht worden of er veel PFAS in het gras zit en of het gras vervolgens naar een groenopslag mag. Dit onderzoek werd uitgevoerd op een controleplot. Hiervoor was een plot met een lichte verontreiniging en een plot met een sterke verontreiniging. De conclusie was dat er inderdaad PFAS in het gras zit. Als dit gras wordt uitgereden op een ander stuk grond, kan worden verwacht dat er na een paar jaar daar ook een PFAS-verontreiniging zal zijn.

Hoe lang zijn jullie al bezig met het uitvoeren van fytoremediatie en zijn er al eerste testresultaten?

Het onderzoek loopt al iets langer dan elf jaar. Het onderzoek van het eerste perceel duurde tien jaar. Anderhalf jaar geleden zijn de bomen gekapt en zijn er opnieuw bomen geplant om verder te

onderzoeken. Hierbij is nieuwe aarde toegevoegd. De bomen kunnen dus alleen PFAS opnemen uit het water.

Naast de concentratie in de bomen is ook gekeken naar de concentratie in de threewells. Dit zijn een soort grondwaterzakken waaruit de bomen het water halen. Na één jaar werd er ook al PFAS geconstateerd in de aarde zelf. In de percelen buiten de grondverontreiniging is helemaal geen PFAS waargenomen. Ook is er geen atmosferische depositie vastgesteld.

Van de nieuwe proef zijn er na één jaar monsters genomen. Uit de testresultaten kon worden geconcludeerd dat na één jaar al PFAS in de bladeren van de bomen zat.

Verder hebben ze gewerkt met verschillende bodems. Bij bodems met meer organische stof bleek dat de PFAS hier meer aan blijft plakken.

De algehele conclusie is dat gewassen die meer water opnemen, ook meer PFAS-verontreiniging bevatten. In 2025 hopen ze de eerste resultaten te publiceren.

Wat is belangrijk bij het koppelen van bepaalde gewassen bij verontreinigingen?

Het is heel belangrijk om te onderzoeken welke bomen of gewassen op welk bodemtype geplant kunnen worden. Daarnaast is de beschikbaarheid van water ook belangrijk.

Verder voegt TAUW extra nutriënten toe aan de bomen op het perceel.

Bij verontreinigingen die schadelijk zijn voor de gezondheid van mensen, op welke manier moet er dan gewerkt worden om het contact en verspreiding zoveel mogelijk te beperken?

Hoewel het eerste perceel na tien jaar is leeggehaald, is het nog te vroeg om conclusies te trekken. Tijdens het onderzoek op de industriële locatie is er wel een boomverzorgingsbedrijf ingehuurd om de wilgen te snoeien en de bladeren op te ruimen.

De resultaten van de concentratie in de bladeren zijn al bekend. Hiervoor moet eerst een rekensom worden opgesteld voor de massabalans en de andere modellen.

Wat is jullie ervaring met het verzorgen van de planten? En hebben de planten nog aanvullende zorg nodig in tegenstelling met de natuurlijkere situaties waarin de planten groeien?

Dit is onderzocht samen met een ecooloog die het perceel in kaart heeft gebracht. Aan de gezondheid van alle bomen is niet te zien welke bomen op een bodem met PFAS-verontreiniging staan en welke niet.

Op het perceel waar de bomen stonden, was de PFAS-concentratie dus niet groot genoeg om een nadelig effect op de bomen te hebben. Ook op het andere perceel met gras was er geen verschil te zien tussen gras op een bodem met PFAS en gras op een bodem zonder PFAS.

Op welke manier gaan jullie om met de gewassen bij het oogsten en verwerken of afvoeren van de vezels?

De gekapte bomen zijn verbrand. TAUW heeft contact opgenomen met verschillende stortplaatsen, maar vanwege de stoffen die in het hout zaten, wilde niemand het hout van de bomen aannemen.

Daarnaast is er in Nederland nog geen specifieke regelgeving voor sterk verontreinigde biomassa. De beste en tot nu toe enige manier om het hout weg te brengen is door het te verbranden.

Heeft u nog aanvullende punten op de antwoorden of heeft u nog andere belangrijke punten voor nu die ook belangrijk zouden kunnen zijn?

Natuurlijke bodemsaneringen door middel van fytoremediatie beginnen nu onder de aandacht te komen. Vooral als de planten nog verwerkt worden in andere producten is het belangrijk om dit te bespreken met partijen zoals de gemeente en milieuorganisaties.

Naast deze punten is het belangrijk om na te denken over in welke producten de vezels of het hout van de gewassen nog gebruikt kunnen worden. Als hout met zware metalen bijvoorbeeld in een tuinbankje wordt verwerkt, kan het zijn dat iemand het hout aan het einde van de levensduur gaat verbranden. Hierdoor komen, naast de eventuele coatings, de zware metalen weer terug in de natuur.

Gesprek met een medewerker van het bedrijf Dealin.Green

15-01-2025

Als laatste heeft de student kort gesproken met een medewerker van het bedrijf Dealin.Green. Dit bedrijf heeft een kloon gemaakt van olifantsgras (*Miscanthus giganteus*) die beter bestand is tegen kou en hitte. Deze plant wordt door het bedrijf onder andere ingezet in de Rotterdamse haven, waar het gewas wordt bewaterd met restwater dat afkomstig is van het oppompen van olie. Daarnaast wordt in de haven onderzocht of het diepwortelende olifantsgras oprukkend zeewater kan tegenhouden en wat na de oogst van de planten nog met de vezels gedaan kan worden.

Wat betreft de combinatie van olifantsgras en fytoremediatie wordt het gewas hoofdzakelijk geplant voor vezelteelt. Daarom mijden ze over het algemeen percelen waar verontreiniging aanwezig is. Wel is te zien dat olifantsgras dat op een verontreinigde bodem stond, minder hoog werd.

Verder is het bedrijf voor een nieuw project in gesprek met de Rotterdamse Haven om in overloopgebieden te onderzoeken of olifantsgras geteeld kan worden voor het zuiveren van het water en om de vezels na de oogst te verwerken in bouwmaterialen.

Als aanvulling op de huidige gewassen die het bedrijf gebruikt, zoals Paulownia en Miscanthus, overweegt het bedrijf ook om hennep te gebruiken voor hun nieuwe projecten. De rhizosfeer van hennep zou namelijk robuuster en beter bestand zijn tegen verontreinigende stoffen. Dit maakt de plant geschikt voor het reinigen van de bodem.