



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Notitie 'Zorgstoffen in afvalstoffen'

Heens F.C. e.a.

3 juli 2024

Colofon

Auteurs:

Frieke Heens
Lise de Boer
Marcel Broekman
Emma Witteveen

Contact:

Johannes Lijzen
RIVM-DMG M&V-2024-0147
Johannes.lijzen@rivm.nl

Dit onderzoek is uitgevoerd door RIVM in het kader van het project 'Advies zorgstoffen afval en CE-beleid' in opdracht van Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat doet dit in opdracht van het ministerie van IenW.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Inhoudsopgave

1. Context	5
2. Voorstel zorgstoffen	6
2.1 Beschrijving soorten zorgstoffen	6
2.1.1 Pathogenen	6
2.1.2 Medicijnresten	6
2.1.3 Bestrijdingsmiddelen	7
2.1.4 Radioactieve stoffen	9
2.1.5 Specifiek geclassificeerde chemische stoffen	9
2.2 Conclusies en voorstel	12
3. Inventarisatie zorgstoffen in afvalstoffen	15
3.1 Introductie	15
3.2 Resultaten: zorgstoffen in afvalstoffen	15
3.2.1 Pathogenen	15
3.2.2 Medicijnresten (mens en dier)	17
3.2.3 Biociden	18
3.2.4 Gewasbeschermingsmiddelen	19
3.2.5 Metalen en metaalverbindingen	20
3.3 Uitwerking casussen	22
4. Casussen	24
4.1 Casus houtafval (A/B hout)	24
4.1.1 Beschrijving afvalstof	24
4.1.2 Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard	24
4.1.3 Nieuwe verwerkingsmethodes	25
4.1.4 Aanwezigheid zorgstoffen	26
4.1.5 Mogelijke risico's en handelingsperspectieven m.b.t. het verwijderen van zorgstoffen	28
4.1.6 Conclusie	30
4.2 AVI bodemassen	30
4.2.1 Beschrijving afvalstof	30
4.2.2 Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard	30
4.2.3 Aanwezigheid zorgstoffen	33
4.2.4 Mogelijke risico's van metalen in bodemassen en handelingsperspectieven m.b.t. het verwijderen van zorgstoffen	34
4.2.5 Mogelijkheden om zorgstoffen te voorkomen en te verwijderen.	37
4.2.6 Conclusie	38
4.3 Rioolwaterzuiveringslib	38
4.3.1 Beschrijving afvalstof	38
4.3.2 Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard	38

4.3.3	Nieuwe verwerkingsmethodes.....	39
4.3.4	Aanwezigheid zorgstoffen.....	39
4.3.5	Mogelijke risico's van zorgstoffen in RWZI slib	40
5.	Referenties	43

1. Context

In deze notitie beschrijven we de soorten (groepen) "zorgstoffen" die in afvalstoffen aanwezig kunnen zijn en een risico kunnen vormen voor mens en milieu wanneer de afvalstoffen worden gerecycled. Het huidige afvalbeleid (Landelijk Afvalbeheerplan (LAP 3)) ziet erop toe dat er geen onacceptabele risico's ontstaan bij het toepassen van secundaire materialen/grondstoffen. In het LAP 3 is er uitsluitend beleid voor Zeer zorgwekkende stoffen (ZZS)¹ in afval. Op dit moment wordt door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het Circulair Materialenplan (CMP) ontwikkeld, de opvolger van het LAP 3. In het CMP kunnen in de sectorplannen meer (soorten) zorgstoffen benoemd worden, met verwerkingsvoorschriften om het risico dat de stoffen vormen te beheersen. Daarvoor is meer inzicht nodig in wanneer zorgstoffen (die buiten de groep ZZS vallen) in afvalstoffen potentieel een gevaar vormen en daarom extra aandacht in het CMP vragen.

Als eerste is een overzicht gemaakt van afvalstoffen waarin zorgstoffen kunnen voorkomen. Met indien bekend, in welke mate deze aangetroffen kunnen worden. Bij het overzicht is een onderbouwing opgenomen waarom de stoffen worden aangemerkt als zorgstoffen. Uit dit eerste overzicht zijn, in samenspraak met de opdrachtgever, drie afvalstoffen verder uitgewerkt. In deze uitwerking is een advies opgenomen t.a.v. het omgaan met zorgstoffen in relatie tot afvalverwerking.

Dit was de adviesvraag voor de drie afvalstoffen:

- Op welke wijze moeten de afvalstoffen worden verwerkt om materiaal te verkrijgen dat verantwoord nuttig kan worden toegepast, dus met een geaccepteerd risico voor de gezondheid en het milieu (bijv. zijn bepaalde verwerkingsstappen² noodzakelijk, welke voorzorgsmaatregelen zou de verwerker moeten nemen, etc.).
- Als dit niet mogelijk is: op welke wijze moeten zorgstoffen verwijderd worden zodat de verwerking een geaccepteerd risico voor de gezondheid en het milieu oplevert (zijn bepaalde stappen noodzakelijk, welke voorzorgsmaatregelen zou de verwerker moeten nemen, etc.).

¹ Een gedefinieerde groep binnen de zorgstoffen zijn de "zeer zorgwekkende stoffen" (ZZS). In artikel 57 van de REACH-verordening zijn deze gedefinieerd. De huidige lijst is te vinden op de RIVM-website (zie <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/ZZSlijst/Index>).

² Bijvoorbeeld een nabehandeling van de afvalstof

2. Voorstel zorgstoffen

2.1 Beschrijving soorten zorgstoffen

Hieronder worden verschillende soorten zorgstoffen beschreven, inclusief de relevantie voor circulaire economie en een eerste verwachting over de aanwezigheid in afvalstoffen. Daarna wordt een voorstel gedaan of het zinvol is om de zorgstoffen mee te nemen in het vervolg van deze verkenning.

2.1.1 *Pathogenen*

2.1.1.1 Beleidscontext

Micro-organismen komen van nature voor in ons milieu, maar ook in stedelijke (bijvoorbeeld afvalwater) en industriële reststromen (bijvoorbeeld slachtafval) en op (consumenten-)producten. Onder micro-organismen, zoals virussen, bacteriën, schimmels en parasieten, komen pathogene varianten voor. Er zijn verschillende regels voor het toepassen van materialen welke besmet (kunnen) zijn met pathogenen. Voor cosmetica en natuurlijk voedsel zijn microbiologische richtlijnen en normen van toepassing, maar dat geldt niet voor alle producten. Er zijn ook reststromen die nu niet worden gerecycled of toegepast vanwege een microbiologisch risico, denk aan reststromen uit ziekenhuizen en andere zorginstellingen. Wanneer dit soort reststromen voor recycling in aanmerking komen, zal moeten worden nagedacht aan de beheersing van microbiologische risico's.

2.1.1.2 Risico's en relevantie voor CE

Bij blootstelling aan pathogenen kan een infectie ontstaan waar mensen ziek van kunnen worden. De risico's zijn afhankelijk van de mate van blootstelling, het pathogeen en de ontvanger. Blootstelling en verspreiding kan plaatsvinden via voedsel, het milieu, mens of dier. Sommige micro-organismen zijn resistent tegen antibiotica.

De concentratie van pathogenen kan tijdens verwerking, opslag en transport van materialen (en afvalstoffen) ook toenemen. Er zijn echter ook goede mogelijkheden om met processtappen de concentratie pathogenen te beheersen of pathogenen geheel te elimineren. Dit biedt kansen om besmette biotische reststromen veilig opnieuw in te zetten.

2.1.1.3 Verwachting aanwezigheid in afvalstoffen

De voornaamste bronnen van microbiële gevaren zijn biotische stromen. Maar ook stromen waarbij er intensief contact met dragers van pathogenen plaatsvindt, kunnen besmet zijn, bijvoorbeeld matrassen of reststromen uit de zorg.

2.1.2 *Medicijnresten*

2.1.2.1 Beleidscontext

Er is momenteel geen beleid waarin drempelwaarden voor medicijnresten in afvalstoffen of in secundaire materialen zijn opgenomen. De milieurisicobeoordeling van de Europese toelating van (dier)geneesmiddelen houdt nu nog geen rekening met (verwerkingstechnieken voor) afvalstoffen met medicijnresten (Derksen et al, 2015). Wel zijn er ontwikkelingen rondom de duurzaamheid van de zorg en medicijnen in de Green Deal Duurzame Zorg en

wordt er gewerkt aan het verminderen van de impact van medicijnresten in het water via de Ketenaanpak Medicijnresten uit Water.

2.1.2.2 Risico's en relevantie voor CE

Het gebruik van medicijnen door de Nederlandse bevolking neemt toe, mede door de vergrijzing. Ook in de veeteelt en bij huisdieren wordt veelvuldig gebruik gemaakt van medicatie. Medicijnen zijn geproduceerd om een (helend) effect te hebben op mensen of dieren. Maar medicijnen en medicijnresten kunnen ook negatieve effecten hebben op mens en milieu, ook in zeer lage concentraties. Risico's voor mens en milieu komen voort uit toxische effecten en door antibiotica resistentie (Moermond et al, 2020). Er is voornamelijk veel onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van medicijnresten in afval- en oppervlaktewater en de effecten op waterorganismen.³

2.1.2.3 Verwachting aanwezigheid in afvalstoffen

Aanwezigheid van medicijnresten in afvalstoffen wordt vooral verwacht in afvalstoffen waarin dierlijke en/of humane excreta voorkomen, zoals afvalwater, incontinentiemateriaal, en dierlijke mest⁴. Ook in restafval kunnen medicijnresten aanwezig zijn.

2.1.3 *Bestrijdingsmiddelen*

2.1.3.1 Beleidscontext

Onder bestrijdingsmiddelen⁵ vallen gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Gewasbeschermingsmiddelen worden toegepast op gewassen in de landbouw en planten in tuinen en het openbare gebied. Biociden worden voor plaagbestrijding (ratten en muizen, insecten) toegepast maar ook voor desinfectie, conservering en antifouling. Bestrijdingsmiddelen worden volgens de daarvoor geldende Europese wetgeving (de Biocidenverordening (BPR) en de Gewasbeschermingsmiddelenverordening (PPPR)) beoordeelt op zowel de werkzaamheid, als op de risico's voor mens, dier en milieu. Als de risico's aanvaardbaar zijn, kunnen bestrijdingsmiddelen in Nederland een toelating krijgen van het College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb) of van de Europese toelatingsautoriteit. Bij deze risicobeoordeling wordt zowel naar gevaarseigenschappen als naar blootstelling gekeken. Bestrijdingsmiddelen die stoffen bevatten met bepaalde gevaarseigenschappen kunnen dus als veilig zijn beoordeeld, bijvoorbeeld omdat er geen of nauwelijks blootstelling is. Er wordt geen rekening gehouden met een volgende levenscyclus van producten waarop bestrijdingsmiddelen of residuen daarvan aanwezig kunnen zijn. Wel zijn er voorschriften voor bijvoorbeeld het ontdoen van verpakkingen van insecticiden en over de recycling van verduurzaam hout (aparte inzameling en niet gerecycled). Voor de toelating van organische meststoffen of materialen voor co-vergisting bij dierlijke mest vindt een beoordeling plaats gericht op de risico's van onder andere bestrijdingsmiddelen onder verantwoordelijkheid van de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM). Hierbij wordt ook gekeken naar metalen,

³ In het rapport 'Geneesmiddelen en Waterkwaliteit' (Moermond et al., 2016) is een overzicht gegeven van de problematiek rondom geneesmiddelen in het milieu. In 2020 is voor een aantal onderdelen van dit rapport een update gemaakt (Moermond et al., 2020). Met betrekking tot diergeneesmiddelen is in 2019 een kennissynthese gepubliceerd (Lahr et al., 2019).

⁴ Opgemerkt wordt dat voor het verwerken van mest eigen regels gelden en dit buiten de scope van het LAP3/CMP valt

⁵ NB ook anti-parasitaire middelen die als geneesmiddel of diergeneesmiddel worden toegelaten zijn bestrijdingsmiddelen

organische contaminanten, en andere relevante stoffen gezien de herkomst (Faber & Montforts, 2022).

In bestrijdingsmiddelen (gewasbeschermingsmiddelen en biociden) zitten werkzame stoffen en formuleringshulpstoffen. Het toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen bevat regels voor stoffen met zorgwekkende eigenschappen (Substances of Concern). Sommige van deze stoffen zijn verboden in bestrijdingsmiddelen en andere moeten waar mogelijk worden vervangen. De definitie van een zorgwekkende stof in een bestrijdingsmiddel (in het toelatingsbeleid voor bestrijdingsmiddelen) is net iets anders dan de definitie van een ZZS (in het nationaal stoffenbeleid en LAP 3). Hierdoor is een ZZS soms geen zorgwekkende stof in een bestrijdingsmiddel, en andersom.

Uit RIVM-onderzoek (Komen & Wezenbeek, 2022) blijkt dat ongeveer 20 procent van de toegelaten bestrijdingsmiddelen in Nederland ZZS bevatten. In ongeveer 10 procent zitten stoffen die staan op de potentiële ZZS (pZZS) lijst⁶, en in ongeveer 5 procent zitten per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS).

Bestrijdingsmiddelen zijn een mengsel van verschillende stoffen, en kunnen dus mogelijk zorgstoffen bevatten die niet ZZS zijn. Wat betreft de niet-ZZS kan het gaan om o.a. PFAS, of stoffen met bepaalde gevaarsclassificaties voor mens en/of milieu⁷ (Komen & Wezenbeek, 2022).

2.1.3.2 Risico's en relevantie voor CE

Bestrijdingsmiddelen worden geproduceerd en toegepast om bepaalde organismen te weren en/of te doden. De stoffen kunnen echter ook effect hebben op andere organismen. Er kunnen verschillende risico's zijn voor mens en milieu, afhankelijk van de stof en blootstellingsroutes. In een duurzame en circulaire economie zal er meer gebruik gemaakt worden van biotische grondstoffen en wordt ingezet op levensduurverlenging van materialen, waarvoor biociden gebruikt kunnen worden.

2.1.3.3 Verwachting aanwezigheid in afvalstoffen

De aanwezigheid van (residuen van) gewasbeschermingsmiddelen wordt vooral verwacht in biotische reststromen.

Dit gaat bijvoorbeeld om stromen die voortkomen uit de landbouw, bosbouw en anderen teelten (bijv. snijbloemen), maar ook uit de voedselindustrie en textielindustrie (plantaardige grondstoffen). Daarnaast zijn er nog biotische stromen uit huishoudens (GFT) en vanuit snoeiafval. Mogelijk blijven gewasbeschermingsmiddelen achter op landbouwplastics.

Voor biociden toegepast als conserveermiddelen en antifouling, is er een breder scala aan toepassingen en daarmee afvalstoffen waarin deze aanwezig kunnen zijn. Dit kan bijvoorbeeld gaan om (biobased) bouwmaterialen, kunststoffen, papier, textiel, tapijten, matrassen, meubels, verduurzaamd hout, koelvloeistoffen, metaalbewerkingsvloeistoffen, brandstoffen of scheepshuiden met antifouling. Biociden gebruikt voor desinfectie of plaagbestrijding zullen naar verwachting in mindere mate aanwezig blijven op materialen die gerecycled worden.

⁶ Van potentiële Zeer Zorgwekkende Stoffen is denkbaar, maar nog niet aangetoond, dat ze voldoen aan de criteria om te worden geclassificeerd als ZZS.

⁷ Bijvoorbeeld een stof die voldoet aan twee van de criteria om als persistentie, bioaccumulatie en toxiciteit (PBT-stof) te worden aangemerkt. In het ZZS-kader moet een stof voldoen aan alle drie de PBT-criteria.

2.1.4 *Radioactieve stoffen*

Het beleid voor het beheer van radioactieve afvalstoffen is opgenomen in het Nationale Programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen uit 2016. Radioactieve stoffen vallen niet onder het CMP en worden niet meegenomen in dit onderzoek.

2.1.5 *Specifiek geclassificeerde chemische stoffen*

In verschillende regelgevende kaders worden eisen gesteld aan de aanwezigheid van schadelijke stoffen in producten. Dit kunnen algemene kaders zijn, zoals in REACH, maar ook specifieke productregelgeving, bijvoorbeeld vanuit het besluit Bodemkwaliteit, de RoHS⁸ of de voedselverpakkingsrichtlijn. Sommige kaders werken met lijsten met stoffen die verboden zijn of waarvan de toepassing beperkt wordt, andere kaders werken juist met lijsten van stoffen die wel zijn toegestaan. Daarnaast wordt er continue onderzoek gedaan naar de schadelijkheid en risico's van stoffen, wat kan leiden tot nieuwe restricties of verboden.

Voor ZZS geldt volgens het stoffenbeleid een minimalisatieplicht voor emissies naar lucht en lozing naar water. Voor de verwerking van afvalstoffen met ZZS geldt aanvullend hierop het beleid in het LAP, maar dat geldt niet voor andere stoffen. Echter kunnen stoffen die niet ZZS zijn ook risico's geven in een circulaire economie, bijvoorbeeld voor het milieu of de mens. Hieronder worden een aantal kaders voor bepaalde stofgroepen, enerzijds vanuit Europese beleidsontwikkelingen (Green Deal) en anderzijds vanuit chemische gelijkheid (op stofgroepniveau), beschreven.

EU SSbD

De JRC heeft een voorstel gedaan voor een raamwerk voor *Safe and Sustainable by Design (SSbD)* in het kader van de *Chemicals Strategy for Sustainability* vanuit de Europese Green Deal (Caldeira et al, 2022). In het voorgestelde raamwerk zijn SSbD-criteria opgenomen voor chemische stoffen en materialen. Deze criteria kunnen toegepast worden op zowel nieuw ontwikkelde chemische stoffen en materialen als bestaande chemische stoffen en materialen (en dus ook afvalstoffen). In dit voorstel wordt er onderscheid gemaakt tussen drie groepen van chemische stoffen waarvoor verschillende criteria gelden:

1. Meest schadelijke stoffen;
2. Stoffen van zorg;
3. Andere gevaren.

In tabel 1 is aangegeven welke gevaarseigenschappen in welke groepen worden onderverdeeld (zie voor meer informatie en de bepaling van de criteria het rapport van Caldeira et al, 2022). De criteria voor ZZS zijn dikgedrukt. Opgemerkt wordt dat er ook stoffen als ZZS ingedeeld kunnen worden op basis van 'soortgelijke zorg'. Dit is bijvoorbeeld voor enkele hormoonverstorende stoffen, inhalatieallergenen en persistente, mobiele en toxische stoffen (PMT) gedaan.

⁸ *Restriction of Hazardous Substances* voor elektrische en elektronische apparatuur

Tabel 1: Overzicht van gevaarseigenschappen voor verschillende type van zorgstoffen (meest schadelijke stoffen- stoffen van zorg- stoffen met anders gevaren)

Gevaarseigenschappen	Meest schadelijke stoffen	Stoffen van zorg	Stoffen met andere gevaren
Gezondheidsgevaren			
CMR (Kankerverwekkendheid, mutageniteit en voortplantingstoxiciteit)	Cat. 1A/1B*	Cat. 2	
Inhaling allergeen	Cat. 1		
Hormoonverstoring	Cat. 1	Cat. 2	
Specifieke orgaan toxiciteit – herhaalde blootstelling	Cat. 1	Cat. 2	
Specifieke orgaan toxiciteit - eenmalige blootstelling (STOT-SE)		Cat. 1 and 2	Cat. 3
Huidallergeen		Cat. 1A/1B	
Acute toxiciteit			Cat. 1/2
Huidcorrosie			X
Huidirritatie			X
Ernstige oorschade/oogirritatie			X
Aspiratie gevaar			Cat. 1
Milieu			
PBT, vPvB	X*		
PMT, vPvM	X		
Hormoonverstoring (eco)	cat. 1	Cat. 2	
Chronische aquatische toxiciteit		Cat. 1	
Ozonaantastende stoffen		X	
Acute aquatische toxiciteit			Cat. 1
Fysische gevaren			X

*ZZS criteria

PFAS

Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS) zijn chemische stoffen die door de mens zijn gemaakt. PFAS kunnen een schadelijk effect hebben op milieu en gezondheid, doordat ze niet of nauwelijks afbreken in het milieu (zeer persistent), schadelijke effecten kunnen geven (toxisch), ze zich gemakkelijk en snel verspreiden in het milieu (mobiel) en/of zich ophopen in het menselijk lichaam, in dieren en planten (bioaccumulerend).

PFAS worden in zeer veel toepassingen gebruikt omdat ze onder andere voor water-, vet- en vuilafstoting kunnen zorgen en ook als koelmiddel of surfactant een rol kunnen spelen. Ze worden, naast gebruik in industriële processen en toepassingen, ook gebruikt in consumentenproducten zoals smeermiddelen, voedselverpakkingsmaterialen, antiaanbaklagen van pannen, outdoor kleding, professionele kleding en cosmetica. Ze komen ook voor in bestrijdingsmiddelen en medicatie.

De meeste PFAS zijn niet als ZZS geïdentificeerd. Momenteel wordt er (o.a. door Nederland) gewerkt aan een restrictie onder REACH voor de gehele groep PFAS (ongeveer 10.000 stoffen conform de OECD 2021 PFAS scope). Als de restrictie er komt zal deze op z'n vroegst in 2025 in gaan. Zie voor meer informatie het ter

inzage gelegde voorstel: <https://echa.europa.eu/nl/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18663449b>.

Op basis van het LAP3 dient boven een bepaald concentratieniveau (generieke concentratiegrenswaarde, CGW of een stofspecifieke CGW) verplicht een risicoanalyse uitgevoerd te worden om het afval te mogen verwerken voor een nuttige toepassing. Vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat wordt onderzocht of voor PFAS het huidige afvalbeleid toereikend is om te borgen dat bij recycling tot nieuwe producten, de risico's van deze stofgroep voldoende worden beheerst. Dit komt omdat niet alle PFAS als ZZS zijn aangemerkt en het merendeel van de PFAS blijft daarmee buiten beschouwing. Ook is de in het LAP opgenomen generieke concentratiegrenswaarden voor ZZS velen malen hoger (minder stringent) dan de voor PFAS opgenomen waarden in andere kaders (REACH verordening, POP-verordening en het Handelingskader PFAS voor grond- en baggerspecie). Gezien de verwachte wijzigingen in de toelating van PFAS in producten die op Europees niveau wordt verwacht (restrictievoorstel), onderzoekt het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat of de concentratiegrenswaarde zou moeten worden aangepast. Daarom heeft RIVM aan een advies gewerkt over de concentratiegrenswaarde voor PFAS voor verwerking van afval en geschikte analysemethoden.

Metalen en hun verbindingen

Metalen zijn natuurlijke elementen en komen voor in het milieu en daardoor ook in voedsel. Daarnaast zitten ze in allerlei producten. Sommige metalen zijn schadelijk bij blootstelling. Een aantal (zware)metalen is een ZZS, maar andere zijn dat niet. Voorbeelden van niet-ZZS metalen zijn aluminium, antimoon, koper, mangaan en zink.

Er bestaan allerlei (fysisch-chemisch) verschillende bindingsvormen van metalen. Metalen kunnen zowel aanwezig zijn in zeer stabiele, slecht opneembare verbindingen, als in goed oplosbare of zelfs vluchtige verbindingen. Veel metalen komen in verschillende waardigheden (valenties) voor (bijvoorbeeld koper en antimoon). Deze vormen verschillen vaak sterk qua toxiciteit en mobiliteit in het milieu.

Afhankelijk van de aard van het metaal, de fysisch-chemische bindingsvorm, de dosis en de blootstellingsduur, kunnen metalen toxische effecten hebben. Voor een aantal zware metalen kan een veilige drempelwaarde worden aangegeven waaronder geen negatieve effecten te verwachten zijn. Voor de overige stoffen wordt een acceptabel niveau van schadelijke effecten vastgelegd.

Omdat metalen in veel verschillende producten zitten en een verschillend voorkomen kunnen hebben, is het gebruik van metalen in producten vastgelegd in verschillende wet- en regelgevingen. In deze regelgevingen zijn bepalingen opgenomen voor niet-ZZS metalen zoals:

- Uitvoeringsbesluit Meststoffen: bepaalt een maximaal toegelaten toegevoegde vracht aan metalen vanuit meststoffen naar bodem.
- REACH Verordening (1907/2006/EG): onder andere over welke metalen (en in welke hoeveelheid) in textiel en sieraden mogen zitten.
- Europese Richtlijn Speelgoed (2009/48/EC): strenge eisen voor de hoeveelheid zware metalen die uit speelgoed mag vrijkomen (migreren), waaronder ook niet-ZZS metalen.

Microplastics

Er is groeiende aandacht voor risico's van microplastics in het milieu en de mens. Microplastics zijn kleine vaste kunststof deeltjes (kleiner dan 5 millimeter) en breken niet af. Microplastics kunnen als ingrediënten in producten worden toegepast, bijvoorbeeld in persoonlijke verzorgingsproducten, maar ook ontstaan door het uiteenvallen van zwerfafval of tijdens productie en gebruik van kunststofproducten. Via verschillende routes komen microplastics in het milieu terecht, waar deze kunnen worden opgenomen door planten en dieren, en vervolgens in de mens. Via de microplastics ontstaat ook blootstelling aan stoffen die aan het plastic zijn toegevoegd.

Er wordt nog veel onderzoek gedaan naar de effecten van microplastics voor mens en milieu en naar analysetechnieken, maar de kennis is nog beperkt (Rutgers et al., 2022; Quik et al., 2022).

Sinds 17 oktober 2023 is een restrictie van toepassing onder REACH voor het gebruik van microplastics. Het betreft alle polymeerdeeltjes van minder dan 5 mm die organisch, onoplosbaar en niet afbreekbaar zijn. Met deze maatregel is de verkoop van microplastics en producten die dit soort microplastics bevatten verboden. Voor de meeste gebruiken geldt dit meteen, voor enkele gebruiken zijn overgangstermijnen voorzien. Enkele voorbeelden van producten die onder het verbod vallen zijn:

- Het rubber invulmateriaal dat wordt gebruikt op kunstmatige sportoppervlakken;
- Cosmetics, waarbij microplastics worden gebruikt om bijvoorbeeld een specifieke textuur, geur of kleur te krijgen.

Daarnaast geldt het verbod ook op veel andere producten zoals wasmiddelen, wasverzachters, glitters, meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, speelgoed en medische hulpmiddelen.

2.2 Conclusies en voorstel

Op basis van de eerste resultaten worden hieronder per stofgroep de belangrijkste "argumenten voor" en "argumenten tegen" gegeven voor het verder betrekken van de stofgroep in de inventarisatie van risico's door recycling. *Dit voorstel is met de opdrachtgever besproken om vervolgens een aantal stofgroepen verder te verkennen. Deze stofgroepen zijn groen gemaakt in tabel 2. Bij meerdere stofgroepen kunnen zowel ZZS als niet-ZZS stoffen onderdeel uitmaken van de stofgroep. Bij de inventarisatie en de verdere uitwerking van de casussen is de focus telkens op de niet-ZZS van de desbetreffende stofgroep.*

Tabel 2: Overzicht van voor- en nadelen per type "zorgstof" en selectie voor eerste inventarisatie van risico's van zorgstoffen.

nr	Stofgroep	Argumenten Voor	Argumenten Tegen	Voorstel
1	Pathogenen	Risico's van pathogenen adresseren	Andere invalshoek dan 'chemische stoffen'	Meenemen in eerste inventarisatie , maar handelings-perspectief mogelijk anders dan voor stoffen
2	Medicijnresten	Risico's meenemen bij beoordeling over veilig toepassen van afvalstoffen	- omgaan met metaboliëten is complex (milieueffecten van metaboliëten zijn vaak onbekend) - weinig normen beschikbaar	Meenemen in eerste inventarisatie , splitsen in humaan en dier
3	Bestrijdings-middelen	Risico's meenemen bij beoordeling over veilig toepassen van afvalstoffen	- Brede groep stoffen	Meenemen in eerste inventarisatie , splitsen in biociden (productcategorieën) en gewasbeschermingsmiddelen
4a	SSbD-stofgroepen	In lijn met EU-beleid en duidelijke definitie	Geen eenduidige groep stoffen om te inventariseren in afvalstoffen	Niet meenemen in eerste inventarisatie , wel een optie voor beleid om te beschouwen of men hierbij wil aansluiten voor afval
4b	PFAS	In veel afvalstoffen relevant en ernstige zorgen	- Parallel lopende trajecten gaande - Maatschappelijke onrust	Niet meenemen in eerste inventarisatie , er is een separate PFAS-opdracht
4c	Metalen en hun verbindingen	Risico's meenemen in beoordeling en vast rekening houden met	Vaak al afgedekt door regels voor toepassing	Meenemen in eerste inventarisatie

nr	Stofgroep	Argumenten Voor	Argumenten Tegen	Voorstel
		eisen voor toepassingen		
4d	Microplastics	Zorgen adresseren	- Nog veel onzekerheden rondom definitie en risico's microplastics - Nog geen specifieke regels voor microplastics	Niet meenemen in (huidige) eerste inventarisatie, (ontwikkelingen afwachten)

Het kan zijn dat een aantal stoffen die tot één van de zorgstoffen groepen behoren al ZZS zijn. Dit gaat bijvoorbeeld om metalen, een aantal PFAS en ZZS in medicijnresten en bestrijdingsmiddelen. Aangezien deze stoffen ZZS zijn moeten deze als ZZS behandeld worden binnen het afvalbeleid. Er zal in de verkenning dan ook niet specifiek op deze stoffen worden ingezoomd. Wel zullen we deze waar relevant benoemen.

3. Inventarisatie zorgstoffen in afvalstoffen

3.1 Introductie

Voor de groepen zorgstoffen die in het tweede hoofdstuk zijn geselecteerd is een brede inventarisatie uitgevoerd en een overzicht opgesteld van afvalstoffen waarin deze zorgstoffen zouden kunnen voorkomen. Dit overzicht wordt gebruikt om te beschouwen of er mogelijke risico's bij verwerking van de afvalstroom zijn. Daarvoor moeten de zorgstoffen in significante concentraties in de afvalstroom aanwezig zijn.

Deze inventarisatie is als volgt uitgevoerd:

- Allereerst is met experts van het RIVM de verschillende groepen zorgstoffen de lijst met afvalstoffen (uit LAP3) doorlopen. De experts hebben hierbij aangegeven in welke afvalstoffen de zorgstoffen aanwezig kunnen zijn, wat daar de mogelijke bronnen van zijn.
- Vervolgens is door de experts aangegeven in welke afvalstoffen (groepen van) zorgstoffen naar verwachting frequent aangetroffen worden, of minder frequent en/of in lagere concentratie(s).

3.2 Resultaten: zorgstoffen in afvalstoffen

Hieronder worden de zorgstoffen kort besproken met aandacht voor de belangrijkste afvalstoffen waar ze, in hogere concentraties, verwacht kunnen worden. Deze overzichten van afvalstoffen zijn opgenomen in tabel 3 (pathogenen), tabel 4 (medicijnresten), tabel 5 (biociden), tabel 6 (gewasbeschermingsmiddelen) en tabel 7 (metalen). Daarnaast is per zorgstof ook aangegeven in welke andere afvalstoffen de zorgstoffen te verwachten zijn, weliswaar minder frequent en/of in lagere concentratie.

3.2.1 Pathogenen

Pathogenen zijn vooral te verwachten in afvalstoffen die organisch materiaal bevatten. In tabel 3 zijn afvalstoffen opgenomen waarin micro-organismen naar verwachting voor kunnen komen en er een kans is op aanwezigheid van pathogene micro-organismen. De risico's tijdens de verwerking van de materialen hangen af van de microbiologische kwaliteit van het inkomende materiaal en het verwerkingsproces zelf. Risico's van het materiaal kunnen worden gereduceerd door maatregelen bij de inzameling, de verwerking en de toepassingsvorm.

Tabel 3: Overzicht van afvalstoffen waarin pathogenen naar verwachting voor kunnen komen.

Afvalstof	Sectorplan	Toelichting
Huishoudelijk restafval	1	In restafval kunnen luiers, naalden, pleistersverband, dierlijk/bedorven gft-afval en uitwerpselen van huisdieren zitten. Hierin kunnen pathogenen aanwezig zijn.
Gescheiden ingezameld/afgegeven groente-, fruit- en tuinafval van huishoudens (gft)	6	Gft-afval bevat organisch materiaal en mogelijk dierlijk/bedorven afval en uitwerpselen van huisdieren.
Gescheiden ingezameld/afgegeven organisch bedrijfsafval	7	Organisch bedrijfsafval bevat organisch materiaal en mogelijk dierlijk/bedorven afval.
Waterzuiveringsslib	16	Via excretie komen pathogenen in het rioolwater terecht, hierdoor kunnen virussen, fecale micro-organismen en parasieten in slib van RWZI terecht komen. Pathogenen in slib van voedingsmiddelenindustrie (AWZI's) kunnen voorkomen bij bijvoorbeeld verwerking van vlees of vis.
Afval van gezondheidszorg bij mens of dier	19	Medisch afval bevat humaan of dierlijk materiaal, en daarin kunnen pathogene virussen, bacteriën en parasieten aanwezig zijn.
Dierlijk afval	65	Organisch materiaal van dierlijke oorsprong, dit kan pathogene virussen, bacteriën en parasieten bevatten. ⁹
Overige recyclebare monostromen (specifiek: Luiers en incontinentiemateriaal)	Onderdeel van sectorplan 84	Voor deze afvalstof is een protocol opgesteld voor veilige verwerking (zie sectorplan 84).

In de hierna volgende afvalstoffen kunnen micro-organismen naar verwachting voorkomen maar kans op aanwezigheid van pathogenen is relatief klein of alleen in bepaalde deelstroom aanwezig:

- restafval van bedrijven (sectorplan 2): vergelijkbaar met restafval;

⁹ Categorie 1-materiaal bevat het grootste risico voor mens en dier. (o.a. ruggenmerg, hersenen van herkauwers). Categorie 2-materiaal bevat materialen die minder gevaarlijk worden geacht, maar zeker niet in de voedselketen terecht moeten/mogen komen. Te denken valt aan mest en inhoud van het maagdarmkanaal en producten met residuen diergeneesmiddelen.

- procesafhankelijk industrieel afval van bedrijven (sectorplan 3): afval van voedselproductie en over datum producten bevat organisch materiaal (organisch materiaal);
- gescheiden ingezameld/afgegeven textiel (inclusief schoeisel)(sectorplan 5): ongewassen kleding / bedrijfskleding kan in intensief contact zijn geweest met mensen (uitscheiding);
- gescheiden ingezameld/afgegeven groenafval (sectorplan 8): organisch materiaal (vnl. schimmels en toxines verwacht);
- afval van onderhoud van openbare ruimten (sectorplan 9): voedselresten (organisch materiaal), en openbare afvalbakken voor hondenuitwerpselen
- grond (sectorplan 39): organische materiaal. Voorkomen van schimmels (bv. fusarium) en bacteriën (bv. clostridia);
- baggerspecie (sectorplan 40): idem als grond;
- organische materiaal: voorkomen van schimmels (bv. fusarium) en bacteriën (bv. clostridia);
- verpakkingen algemeen (sectorplan 41): organisch materiaal (vlees en andere voedingsmiddelen);
- ondergrondse tanks (sectorplan 49): septische tanks (organisch materiaal en uitscheiding);
- sterk verontreinigde afvalwaterstromen en baden (sectorplan 73): afhankelijk van bron uitwerpselen en organisch materiaal;
- overige recyclebare monostromen (sectorplan 84): in matrassen en tapijten.

3.2.2 *Medicijnresten (mens en dier)*

In tabel 4 zijn de afvalstoffen opgenomen waarin medicijnresten (vaak) te verwachten zijn.

Tabel 4: Overzicht van afvalstoffen waarin medicijnresten naar verwachting frequent voor kunnen komen.

Afvalstof	Sectorplan	Toelichting
Afval van gezondheidszorg bij mens of dier	19	Afval uit gezondheidszorg bij mens of dier: specifiek de cytotoxische en cytostatische geneesmiddelen (overige geneesmiddelen vallen onder sectorplan KCA/KGA).
Dierlijk afval	65	In delen van deze stroom kunnen diermedicijnresten aanwezig zijn, specifiek het categorie 2 materiaal.
KCA/KGA	18	Ongebruikte medicijnen en resten dienen bij het KCA te worden verwerkt (of via de apotheek).
Overige recyclebare monostromen (specifiek: luiers en incontinentiemateriaal)	Onderdeel van sectorplan 84	Voor luiers en incontinentiemateriaal is een protocol opgesteld voor veilige verwerking (zie sectorplan 84).

Daarnaast zijn er een aantal afvalstoffen waarin:

- medicijnresten soms (lage frequentie) aanwezig kunnen zijn, of
- frequent maar dan in lage concentraties.

Hieronder staan deze afvalstoffen genoemd.

In gescheiden verpakkingstromen kunnen deels gevulde, medicijnverpakkingen zitten. Ook in restafval en waterzuiveringsslib zijn nog medicijnresten te verwachten omdat een deel van de medicijnen wordt weggegooid bij het restafval en/of wordt doorgespoeld. Ook via lozingen van diergeneesmiddelen vanuit productie, huisdieren en aquacultuur komen medicijnresten in afvalwater en dus in het waterzuiveringsslib. Omdat niet alle medicijnresten verwijderd worden tijdens het zuiveringsproces van de RWZI's, kunnen in oppervlaktewater medicijnresten in lage concentraties aanwezig zijn. Deze stoffen kunnen in baggerspecie terecht komen.

Bij zuivering van grond- en oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding worden aanwezige medicijnresten (lage concentraties, vooral afkomstig van de mens via effluent afvalwater) verwijderd. Deze komen in de reststoffen terecht.

3.2.3 Biociden

In tabel 5 zijn de afvalstoffen opgenomen waar biociden (vaak) te verwachten zijn.

Tabel 5: Overzicht van afvalstoffen waarin biociden naar verwachting vaak voor kunnen komen.

Afvalstof	Sectorplan	Toelichting
KCA/KGA	18	Inzameling van ongebruikte biociden.
Hout	36	Met biociden behandeld hout wordt apart ingezameld als C-hout.

Daarnaast zijn er een aantal afvalstoffen waarin:

- biociden soms (lage frequentie) aanwezig kunnen zijn, of
- frequent maar dan in lage concentraties.

Hieronder staan deze afvalstoffen genoemd.

Consumenten gooien (verpakkingen van) biociden of met biociden behandelde producten weg bij het restafval waardoor ook in restafval restanten van biociden zijn te verwachten. Hier worden echter lagere concentraties verwacht.

Biociden, waar desinfectie- en conserveermiddelen onderdeel van uitmaken, worden in veel producten toegepast. Het gaat dan om lage concentraties, voorbeelden daarvan zijn: papier en karton, gescheiden ingezameld/afgegeven textiel (inclusief schoeisel), kunststof en rubber, matrastijken, tapijten (wol), shredderafval, gemengd bouw- en sloopafval, verpakkingen (algemeen), verpakkingen (verf, lijm, kit), verpakkingen met overige gevaarlijke stoffen en banden.

Daarnaast kunnen biociden aanwezig zijn in:

- straalgrit (waarin biociden als antifouling zijn toegepast op het staaloppervlak);
- sloopschepen (antifouling);
- waterzuiveringsslib;
- reststoffen van drinkwaterbereiding;
- afval van gezondheidszorg bij mens of dier;
- grond (via toepassen van mest);
- baggerspecie;
- bij winning van olie en gas worden biociden (slijmbestrijdingsmiddelen) toegepast, en er worden ook biociden toegepast in olieproducten.

3.2.4 Gewasbeschermingsmiddelen

In tabel 6 zijn de afvalstoffen opgenomen waarin gewasbeschermingsmiddelen (vaak) te verwachten zijn.

Tabel 6: Overzicht van afvalstoffen waarin gewasbeschermingsmiddelen naar verwachting vaak voor kunnen komen.

Afvalstof	Sectorplan	Toelichting
KCA/KGA	18	Inzameling van ongebruikte gewasbeschermingsmiddelen.

Daarnaast zijn er een aantal afvalstoffen waarin:

- gewasbeschermingsmiddelen soms (lage frequentie) aanwezig kunnen zijn, of
- frequent maar dan in lage concentraties.

Hieronder staan deze afvalstoffen genoemd.

Gewasbeschermingsmiddelen worden toepast op organische stromen. Zoals bijvoorbeeld gescheiden ingezameld fruit en tuinafval van huishoudens en organisch bedrijfsafval, en procesafhankelijk industrieel afval van productieprocessen (bij de voedingsmiddelenindustrie).

In deze afvalstromen kunnen dan ook restanten verwacht worden. Ook in oppervlaktewater kunnen gewasbeschermingsmiddelen aanwezig zijn, onder andere door spuitverlies en afspoeling uit landbouw. De gewasbeschermingsmiddelen kunnen uiteindelijk in grond, baggerspecie en via het oppervlaktewater in waterzuiveringsslib terechtkomen.

Bij zuivering van grond- en oppervlaktewater voor de drinkwaterbereiding worden aanwezige gewasbeschermingsmiddelen (lage concentraties, vooral afkomstig van de mens via effluent afvalwater) verwijderd. Waarna deze in de reststromen van de zuivering terecht komen.

Daarnaast gooien mensen (verpakkingen van) gewasbeschermingsmiddelen weg bij het restafval waardoor ook in restafval (zeer) sporadisch restanten van gewasbeschermingsmiddelen te verwachten zijn.

Gewasbeschermingsmiddelen kunnen (mogelijk) aanwezig zijn op ingezameld plastic uit de landbouw.

3.2.5 Metalen en metaalverbindingen

Metalen hebben een brede toepassing. Een aantal metalen is een ZZS. Niet-ZZS-metalen zijn bijvoorbeeld aluminium, antimoon, barium, bismut, koper, mangaan, molybdeen, vanadium, seleen en zink.

In tabel 7 zijn de afvalstoffen opgenomen waarin niet-ZZS metalen te verwachten zijn.

Tabel 7: Overzicht van afvalstoffen waarin metalen naar verwachting vaak voor kunnen komen.

Afvalstof	Sectorplan	Toelichting
Procesafhankelijk industrieel afval van producten	3	Kan aanwezig zijn in bepaalde deelstromen zoals katalysatoren, mineraal afval, gebruikte chemicaliën en chemische baden, metaalzouten, residuen en slibben, filtermateriaal, snijafval, productierestanten, filterkoek, etc.
Kunststof en rubber	11	O.a. zink in rubber, antimoon in kunststoffen als katalysator, kleurstof of vlamvertrager.
Metalen	12	Staalschroot bevat diverse metaallegeringen.
Batterijen en accu's	13	Afhankelijk van type.
Waterzuiveringsslib	16	Bijvoorbeeld koper. Verwerking tot meststof is niet mogelijk i.v.m. mogelijke risico's voor de bodem. Metalen afkomstig van corrosie van materialen (bijv. waterleidingen, dakgoten), huishoudens (voedings- en schoonmaakmiddelen), depositie, verkeer en industriële lozingen.
AVI-bodemas	20	Bij verbranding komen metalen terecht in de restproducten van verbranding. Verdeling van de metalen over de verbrandingsproducten is afhankelijk van de input en de procescondities.
AVI vliegias	21	Bij verbranding komen metalen terecht in de restproducten van verbranding. Verdeling van de metalen over de verbrandingsproducten is afhankelijk van de input en de procescondities.
Assen van slibverbranding	22	Bij verbranding komen metalen terecht in de restproducten van verbranding. Verdeling van de metalen over de

		verbrandingsproducten is afhankelijk van de input en de procescondities.
Reststoffen van kolengestookte energiecentrales	23	Metalen kunnen voorkomen in poederkoolvliegias, bodemas, vliegias van kolenvergassing, slakken van kolenvergassing en rookgasontzwavelingsgips.
Reststoffen van energiewinning uit biomassa	24	Afhankelijk van type biomassa en herkomst.
Actief kool	25	Afhankelijk van herkomst.
Rookgasreinigingsresidu van AVI's en installaties voor het verbranden van slib of biomassa	26	Bestaat voornamelijk uit zouten (calciumchloride, natriumchloride), kan ook metalen bevatten.
Shredderafval	27	Verschillende metalen producten (ijzer, aluminium, koper, zink).
Gemengd bouw- en sloopafval, met bouw- en sloopafval vergelijkbaar afval van bedrijven en particulier gemengd verbouwingsafval	28	Metalen zoals koper.
Straalgrit	36	
Hout	37	Geverfd en met biociden behandeld hout.
Vuurwerk	47	Kan metaalpoeders bevatten (koper, titanium, magnesium en aluminium).
Wrakken van auto's en tweewielige motorvoertuigen	51	Metalen in onderdelen, accu's en batterijen.
Banden	52	Zink in rubber.
Sloopschepen	54	Metalen in onderdelen en batterijen.
Afgedankte elektrische en elektronische apparatuur	71	o.a. koper
Zwavelzuur, zuurteer en overig zwavelhoudend afval	72	Zwavelzuur komt vrij in de galvanische industrie en de chemische industrie en is voornamelijk verontreinigd met metalen. Zuurteer kan ook metalen bevatten.
Sterk verontreinigde afvalwaterstromen en baden	73	Hangt af van het industriële proces waaruit deze afvalstromen en baden afkomstig zijn.
Filterkoek van ontgiften/neutraliseren/ontwateren	74	Hangt af van het industriële proces waaruit deze afvalstromen en baden afkomstig zijn.

Daarnaast zijn er een aantal afvalstoffen waarin:

- metalen soms (lage frequentie) aanwezig kunnen zijn, of
- frequent maar dan in lage concentraties.

Hieronder staan deze afvalstoffen genoemd:

- huishoudelijk restafval;
- restafval van bedrijven;
- gescheiden ingezameld/afgegeven papier en karton;
- gescheiden ingezameld/afgegeven textiel (inclusief schoeisel);
- afval van onderhoud van openbare ruimten;
- reststoffen van drinkwaterbereiding;
- KCA/KGA;

- afval van gezondheidszorg bij mens of dier;
- overig steenachtig materiaal;
- zeefzand;
- gips;
- dakafval;
- vlakglas;
- grond;
- baggerspecie;
- verpakkingen met overige gevaarlijke stoffen;
- munitie;
- overig explosief afval;
- afvalstoffen van schepen;
- oliefilters en oliehoudende afvalstoffen;
- destillatieresidu.

3.3 Uitwerking casussen

Op basis van de inventarisatie is een selectie gemaakt voor de uitwerking van drie casussen (relevante afvalstroom/ zorgstof-combinaties).

Gebruikte criteria voor de selectie naar een kortere lijst van nader te onderzoeken afvalstoffen/ sectorplannen zijn:

- Hoge afvaltonnages (100 kton is gehanteerd als grens voor de longlist);
- De aanwezigheid van één of meer groepen zorgstoffen met hoge prioriteit.

Daarnaast is gestreefd naar diversiteit in afvalstoffen. Vergelijkbare afvalstoffen zijn waar mogelijk vermeden (dus niet zowel bodemassen als vliegassen bijvoorbeeld). Restafval kan veel (categorieën) zorgstoffen bevatten maar wordt verbrand of nagesorteerd in deelstromen. Daardoor valt deze vooralsnog af.

Om tot een kortere lijst te komen zijn aanvullend ook de volgende criteria gehanteerd:

- Een spreiding over de groepen van zorgstoffen.
- Relevantie afvalstroom
 - Tot wat/welke toepassing het afval wordt gerecycled (blootstellingsmogelijkheden via eindproduct)
- Relevantie stof
 - Grote kans op aantreffen van de zorgstof in de afvalstof (frequentie), stof veel/lang gebruikt
 - Grote kans op verspreiding van de zorgstof (zie GFT, waterzuiveringsslib, baggerspecie)
- Circulaire potentie
 - Hoog recyclingpotentieel of innovatieve circulaire opties. Dit kan ook van toepassing zijn op deelstromen (ook als nu nog wordt verbrand of gestort);
 - Aantreffen zorgstoffen in specifieke deelstromen (bijv. in bepaalde kunststoffen en rubbers) en de mogelijkheden tot scheiding daarvan;
 - Mogelijkheden om zorgstoffen uit de bulk te halen, wellicht zijn er wel mogelijkheden om schonere deelstromen te genereren (GFT, waterzuiveringsslib, reststoffen van energiewinning uit biomassa).

Op basis van de inventarisatie en bovengenoemde criteria, zijn in overleg met opdrachtgever drie afvalstoffen geselecteerd voor de uitwerking in de casussen. Het gaat om de afvalstoffen:

Waterzuiveringsslib (sectorplan 16)

Waterzuiveringsslib is gekozen vanwege de grote volumes en de al aanwezige drive tot innovatie in de (water)sector zoals de productie van biopolymeren (PHA). Verder kunnen er in waterzuiveringsslib naast pathogenen ook andere zorgstoffen voorkomen.

Houtafval (sectorplan 36)

Houtafval is onder andere geselecteerd omwille van de circulaire potentie. Biomassa is één van de vijf transitieprogramma's naar een circulaire economie en speelt ook een rol bij de energietransitie. De nadruk van de transitieagenda biomassa ligt op het zo lang en zo hoogwaardig mogelijk benutten van biomassa in de kringloop. Cascadering van gebruik is hiervoor kenmerkend: bijvoorbeeld massief bouwhout wordt hierna verwerkt tot spaanplaat, dat na gebruik een brandstof wordt. Voor A-hout (schoon hout) en B-hout (behandeld/geverfd/verlijmd hout) is nuttige toepassing toegestaan. Hout dat behandeld is om de gebruiksduur te verlengen met biociden is geclassificeerd als C-hout. Er zijn twee categorieën C-hout:

- Gewolmaniseerd C-hout, ofwel CCA-hout dat koper, chroom en arseen bevat en
- Niet-gewolmaniseerd hout dat verduurzaamd is met fungiciden, insecticiden, boorhoudende verbindingen, quaternaire ammoniumverbindingen. Dit wordt momenteel toegepast als brandstof.

C-hout wordt voornamelijk geëxporteerd naar Duitsland voor verbranding met energierugwinning. Voor C-hout met zware metalen geldt dat bij verbranding de reststoffen naar een daartoe geëigende stortplaats moeten.

AVI Bodemas (sectorplan 20)

In bodemassen zijn verschillende (zware) metalen aanwezig. Er zijn een aantal mogelijkheden voor het nuttig toepassen van deze afvalstoffen. Bodemassen kunnen bijvoorbeeld bewerkt en gereinigd worden zodat deze voldoen aan eisen van Besluit bodemkwaliteit en toegepast worden als bouwstof. Ook kunnen bodemassen gebruikt worden in een immobilisaat door de bodemassen te verwerken in onder andere cement. Ook dan moet de milieuhygiënische kwaliteit vastgesteld worden en voldoen aan de hiervoor geldende toepassingsnormen.

4. Casussen

Op basis van literatuuronderzoek is onderzocht wat de reguliere verwerkingsmethoden zijn, of er kennis is over de verwachte of mogelijke invloed van deze verwerkingsmethoden op de (mogelijk aanwezige) zorgstoffen en of er innovatieve methoden in ontwikkeling zijn die rekening houden met de zorgstoffen. De volgende drie casussen zijn geselecteerd om verder uit te werken: Houtafval, AVI-bodemassen en waterzuiveringsslib. Deze worden in de volgende paragrafen uitgewerkt. Daarbij wordt per afvalstof ingegaan op de volgende aspecten:

- 1) Beschrijving van de afvalstof en het relevante sectorplan (LAP3)
 - 2) Huidige verwerkingsmethodes en de minimumstandaard
 - 3) Nieuwe verwerkingsmethodes
 - 4) Aanwezigheid van zorgstoffen
 - 5) Mogelijke risico's en handelingsperspectieven
- Indien mogelijk wordt aangegeven hoe de afvalstoffen moeten worden verwerkt om risico's te voorkomen bij nuttige toepassing (gelinkt met de huidige minimumstandaard en de sectorplannen).
 - Indien mogelijk wordt aangegeven hoe de afvalstoffen moeten worden verwijderd om risico's te voorkomen (heeft het invloed op de minimumstandaard?).

4.1 Casus houtafval (A/B hout)

4.1.1 *Beschrijving afvalstof*

Het meeste afvalhout valt onder sectorplan 36 van het LAP 3. Houtafval wordt onderverdeeld in 3 categorieën: A-, B- en C-hout.

Voor dit onderzoek ligt de focus op A en B-hout. C-hout is geïmpregneerd hout (behandeld met houtconserveermiddelen). Er wordt van uitgegaan dat verontreiniging van A/B-hout met C-hout niet (of minimaal) plaatsvindt en C-hout wordt verbrand.

A-hout is onbehandeld hout en bestaat voornamelijk uit houten verpakkingen (pallets, kisten en kratten)¹⁰ en onbehandeld hout dat vrijkomt bij demontage van gebouwen (bv. balken). B-hout is hout dat behandeld is met verf en coatings en komt vrij bij bouw- en sloopwerkzaamheden en als afgedankte meubels. Onder B-hout valt zowel geveerd/behandeld massief hout als gelijmd hout (bijvoorbeeld spaanplaat en MDF). Snoei(afval)hout valt niet onder sectorplan 36 maar onder sectorplan 8. Daarom wordt snoeihout hier buiten beschouwing gelaten.

4.1.2 *Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard*

Recycling van A- en B-hout is technisch mogelijk en kent ook reeds vele toepassingen. Omdat er echter onvoldoende capaciteit is om al het A- en B-hout te recyclen is de minimumstandaard in het LAP 3 vastgesteld op andere nuttige toepassing. Toepassen als brandstof (van A-hout en B-hout) in biomassacentrales voldoet aan de minimumstandaard.

¹⁰ Is in het LAP3 onderdeel van sectorplan 41, maar wordt in het CMP opgenomen in het ketenplan houtafval

In de praktijk bestaan er maar zeer beperkt monostromen van A- en B-hout. Meestal zijn A- en B-hout gemengd; dan heet het A/B-hout. A-hout en A/B-hout kan gerecycled worden naar spaanplaat en klossen voor pallets. De meeste nieuwe mechanische recyclingmethoden op basis van spanen en vezels vinden plaats in België en Duitsland (CE Delft, 2022). Hoe lager het gehalte van behandel- en bindmiddelen (gelijmd en geperst B-hout), hoe hoger de kwaliteit en bruikbaarheid van A/B-hout voor recycling (CE Delft, 2022). Het merendeel van de mix A/B-hout wordt echter niet gerecycled maar gebruikt als brandstof voor energieretourwinning door zowel Nederlandse als buitenlandse verwerkers (CE Delft, 2022). Door A/B-hout te sorteren wordt dit hout meer inzetbaar voor recycling (CE Delft, 2022).

Tijdens het sorteren worden de grootste vervuilingen uit het hout ook verwijderd, waaronder metalen en andere niet-houtachtige materialen (CE Delft, 2022). Specifieke scheiding in de A-monostroom en B-monostroom is mogelijk maar niet verplicht.

4.1.3 *Nieuwe verwerkingsmethodes*

Door hergebruik of recycling blijft de koolstof langer vastgelegd in het hout. Het hout wordt dan pas verbrand na één of meerdere keren hergebruik of recycling (cascadering).

Er zijn recycle-initiatieven die inzetten op gebruik van het hout als grondstof voor nieuwe producten. Deze initiatieven zijn gebaat bij zo schoon mogelijk afvalhout. Kleine werkplaatsen maken nu bijvoorbeeld meubels van sloophout. Een andere ontwikkeling is de productie van kruislaaghout ofwel cross laminated timber (CLT) van afvalhout. In het Verenigd Koninkrijk zijn eerste proeven gedaan, maar commerciële productie bestaat nog niet (Cuperus, 2019) (CE Delft, 2022).

Unilin heeft een nieuwe recyclingtechnologie ontwikkeld om op industriële schaal de houtvezels van afgedankt MDF (Medium density fibreboard) en HDF (High density fibreboard) te verwerken in nieuwe platen. De techniek maakt het mogelijk om houtvezels met lijmresten te recyclen en te gebruiken in nieuw materiaal (CE Delft, 2022).

Chemische recycling van hout is in ontwikkeling. Chemische recyclingtechnieken isoleren de lignine en cellulose in het hout en verwerken het tot grondstoffen voor de chemie zoals aromaten, bindmiddelen of suikers. Het hout verdwijnt als zodanig en het zijn daarmee verwerkingstechnieken aan het eind van de cascade. De mate van geschiktheid voor verwerking van A- en/of A/B-hout is nog niet bekend (CE Delft, 2022).

In het rapport van CE Delft (CE Delft, 2022) wordt als nieuwe ontwikkeling ook recyclen van A/B-hout tot bestanddeel van substraat voor glastuinbouw genoemd. Houtvezels kunnen worden gebruikt als additief ter vervanging van het turfgehalte.¹¹

¹¹ <https://agriworld.nl/houtvezelsubstraat-als-turfvervanger-voordelen-nadelen-en-voorzieningsbronnen/>

4.1.4 *Aanwezigheid zorgstoffen*

Uit de eerste inventarisatie is één stofgroep aangeduid als relevant voor A- en/of B-hout, namelijk metalen.

B-hout kan ook biociden bevatten die geen ZZS zijn (die aan de verf of coatings zijn toegevoegd). Met name watergedragen verven of lakken bevatten nog conserveringsmiddelen, in een concentratie tot 0,5%. De concentratie van de biociden in het totale B-houtfractie is daarom naar verwachting minimaal een factor 10 kleiner (<0,05%). Door deze lage concentraties is deze stofgroep niet verder uitgewerkt.

Voor metalen in houtafval is gezocht naar gegevens over aanwezigheid en concentraties van metalen. Voor zover bekend is zijn er geen openbare data/metingen beschikbaar voor (afval)hout ingezameld in Nederland. De meest recente gegevens zijn gevonden in een Deens onderzoek naar zorgstoffen in afvalhout uit 2019 (Faraca et al., 2019)). Er is ook een Zweedse studie gevonden uit 2004 (Krook et al., 2004) en 2006 (Krook et al., 2006) waarbij ook afvalhout geïmporteerd door Zweden uit Nederland is onderzocht¹². Het is echter niet bekend of deze resultaten nog representatief zijn voor de huidige situatie van houtafvalverwerking in Nederland.

4.1.4.1 **Metalen en hun verbindingen**

Bij inzameling kan afvalhout (A-hout en B-hout, en A/B hout) vermengd zijn met andere materialen zoals metalen onderdelen, plastics, gips, isolatiemateriaal, beton, steen, gravel/zand en/of aarde (Krook et al., 2006). Tijdens afvalverwerking worden de grootste vervuilingen uit het hout verwijderd (CE Delft, 2022). Afvalverwerkers kunnen hiervoor verschillende technieken toepassen zoals magneet-scheiders voor ferromagnetische metalen en zeven om de fijne fractie te verwijderen.

Doordat afvalhout vermengd is met andere materialen, kan er vervuiling met metalen optreden. In onderzoeken waarbij metingen zijn gedaan zijn er duidelijke verschillen te merken als het gaat om concentraties van sommige metalen in afvalhout ten opzichte van natuurlijk, onbewerkt hout (Faraca et al., 2019 & Krook et al., 2004).

De resultaten van de hierboven genoemde studies laten zien dat de concentratieniveaus van sommige metalen erg kunnen variëren, en dat houtafval dus erg heterogeen is als het gaat om concentraties metalen. Sommige metalen komen voor in ongeveer gelijke concentraties in de verschillende types van afvalhout (e.g. Al, Mg, Mn) en andere metalen komen vooral voor in specifieke afvalhouttypes (e.g. Cr, Cu, Zn, Sb, Ti, V) (Faraca et al., 2019). In onderstaande tabel zijn enkele voorbeelden opgenomen van niet-ZZS metalen, met de gemiddelde en maximale gemeten concentratie.

¹² Er wordt in de studie vermeld dat Zweden ook veel afvalhout importeert, o.a. uit Nederland om te gebruiken in boilers voor biobrandstoffen voor warmtenetwerken (district heating).

Tabel 8: Gemiddelde en maximale concentraties van niet-ZZS-metalen in afvalhout (Farraca et al., 2019) en de oorsprong van deze metalen (Farraca et al., 2019)(Krook et al., 2006).

Metaal	Gem. concentratie in mg/kg	Maximale concentratie in mg/kg	Mogelijk verklaring voor verhoogde concentraties in afvalhout (Farraca et al., 2019)(Krook et al., 2006)	Vergelijking van concentratie metaal in B-hout t.o.v. A-hout
aluminium	810	15500	metalen onderdelen	3x hoger
antimoon	2,20	56,8	mogelijk additief in plastics (bijv. PVC)	7x hoger
ijzer	1010	15400	verf en lakken en migratie vanuit metalen onderdelen (spijkers)	3x hoger
koper	60,7	1280	koper bedrading. Vervuiling van B-hout met CCA behandeld hout (C-hout)	26x hoger
chroom	31,9	663	vervuiling van B-hout met CCA behandeld hout (C-hout)	7x hoger
mangaan	100	4870	onbekend	Ongeveer gelijke concentratie
magnesium	1450	26400	metalen onderdelen	3x hoger
vanadium	2,33	61,2	metalen onderdelen	10x hoger
titanium	731	3970	pigmenten en lakken	ongeveer gelijke concentratie
zink	137	861	in schroeven (oppervlaktebehandeling) en als wit pigment in verf	ongeveer gelijke concentratie

- De concentraties van antimoon (Sb) en titanium (Ti) waren het hoogst in afvalhout afkomstig van bouw- en sloop afvalhout en meubels (Faraca et al., 2019). Volgens de onderzoekers zijn de metalen waarschijnlijk afkomstig van pigmenten, verf en coatings en lakken voor vloeren en oppervlaktebehandelingen. Antimoon kan ook afkomstig zijn van PVC aanwezig in hout van bouw- en sloopafval omdat het toegepast is als hittestabilisator (net als lood en cadmium) (Faraca et al., 2019).
- Concentratie van zink is verhoogd in verpakkingshout, hout uit bouw- en sloop afval en meubels, waarschijnlijk door het gebruik van zink in schroeven (in de galvaniseerlaag) (Faraca et al., 2019). Volgens Krook et al., 2016 is het toepassen van wit pigment (zink oxide en litophone (mengsel van barium sulfaat en zink sulfide) ook een belangrijk bron van zink. Dit is gebaseerd op de samenstelling van geveerd hout in de jaren 1950-1970 (op basis van herkomst en "leeftijd" van het meeste bouw- en sloopafval).

Gemiddelde concentratie van zink in het "geïmporteerde" afvalhout is 330 mg/kg (op basis van 39 analyses) (Krook et al., 2006).

- IJzerconcentraties waren hoog in alle afvalhouttypes. Herkomst is waarschijnlijk verf, houtlakken als migratie van ijzer vanuit metalen zoals spijkers (Faraca et al., 2019).
- Aluminium en magnesium concentraties zijn heel hoog in sommige samples, waarschijnlijk vervuiling vanuit metalen onderdelen (Faraca et al., 2019).
- In het afvalhout is ook de aanwezigheid van "verontreinigingen" onderzocht, dit zijn onderdelen die worden ingezameld bij A/B hout maar niet voldoen aan de sorteerspecificatie. Zo is in het Deense onderzoek 2 tot 6% geïmpregneerd hout (met hoge concentraties aan koper (niet-ZZS), totaal chroom (enkel chroom VI is ZZS) en arseen (ZZS)) aangetroffen in containers voor A/B hout. De onderzochte samples zijn afkomstig van recyclingcentra waar ook C-hout apart wordt ingezameld maar het onderzoek richtte zich enkel op het A/B-hout (Faraca et al., 2019). Ook in het Zweedse onderzoek was de koper- en chroomconcentratie verhoogd door aanwezigheid van C-hout in het B-hout.
- De spaanplaatindustrie European Panel Federation heeft normen vastgelegd voor een aantal zorgstoffen in hout, waaronder ook specifieke metalen. De gemiddelde concentraties metalen blijven onder de gestelde norm, behalve voor koper. Het gaat dan onder andere om het kopergehalte in behandeld hout (B-hout met verf/lijmresten) wat nu nog niet als input wordt gebruikt voor de spaanplaatindustrie.

De mate van integratie van metalen in het hout is afhankelijk van de toepassing. Metalen van industrieel met biocides behandeld hout zijn opgenomen in het hout zelf en daardoor meer geïntegreerd dan plastics of verven. De integratie van metalen van metalen objecten en beton varieert in het houtafval, afhankelijk van de mate van hechting van de materialen aan het hout. Metalen uit bodemdeeltjes zijn het minst geïntegreerd in het houtafval.

4.1.5 *Mogelijke risico's en handelingsperspectieven m.b.t. het verwijderen van zorgstoffen*

In afvalhout zijn niet-ZZS metalen aanwezig. De volgende metalen kunnen in verhoogde concentraties voorkomen t.o.v. onbehandeld hout: aluminium, antimoon, ijzer, koper, chroom (totaal), magnesium, vanadium. Deze metalen komen vooral voor in geverfd hout, hout dat metalen onderdelen bevat en A/B hout dat (kleine) hoeveelheden C-hout bevat als verontreiniging.

Bij verbranding van afvalhout zal een deel van de metalen zich concentreren in bodem- en vliegassen. Emissies naar lucht zijn ook mogelijk. Onderzoek naar mogelijke milieu- en gezondheidseffecten van de verbrandingsprocessen en verwerking van assen vallen buiten de scope van dit onderzoek (assen van biomassacentrales zijn onderdeel van een ander sectorplan). Biomassacentrales moeten voldoen aan de geldende emissienormen.

Bij recycling is het mogelijk dat zware metalen terechtkomen in gerecyclede producten zoals spaanplaat. Gezondheidseffecten voor consumenten ontstaan bij blootstelling aan metalen, en dus bij opname via huid, mond of luchtwegen. Bij normaal gebruik van

spaanplaten, is de blootstelling van (niet-ZZS-) metalen voor mensen naar verwachting zeer beperkt of niet van toepassing.

Mogelijk is er incidenteel contact met de consument bij het vertimmeren of verzagen van spaanplaat. Onder deze omstandigheden is de inhalatoire blootstelling aan metalen kortdurend en laag. Het risico is niet exact gekwantificeerd voor deze studie, maar gezien het niveau en de aard van de blootstelling worden er echter geen gezondheidseffecten verwacht ten gevolge van inhalatoire blootstelling aan metalen in houtstof. Uiteraard, voor professioneel gebruik is blootstelling mogelijk wel relevant, maar niet in de scope van dit onderzoek.

Voor spaanplaat verplicht de European Panel Federation (Besserer et al., 2021) haar leden om een specificatie te respecteren voor de aanwezigheid van sommige stoffen waaronder metalen in gerecyclede hout, evenals in de panelen. Voor niet-ZZS metalen zijn limieten gesteld voor chroom en koper van respectievelijk 25 mg/kg en 40 mg/kg.

Gerecyclede hout wordt (nog niet) 100% toegepast voor de productie van gerecyclede producten zoals spaanplaat dus er zal nog een verdunning optreden door menging met vers hout, waardoor de concentraties van metalen in het eindproduct verlaagd zullen worden. Op dit moment worden vooral schone houtstromen verwerkt tot spaanplaat (A-hout) en A/B hout verbrand. Voor het toepassen van A-hout in gerecyclede producten zoals spaanplaat worden geen risico's verwacht voor consumenten wat betreft de blootstelling aan niet-ZZS metalen. Voor het toepassen van B-hout in gerecyclede producten zijn nu ook geen gezondheidsrisico's voor consumenten te verwachten. Het is daarbij wel van belang om de vervuiling van A/B hout met C-hout te voorkomen. Er zijn voor zover bekend geen meetgegevens beschikbaar uit Nederland bijvoorbeeld van de concentratie van chroom en koper in A/B hout (wat een indicator is voor vervuiling met C-hout). Het is aan te bevelen om bij toename van recycling van A/B-hout en B-hout de metaalconcentraties te monitoren in input (afvalstoffen) en output (gerecyclede producten).

Er zijn methodes om het A- en B-hout van elkaar te scheiden. Het is niet bekend of er naast visuele inspectie/controle, andere methodes worden toegepast om C-hout te herkennen en te verwijderen uit A/B hout. Er zijn methoden zoals XRF metaalmetingen om de aard en de gehalten van metalen te kunnen bepalen. Dit kan zelfs zonder voorafgaande bemonstering van het hout. Met bemonstering en monstervoorbewerking geven nauwkeuriger meetresultaten. Zeker als er sprake is van heterogeniteit.

Er zijn ook technieken om plastics, metalen onderdelen, gronddeeltjes uit het houtafval te verwijderen. Er zijn een aantal mogelijkheden beschreven in de literatuur om metalen te verwijderen:

- Sortering aan de bron (selectieve sloop);
- Sortering van het afval door verschillende technieken:
 - o Zeven;
 - o Metalen van staal door magnetische scheidingsmethoden;
 - o Voor niet-magnetische objecten, natte scheidingstechnieken of "eddy current separators".

Het toepassen van bovenstaande technieken, leidt naast de verwijdering van zorgstoffen in betere kwaliteit van de afvalstoffen waardoor technisch gezien meer mogelijk is wat betreft recycling (bijvoorbeeld gebruik als grondstof in de spaanplaatindustrie).

Kennis over aanwezigheid van zorgstoffen en verwijderingstechnieken kunnen bijdragen aan het vaststellen van het materialenplan voor houtafval binnen het CMP. Het kan overwogen worden om de eisen voor het sorteren van A/B hout en B-hout aan te scherpen en eisen te stellen wat betreft de aanwezigheid van materialen anders dan hout zoals metalen onderdelen en plastics; en toegepaste sorteertechnieken die kunnen bijdragen aan het verlagen van de concentraties metalen in afvalhout. Het is aannemelijk dat ook gerecycled hout in een circulaire economie aan het eind van een cascade van toepassingen, uiteindelijk verbrand zal worden. Houtvezels, nemen namelijk in kwaliteit af bij elke volgende toepassing. Metalen in het gerecyclede hout komen uiteindelijk na verbranding in bodemassen en/of vliegassen terecht of worden geëmitteerd, en (deels)) uit rookgassen gefilterd. Houtstromen met lagere concentraties metalen zullen uiteindelijk resulteren in schonere bijproducten van verbranding.

Mochten strengere eisen gesteld worden aan het sorteren van houtafval, is het ook van belang te kijken naar het hele systeem, bijvoorbeeld wat gebeurt er met de afvalstoffen die bij sortering vrijkomen. Worden deze ook verbrand en welke emissiebeperkende maatregelen zijn er (t.o.v. verbranding bij biomassacentrales).

4.1.6 *Conclusie*

Alvorens houtafval nuttig toe te passen zowel als brandstof als in de recyclingindustrie (spaanplaat) is het advies om (zichtbare) metalen (spijkers, schroeven, koper bedrading) en kunststoffen (o.a. PVC) zoveel mogelijk te verwijderen. Mogelijk is dit al gangbaar, dit is niet onderzocht. Daarnaast is het van belang om te controleren (bijvoorbeeld met metingen) of het A/B hout niet met C-hout is verontreinigd of vermengd (in verband met mogelijke verontreiniging met koper en chroom).

4.2 **AVI bodemassen**

4.2.1 *Beschrijving afvalstof*

Na verbranding van (huishoudelijk) afval in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) blijft bodemas over. Ongeveer 20% van het afval wordt ruwe bodemas, wat in Nederland neerkomt op 2 miljoen ton per jaar. Daarnaast vindt er ook import van bodemas uit buitenland plaats (Tauw, 2020) en importeren we afval uit het buitenland (wat van invloed kan zijn op de kwaliteit van AVI bodemassen).

Bodemass valt onder sectorplan 20, inclusief de reststromen die ontstaan bij de verwerking van bodemas.

In deze casus onderzoeken we de aanwezigheid van metalen in bodemassen. Naast metalen kunnen ook andere zorgstoffen aanwezig zijn zoals PFAS. PFAS valt buiten de scope van deze casus (zie toelichting op pagina 7) maar is wel een aandachtspunt. Uit metingen blijkt dat PFAS niet volledig wordt afgebroken tijdens verbranding, en PFAS aanwezig kunnen zijn in bodemassen (Bakker et al., 2021).

4.2.2 *Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard*

Er zijn verschillende kwaliteiten van bodemassen. Ruwe AVI bodemas is de onbehandelde bodemas na verbranding van huishoudelijk afval en bedrijfsafvalstoffen. Ruwe bodemas bevat grove brokken bodemas. Tevens bevat

het ferro metaal (schroot) en non-ferro metaal (vnl. aluminium). Deze metaaldelen hebben diverse afmetingen. Het bevat een klein deel (<3%) onverbrande materialen.

De totaalconcentraties en uitlooeigenschappen van onbehandeld bodemas kunnen sterk variëren. De ruwe bodemas wordt opgewerkt in een speciale (opwerk)installatie. Hier worden ijzer (ferro) en andere metalen zoals aluminium, koper en zink (non-ferro) gescheiden en worden alle materiaaldelen groter dan 40 millimeter verkleind in een breekinstallatie en gezeefd. Ook wordt het restant brandbaar materiaal verwijderd.¹³

Dit opgewerkte product kan:

- In beperkte hoeveelheden toegepast worden in beton (als vulstof of toeslagstof) tot een vormgegeven bouwstof, of,
- via immobiliseren toch in grotere verhouding gemengd worden met cement tot een vormgegeven bouwstof en dan spreken we van het produceren van een immobilisaat.

Het is ook mogelijk om extra opwerkingstappen toe te passen om de kwaliteit van de bodemassen te verbeteren tot vrij toepasbaar. Bodemas is vrij toepasbaar als het voldoet aan de kwaliteitseisen voor niet-vormgegeven bouwstoffen uit het Bbk en het Bal.

De minimumstandaard voor bodemassen is: "Recycling door opwerken van AVI-bodemas conform de bepalingen van de Green Deal AVI-bodemas en waarbij aan de volgende voorwaarden (cumulatief) is voldaan:

1. Maximale afscheiding van ferro en non-ferro metalen t.b.v. recycling;
2. Maximaal 15% (gewichtsperscentage droge stof) van de bij een AVI vrijkomende bodemas (incl. metalen) mag als residu van het opwerkingsproces worden gestort."

Onder recycling van het van metalen ontdane AVI-bodemas valt zowel 'inzet als toeslagmateriaal/in immobilisaat' en als 'inzet als vrij toepasbare bouwstof' mits de betreffende bouwstoffen niet worden ingezet ter opvulling van mijnen, groeves, etc.. Er zijn in Nederland 16 erkende bedrijven die bodemas opwerken. Van deze bedrijven zijn er slechts enkele die de kwaliteit vrij toepasbare bouwstof kunnen leveren (ILT, 2019).

4.2.2.1 Omschrijving opwerkingstechnieken

Onderstaande omschrijving is grotendeels overgenomen uit Astrup et al., 2016 en het BAT referentiedocument voor afvalverbranding (Europese Commissie (2019)).

Wassen

Na verbranding van afval blijft bodemas over. De bodemas wordt doorgaans opgevangen in een blustank met water, maar kan ook droog worden verzameld. Door te blussen met water neemt de temperatuur af en wordt voorkomen dat tertiaire lucht de verbrandingskamer binnendringt. Er zitten echter ook nadelen aan blussen met water. Zo ontstaan er agglomeraties van (glasachtige) deeltjes en heeft het geloosde as hierdoor een hoog vochtgehalte. Van beide effecten wordt aangenomen dat het een negatief effect heeft op metaalterugwinning.

¹³ Bron: <https://arbocatalogus-afvalbranche.nl> (SDS Bodemas)

Het algemene gebruik van blustanks voor bodemas-koeling biedt de mogelijkheid om een groot deel van de gemakkelijk oplosbare componenten (vooral chloride) af te scheiden door te wassen.

Natte en droge verwerkingsmethodes

In het algemeen zijn er drie types van behandelingen te onderscheiden (Šyc et al., 2020):

1. Droge verwerking van natte bodemas

Bij een droge verwerking wordt het materiaal eerst een periode opgeslaan voordat het een verdere behandeling krijgt.

2. Natte verwerking van natte bodemas

3. Droge verwerking van droge bodemas. Dit is van toepassing als er geen gebruik wordt gemaakt van blustanks (zie vorige paragraaf), maar dat komt zelden voor.

Afhankelijk van de beoogde kwaliteit en de toepassing van het bodemas kunnen er verschillende nabehandelingstechnieken worden toegepast. Deze technieken kunnen op verschillende manieren gecombineerd worden. Het combineren van droge en natte verwerkingstechnieken is ook mogelijk.

Droge deeltjesscheiding/fractioneren

Via mechanische scheiding- en verwerkingsprocessen, zoals zeven, breken, etc. worden bodemasfracties van verschillende deeltjesgrootte gevormd. Deze processen zijn bedoeld om bodemas te verwerken tot granulaten. Voornamelijk de korrelgrootteverdeling is van belang. Verscheidene mechanische processen zijn mogelijk om bodemas op te werken: voorafzeving, granulometrische scheiding (fractionering) door zeven, korrelgrootte reductie door het breken van grove delen en scheiding door middel van een windzifter om onverbrande fracties te verwijderen.

Natte deeltjesscheiding

Bij een natte deeltjesscheiding wordt de bodemas via verschillende natte methoden gescheiden in fracties met verschillende deeltjesgrootte. Deze methode is vooral gericht op de afscheiding van de 0-2 mm fractie. Aangezien een groot deel van de uitloogbare componenten en organische componenten verbonden is met de fijne fractie resulteert dit in een verminderde uitloging van de overgebleven bodemasfractie(s) (> 2 mm) (Nielsen et al., 2008). Als eindproduct bekomt men een slib- en zandfractie en één of meerdere bodemasgranulaten.

Extractie (wassen)

Bij het wassen wordt met behulp van water, met of zonder additieven (bijvoorbeeld zuren of chelaatvormers), een deel van de verontreinigingen (metalen en zouten) uit de bodemas verwijderd. De wasstap kan ingevoerd worden in het proces zelf (procesgeïntegreerd wassen). De wasstap kan tevens na het verbrandingsproces uitgevoerd worden.

Bodemas is van nature basisch, en de pH waarde van de bodemas – water suspensies zijn vaak tussen de 9.5-12, wat overeenkomt met minimale oplosbaarheid voor de meeste metaalverbindingen. De uitloogbaarheid van metalen wordt vooral bepaald door de oplosbaarheid van de metaalverbindingen. Daarom is de efficiëntie van het verwijderen van metaalverbindingen door middel van het wassen met water, laag. Het wordt vooral toegepast voor verwijderen van oplosbare verbindingen zoals chloride, zout en sulfaat. In sommige gevallen kan wassen met water leiden tot aanzienlijke oplossingsopbrengsten voor koper (Cu), en tot op zekere hoogte voor chroom

(Cr) en lood (Pb), hoewel ook is waargenomen dat de bereikte verwijdering onvoldoende is om de uitloging onder de wettelijke normen voor bouwstoffen te brengen. Toevoegen van CO₂ aan de wasstap om de pH te verlagen kan de extractie (en het verwijderen) van koper, nikkel en zink bevorderen. Aan de andere kant is waargenomen dat het wassen met water met behulp van CO₂ een negatief effect heeft op de uitlogingeigenschappen van bepaalde metalen in de bodemassen, zo wordt voor chroom (Cr) en molybdeen (Mo) de uitloging bevorderd. Dit is het gevolg van een verlaging van de pH.

Extractie door middel van gebruik van zuren is niet aan te raden: er zijn veel chemicaliën (en tijd) nodig om de pH te verlagen.

Natuurlijke veroudering en verwerking

Onbehandelde bodemas is chemisch nog reactief. Met de term "verouderen" wordt een reeks van gerelateerde processen bedoeld zoals carbonatatie, hydratatie, oplos- en neerslagreacties, sorptie, oxidatie- en reductiereacties, complexatie, vorming van mineralen en microbiële activiteit. Het doel van het verouderingsproces is dan ook het verminderen van de overblijvende reactiviteit en het verbeteren van de technische eigenschappen.

Een combinatie van technieken (bijv. mechanische scheiding en natuurlijke verwerking, gecombineerd met een specifieke behandeling van fracties op basis van korrelgrootte) is aan te bevelen om uitloging van metalen naar milieu tijdens gebruik van bodemassen te verminderen.

4.2.3 Aanwezigheid zorgstoffen

4.2.3.1 Samenstelling bodemas

De minerale fractie, metalen (schroot) en de niet-verbrande fractie zijn de belangrijke onderdelen van bodemassen (zie Tabel 9). De minerale fractie bestaat vooral uit silicaten, aardalkalimetalen en zouten. De metalen zijn ferro-metalen (ijzerschroot en roestvrij staal) en niet-ferro-metalen (aluminium, messing en koper) (Europese Commissie, 2019).

De onderlinge verhoudingen van stoffen in bodemassen verschilt afhankelijk van de samenstelling van het afval dat verbrand wordt, de vluchtigheid van de elementen en de verbrandingsduur. De kwaliteit is ook afhankelijk van de verbrandingsoven en van eventuele voorbehandelingen. Enkele voorbeelden: wel of niet een ferro-scheiding of wel of geen naverbranding in de trommeloven (leidt tot zeer fijnkorrelig materiaal met zeer) weinig onverbrand materiaal.

Tabel 9: Belangrijkste componenten van ruwe bodemas (Europese Commissie, 2019)

Categorieën	gewichtspercentage (massa-%)
Minerale fractie	85-90
Niet verbrande fractie	<3
Ferro-metalen	<5-10
non-ferro metalen	0,5-2

In deze casus ligt de focus op niet-ZZS metalen in bodemassen.

In onderstaande tabel 10 zijn totaalconcentraties metalen en uitloging (DIN 38414-S4) van verse of 3 maand oude bodemas uit 7 Spaanse huisvuilverbrandingsinstallaties (Izquierdo et al., 2001), 14 Noorse

verbrandingsovens (NRF, 2006) en 2 Duitse verbrandingsovens weergegeven (Nielsen et al., 2008). Het gaat zowel om ZZS metalen (arsen, cadmium, kobalt, kwik, lood, nikkel) als niet-ZZS metalen (barium, chroom (uitgezonderd chroom(VI)), koper, zink, molybdeen, antimoon, seleen, strontium en vanadium). Het gaat om data uit het BBT (best beschikbare technieken) document van 2008, en is daarmee niet heel recent. Het is niet duidelijk of de samenstelling van Nederlands bodemas op dit moment vergelijkbaar is.

De totaalconcentraties van metalen in de ruwe bodemas vertonen een zeer grote spreiding. Vooral de concentraties van zink, koper, chroom kunnen zeer hoog liggen (Nielsen et al., 2008). In tabel 10 is ook de uitloging van metalen opgenomen. De metalen barium, koper, zink, molybdeen en antimoon kunnen een hoge uitloging vertonen (Nielsen et al., 2008). Koper, molybdeen en antimoon worden ook gezien als kritisch als het gaat om uitloogbaarheid in het kader van Besluit bodemkwaliteit.¹⁴ Uit onderzoek van de TU Eindhoven naar uitloogbaarheid van metalen uit bodemmassen bleek koper en in sommige gevallen antimoon niet te voldoen aan het besluit bodemkwaliteit (Tang, 2015). Met opwerking is het mogelijk om de uitloging van deze metalen in voldoende mate te verlagen zodat wel wordt voldaan aan de kwaliteit "vrij toepasbaar".

De metalen die zijn vermeld worden allemaal gereguleerd volgens het besluit bodemkwaliteit, behalve strontium.

Tabel 10: Totaalconcentraties (niet-ZZS) metalen en uitloging (DIN 38414-S4) van onbehandelde bodemmassen. Bron: Nielsen et al., 2008 & Europese Commissie, 2019.

	Totaalconcentraties (mg/kg droge stof). Bron: BBT 2008 (Nielsen et al., 2008)	Uitloging (mg/kg droge stof). Bron: BBT 2019, (Europese Commissie, 2019), indien geen data beschikbaar is data uit BBT 2008 (Nielsen et al., 2008) gebruikt
Barium	450-1300	0.05-38
Chroom	105-500	0,004-1,24
Koper	750-11000	0,005-20
Zink	380-9800	0,01-6,7
Molybdeen	0,8-68	0,01-3,3
Antimoon	4-116	0,005-1,2
Selenium		0,001-0,13
Tin	80-340	0,04-na
Strontium	200-450	0,5-10 (BBT, 2008)
Vanadium	40-302	0,01-0,2
Aluminium	2,5-5,2%	2-124 (BBT, 2008)
ijzer	2,0-7,1%	0,01-2 (BBT, 2008)
magnesium	0,8-1,4%	0,1-8 (BBT, 2008)

4.2.4 Mogelijke risico's van metalen in bodemmassen en handelingsperspectieven m.b.t. het verwijderen van zorgstoffen

4.2.4.1 Risico's bij opslag

Er zijn mogelijk risico's bij de opslag van AVI bodemmassen, in het geval dat onvoldoende maatregelen worden getroffen om uitloging naar bodem te

¹⁴ <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/bodemmassen-en-slakken/eigenschappen-bodemmassen-e105504/materiaaleigenschappen-aec105507>

voorkomen. Het is onbekend of sinds het verbod om AVI bodemassen als IBC-bouwstof toe te passen (geldig vanaf januari 2024), grotere hoeveelheden bodemassen in opslag staan (bijvoorbeeld groter dan vergund waardoor het mogelijk zou ontbreken aan beschermingsmaatregelen).

4.2.4.2 Toepassen van bodemassen (eerste gebruik)

Door de aanwezigheid van uitlogbare metalen worden er specifieke eisen gesteld aan de chemische kwaliteit voordat bodemassen mogen worden toegepast. Dit is gereguleerd in het besluit bodemkwaliteit. Alle bouwstoffen die in Nederland worden vervaardigd, geïmporteerd, op de markt gebracht, opgeslagen, vervoerd, verhandeld of toegepast, moeten aan de normen van het Besluit bodemkwaliteit voldoen. De normen voor bouwstoffen bestaan uit maximale samenstellingswaarden en emissiewaarden. De maximale samenstellings- en emissiewaarden zijn opgesteld voor verontreinigingen die vaak in bouwstoffen voorkomen en die invloed hebben op de kwaliteit van de bodem. Voor metalen gelden emissiewaarden en deze zijn verschillend voor vormgegeven bouwstoffen en niet-vormgegeven bouwstoffen, vanwege de verschillen in uitloogeigenschappen. In bodemassen komen verschillende metalen voor, zowel ZZS als niet- ZZS metalen. Voor deze niet-ZZS metalen zijn er maximale emissiewaarden vastgelegd in het Besluit bodemkwaliteit: barium (Ba), chroom (Cr), koper (Cu), molybdeen (Mo), seleen (Se), tin (Sn), vanadium (V) en zink (Zn).

Ruwe onbewerkte bodemassen voldoen niet aan de eisen voor niet-vormgegeven bouwstoffen. Met name koper, antimoon zijn kritisch en mogelijk ook barium, molybdeen en zink. Met opwerking kunnen bodemassen worden toegepast als niet-vormgegeven bouwstof indien deze voldoen aan de emissiewaarden van het Besluit bodemkwaliteit.

Een andere mogelijke toepassing is het gebruik van bodemassen in immobilisaat. Wanneer bodemas vastgelegd wordt met een bindmiddel zoals cement, resulteert dit in een immobilisaat, waarbij oplosbare verbindingen fysisch ingesloten worden (fysische immobilisatie) of opgenomen worden in nieuw gevormde mineralen (chemische immobilisatie). Naast de verharding zorgt het cement voor een hoog bufferend vermogen (hoge pH) dat de uitloogbaarheid van vele elementen beperkt. Voor sommige elementen, waaronder koper, zal de uitloogbaarheid echter omwille van de hoge pH toenemen.¹⁵

Het opwerken van bodemas naar vrij toepasbare bouwstof vergt een flinke investering. De ILT ziet in de praktijk dat bedrijven in plaats van de beoogde kwaliteitsverbetering tot vrij toepasbare bodemas andere nieuwe afzetmarkten voor lage-kwaliteit bodemas zoeken. Denk bijvoorbeeld aan toepassingen als immobilisaten en vulmiddel in de betonindustrie, zoals vloeren, bakstenen, betonblokken, prefab betonderdelen.¹⁶ De ILT trof bij een bezoek aan vier opwerkers van bodemassen grote kwaliteitsverschillen aan in de ruwe, nog onbewerkte, bodemassen die worden aangeboden aan de (erkende) opwerkers (ILT, 2022).

4.2.4.3 Het opnieuw toepassen van producten met bodemassen

¹⁵ <https://afss.emis.vito.be/techniek/immobiliseren-van-bodemas>

¹⁶ De ILT bracht in 2019 de risico's in de bodemketen in kaart. Zo zijn er verschillende schakels met risico's op het vrijkomen van gevaarlijke stoffen met mogelijke gevolgen voor mens en milieu. Als vervolg hierop onderzocht de ILT in 2021 4 erkende Nederlandse opwerkers van bodemassen. Het blijkt dat 3 van de 4 gecontroleerde bedrijven nog steeds bodemas van IBC-kwaliteit produceren i.p.v. vrij toepasbare bouwstof.

De ILT heeft mogelijke milieurisico's gesignaleerd bij een tweede en/of derde leven van de betonproducten omdat onbekend is waar deze producten zijn toegepast, niet herkenbaar zijn en/of bij recycling de verontreinigingen alsnog kunnen vrijkomen (ILT, 2022).

Bouwstoffen worden na productie getoetst aan de maximale emissie en samenstellingswaarden voor de beoogde toepassing (vormgegeven of niet-vormgegeven) op het moment van productie. Er wordt geen rekening gehouden met het (her)gebruik van de bouwstof in andere levensfase waarbij de vorm (wel/niet vormgegeven) van de bouwstof kan veranderen. Bouwstoffen kunnen echter over de jaren in meerdere levenscycli en verschillende vormen worden (her)gebruikt. Bij iedere toepassing in een nieuwe levensfase wordt het product opnieuw getoetst volgens de beoogde toepassing.

Zo kan een bouwstof in de eerste levensfase aan beton worden toegevoegd (bijvoorbeeld als aggregaat) en wordt het product (beton) beoordeeld als vormgegeven bouwstof middels de voorgeschreven diffusieproef op vers product. Na de eerste levensfase kan het gebroken beton weer onderdeel worden van nieuw beton en wordt het opnieuw getoetst middels een diffusieproef. Het gebroken beton kan ook worden (her)gebruikt als niet-vormgegeven bouwstof als fundering onder wegen. Bij de laatste toepassing wordt het gebroken beton getoetst middels de voorgeschreven kolomproef voor niet-vormgegeven bouwstof.

Omdat de normering van vormgegeven en niet-vormgegeven bouwstoffen van elkaar verschillen, evenals het uitlooggedrag, kan het zijn dat een bouwstof in de eerste levensfase voldoet, maar bij (her)gebruik in een andere levensfase met een andere beoordelingsstrategie niet meer (Brand et al., 2024).

In het kader van dit onderzoek is één studie gevonden die resultaten hierover rapporteert. Het onderzoek en deze resultaten worden hieronder samengevat.

Onder begeleiding van CROW-werkgroep over het toepassen van bodemassen in beton, is uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van de AEC-vulstof (opgewerkte bodemassen) en de prestaties ervan in beton. In dit onderzoek zijn zowel betontechnologische als milieuhygiënische aspecten van het beton bepaald.

Betontegels zonder vulstof, met kalksteenmeel (KSM) en met vulstof AEC-3 (opgewerkte bodemassen)) zijn na twee maanden versneld hydrateren, verkleind met een kaakbreker, waarbij vervolgens de fractie 4-22 mm droog is uitgezeefd. De uitloging van het betongranulaat zonder vulstof en van het betongranulaat met vulstof AEC-3 (opgewerkte bodemassen) is bepaald met de kolomproef volgens NEN 7383 ten behoeve van toetsing aan het Besluit Bodemkwaliteit. Uit dit onderzoek bleek dat betongranulaat met AEC-3 (opgewerkte bodemassen) wat betreft de componenten: barium, chroom, koper, molybdeen en chloride een hogere uitloging vertoont dan het betongranulaat zonder vulstof. Deze uitloging voldoet echter in alle gevallen wel aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit en vormt in dit geval geen beperking voor een "tweede leven" toepassing.

Bovenstaande betreft een onderzoek naar één type product. Kwaliteit van bodemassen kan verschillen al naar gelang de batch. Daarom is voor het vaststellen van mogelijke milieurisico's bij het opnieuw toepassen van andere bouwstoffen met AVI bodemassen in een volgende levensfase (bijvoorbeeld als granulaat) uitgebreider onderzoek nodig. Het gaat namelijk om potentieel veel bouwstoffen die op langere termijn hergebruikt gaan worden.

Het is daarbij ook van belang rekening te houden met het pH en verouderingseffect door carbonatatie, waardoor een bouwstof op langere termijn mogelijk niet meer voldoet aan normstelling (en in het uiterste geval moet worden gestort) (Brand et al., 2024).

4.2.4.4 Risico's voor waterkwaliteit

Naast uitloging naar de bodem, kunnen er mogelijk stoffen uit bodemmassen naar oppervlakte- en grondwater uitloggen. Dat geldt bijvoorbeeld voor drainagewater van wegen waar bodemmassen zijn toegepast in de constructie. Dit is bijvoorbeeld aangetoond na de aanleg van de Tjalmaweg in Katwijk. Vanaf 2023 wordt in opdracht van de gemeente Katwijk de kwaliteit van het grondwater- en oppervlaktewater rond de Tjalmaweg gecontroleerd. Het doel is te monitoren of er als gevolg van het gebruik van de op bodemmassen gebaseerde bouwstof 'Beaumix' bodemvreemde stoffen in het oppervlakte- en grondwater terechtkomen. Uit onderzoek bleek dat van een aantal stoffen verhoogde waardes waren gemeten in het drainagewater ten opzichte van het grond- en oppervlaktewater. Het drainagewater zou eerst afgevoerd worden naar het oppervlaktewater, maar nu wordt er een rioolbuis aangelegd voor afvoer naar een waterzuiveringsinstallatie waar het eerst gezuiverd zal worden. Blootstelling aan metalen van oppervlakte- en grondwater is dus een aandachtspunt bij het toepassen van bodemmassen als bouwstof.

4.2.5 *Mogelijkheden om zorgstoffen te voorkomen en te verwijderen.*

Er liggen mogelijk kansen om concentraties metalen in bodemmassen te verminderen door restafval te sorteren voor verbranding, dit is echter niet onderzocht in het kader van dit onderzoek. Er zou dan specifiek gekeken kunnen worden naar de bron van de uitlogbare metalen die niet voldoen aan het besluit bodemkwaliteit zonder opwerking, zoals koper, molybdeen en antimoon.

Ook liggen er mogelijkheden bij het verbrandingsproces zelf om concentraties van metalen te beïnvloeden omdat de parameters van het verbrandingsproces invloed hebben op de verdeling van metalen over de verschillende verbrandingsresiduen (Europese Commissie, 2019). Het is niet duidelijk of dat dit ook van toepassing is op de verdeling van niet ZZS-metalen.

Downstream technieken voor het verwijderen van metalen zijn o.a. veroudering, mechanische behandeling, wassen, thermische behandeling en stabilisatie. Vaak wordt gekozen voor een combinatie van technieken.

Verschiede verwijderingstechnieken zijn o.a. omschreven in het Best Available Techniques (BAT) referentiedocument (BREF) voor afvalverbranding (Europese Commissie, 2019).¹⁷ Kennis over verwijderingstechnieken voor uitlogbare metalen als basis kunnen dienen om na te gaan welke (minimale) eisen gesteld kunnen worden aan verwijdering van metalen uit bodemmassen.

Tot slot, de mogelijkheden voor het toepassen van bodemmassen hangt af van verschillende factoren. Naast de uitloogbaarheid van metalen is bijvoorbeeld ook de hoeveelheid organische componenten, de uitloogbaarheid van zouten, fysische eigenschappen (deeltjesgrootte en sterkte) (Europese Commissie, 2019) en de aanwezigheid van zichtbare verontreinigingen (batterijen, onverbrande deeltjes) van belang.

¹⁷ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/075477b7-329a-11ea-ba6e-01aa75ed71a1/language-en>

4.2.6 *Conclusie*

Bodemassen moeten opgewerkt worden om te voldoen aan het Besluit Bodemkwaliteit.

Voor toepassing van opgewerkte bodemassen in vormgegeven bouwstoffen (als vulstof/of geïmmobiliseerd in cement) zou de verwerker rekening moeten houden met een volgende levenscyclus. Het kan overwogen worden om eisen te stellen aan de kwaliteit van bouwstoffen die geïmmobiliseerd worden of in beton worden verwerkt.

Voor toepassing van opgewerkte bodemassen als niet-vormgegeven bouwstoffen is het van belang om uitloogbare metalen die in het drainagewater terecht komen en de waterkwaliteit negatief kunnen beïnvloeden zoveel mogelijk te reduceren.

4.3 **Rioolwaterzuiveringslib**

4.3.1 *Beschrijving afvalstof*

Deze casus richt zich op slib van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI). De waterschappen produceren ongeveer 1,5 miljoen ton slib per jaar.¹⁸

4.3.2 *Huidige verwerkingsmethodes en minimumstandaard*

De waterschappen laten hun slib verwerken door een slibeindverwerkingsbedrijf. Ongeveer de helft van de waterschappen is als aandeelhouder verbonden aan zo'n bedrijf.

De minimumstandaard voor de verwerking van RWZI slib is verbranding. Dit wordt direct gedaan in een monoverbrandingsinstallatie waar alleen zuiveringsslib wordt verwerkt of in een co-verbrandingsinstallatie waar het slib samen met huishoudelijk afval wordt verbrand. Voorafgaand aan verbranding wordt in een aantal installaties het slib gedroogd. De technieken die daarbij worden toegepast zijn biologische droging of droging met aardgas. Het biologisch gedroogde slib wordt veelal verbrand in een elektriciteitscentrale. Het met aardgas gedroogde slib wordt in bio-energiecentrales verbrand of wordt als brandstof ingezet in de cementindustrie.

Bij het zuiveren wordt het rioolwater opgeslagen in tanks waar de vaste deeltjes uit het water bezinken en op de bodem terecht komen. Het deel dat op de bodem terecht komt wordt het slib genoemd. Het slib wordt eerst ingedikt, waarna het ingedikte slib naar een vergistingstank gaat. Tijdens het vergistingsproces worden organische stoffen afgebroken tot stabiele stoffen. Door het slib te vergisten neemt de massa van het slib af, wordt het gestabiliseerd en worden pathogene kiemen teruggedrongen (STOWA, 2011). Verder ontstaat bij het vergisten biogas waaruit energie kan worden opgewekt. Na het vergisten wordt het overige slib ontwaterd. In de eerste stap hiervoor worden chemicaliën toegevoegd om de slibvlokken drukkbestendig te maken en ervoor te zorgen dat het water gemakkelijk kan wegstromen. Vervolgens wordt het slib onder hoge druk geperst waarbij het water via filters wegstroomt. Het water wat hierbij vrijkomt wordt weer teruggevoerd naar de RWZI waar het opnieuw wordt gezuiverd. Het ontwaterde en geperst slib wordt vervolgens getransporteerd naar speciale slibverwerkers waar het wordt verbrand.

¹⁸ <https://unievandwaterschappen.nl/waterkwaliteit/slibverwerking/>

4.3.3 *Nieuwe verwerkingsmethodes*

Er wordt momenteel veel geïnvesteerd in de mogelijkheden om bioplastics en biobased grondstoffen te produceren uit slib. Zo is er recentelijk een demonstratie-installatie gebouwd in Dordrecht die per dag ongeveer 25 kg van het bioplastic PHA produceert¹⁹ (H2O netwerk, 2022). De demonstratie-installatie maakt onderdeel uit van het project PHA2USE, een samenwerking tussen slibverwerker HVC en technologiebedrijf Paques Biomaterials, vijf waterschappen en STOWA.

Er liggen plannen voor de bouw van nieuwe fabrieken. PHA wordt gevormd door actief slib, de bacteriën die normaal gesproken organische verontreinigingen afbreken op RWZI's. Ze gaan PHA produceren, als ze extra worden gevoed met vetzuren. De demo-installatie, extraheert het PHA uit de extra gevoede actief-slibbacteriën. De geproduceerde PHA wordt verstrekt aan bedrijven die in verschillende sectoren actief zijn, om te zorgen voor een zo breed mogelijke verkenning van toepassingen. Voor PHA is de land- en tuinbouw een interessante afzetmarkt, onder andere omwille van de goede afbreekbaarheid.

Er zijn twee installaties in Nederland die de biobased grondstof Kaumera winnen uit slibkorrels gevormd door het Nereda zuiveringsproces²⁰. Eén 'fullscale' installatie is een AWZI (zuivelfabriek) in Zutphen en de ander (demo-installatie) is gekoppeld aan de RWZI van Epe. De bacteriën van het Nereda proces produceren een soort lijmachtige substantie (glycoproteïne) waaruit Kaumera ("extra polymer substance, EPS") gewonnen kan worden. Door de extractie en afzet van Kaumera hoeft er ongeveer 25-30% minder slib afgevoerd te worden. Kaumera heeft veelzijdige eigenschappen en is te gebruiken in vele toepassingen. Het kan water vasthouden en afstoten, het is brandvertragend, het is een bindmiddel voor onder andere composietmaterialen en het is mogelijk een biostimulant. Sinds de introductie zijn er veel kansrijke producten in ontwikkeling in de land- bos- en tuinbouw, de bouwindustrie en de wereld van nieuwe materialen en composieten.

4.3.4 *Aanwezigheid zorgstoffen*

De droge stof in slib bestaat voor ongeveer 60% uit organisch materiaal en 40% anorganisch materiaal (Kacprzak et al., 2017). Via excretie komen pathogenen in het rioolwater terecht, hierdoor kunnen virussen, fecale micro-organismen en parasieten in slib van RWZI terecht komen. In slib kunnen veel verschillende zorgstoffen voorkomen, waaronder (zware) metalen, micro-organismen, microverontreinigingen, PFAS en microplastics.

Onder de organische microverontreinigingen vallen een breed scala aan stoffen en stofgroepen, waaronder biociden, gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten die we meenemen in de scope van deze casus. De zorgstoffen PFAS en microplastics kunnen ook voorkomen in het slib van RWZI's maar vallen buiten de afbakening wat betreft de uitwerking van de casussen.

Het overgrote deel van het onderzoek naar deze microverontreinigingen richt zich op verontreinigingen in de waterfractie omdat de meeste stoffen via het

¹⁹ <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/demofabriek-pha2use-opmaat-tot-commercieel-productie-pha>

²⁰ www.kaumera.com

effluent in het oppervlaktewater terecht komen. In Nederland is de meting en monitoring van microverontreinigingen in influenten en effluënten van RWZI's sinds 2005 goed op gang gekomen vanwege mogelijke problemen van de oppervlaktewaterkwaliteit. Meting van organische microverontreinigingen in slib vindt tot op heden echter nauwelijks plaats (Faro Advies, 2020). Een waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat deze stoffen niet van belang zijn bij de huidige wijze van eindverwerking van het slib en dus geen rol spelen in de acceptatie eisen voor eindverwerking (Faro advies, 2020).

Hieronder wordt een korte toelichting gegeven per type zorgstof:

- Medicijn(resten) vormen een belangrijke groep van microverontreinigingen. Uitgescheiden medicijnresten komen via het riool bij de RWZI. In de RWZI wordt een deel van de medicijnresten uit het rioolwater verwijderd door afbraak en sorptie aan slib, waardoor medicijnresten in het slib aangetroffen kunnen worden. Een geneesmiddel bestaat uit een actieve stof en hulpstoffen. Er zijn honderden actieve stoffen toegelaten in Nederland. Wat betreft diergeneesmiddelen en emissie naar water is de toepassing van antibiotica bij landbouwhuisdieren het belangrijkste.
- Bij gewasbeschermingsmiddelen gaat het onder andere om stoffen die worden toegepast tegen onkruid (loofdoedende, kiemremmende of groeiregulerende (herbiciden), plaagorganismen (insecticiden), schimmels (fungiciden), nematoden (nematiciden), mijten (acariciden) en vogels.
- Biociden worden onder andere toegepast als beschermingsmiddelen voor coatings of koelsystemen, ontsmettingsmiddelen, conserveringsmiddelen, insectenwerende middelen en houtverduurzamingsmiddelen.

4.3.5 *Mogelijke risico's van zorgstoffen in RWZI slib*

4.3.5.1 Toepassen van slib in de landbouw

De wettelijke eisen ten aanzien van landbouwkundig gebruik van zuiveringsslib worden in Nederland en andere EU landen bepaald door de concentraties van zware metalen. Hoewel het slib de laatste jaren steeds schoner is geworden voor wat betreft de verontreiniging met een aantal metalen, voldoet het toch vaak niet aan de wettelijke eisen die Nederland hieraan stelt. Vaak wordt wel aan de Europese eisen voldaan. Het Uitvoeringsbesluit meststoffen (Stb. 2005, 645) stelt maximaal toelaatbare waarden voor zware metalen in zuiveringsslib en compost. De kritische parameters voor landbouwkundige toepassing van zuiveringsslib zijn bijna altijd koper en zink (Faro Advies, 2020).

Ondanks de wettelijke beperking is in het project 'Bodemverbetering met slibcompost' op Agroinnovatie Centrum de Marke tussen 2020 en 2023 onderzocht hoe zuiveringsslib in de vorm van slibcompost opnieuw kan worden toegepast in de landbouw. Als onderdeel van het project zijn ook metingen gedaan van verschillende soorten microverontreinigingen, in het slib en na compostering van het slib. De gemeten concentraties in de slib-compost producten zijn - waar ze vergeleken kunnen worden met de norm - allen lager dan de toetsingswaarde. Voor die stoffen waar geen directe vergelijking met een toetsingswaarde mogelijk is, is vooralsnog het risico moeilijk vast te stellen, maar zijn de concentraties laag (Faro Advies, 2020). Ook zijn er 30 PFAS verbindingen geanalyseerd. De concentraties van sommige PFAS verbindingen na compostering van het slib met groenstromen, zowel in slib-compost als slib-Bokashi, laag zijn in vergelijking met de oorspronkelijke concentraties in slib, maar nog wel meetbaar (boven detectielimiet).

4.3.5.2 Risico's huidige verwerking

Bij het verbrandingsproces zullen pathogenen en ook de meeste organische microverontreinigingen vernietigd worden²¹.

Bij het verwerken van slib komt CO₂ vrij wat vervolgens voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Zo wordt het CO₂ dat vrijkomt bij slibverwerker SNB gebruikt voor het wit maken van papier in een nabijgelegen fabriek (STOWA, 2014).

Als afvalproducten van het verbrandingsproces blijven reststoffen over (slibassen). Het slibas bevat vaak nog (hoge) concentraties (zware) metalen.

Om te voorkomen dat dergelijke stoffen vrijkomen wordt slibas vaak gestabiliseerd door het vast te leggen in een vaste matrix, zoals cement (Cieřlik et al., 2015). Er zijn echter weinig (meet)gegevens bekend over concentraties van metalen in Nederlands slib(as).

Alhoewel er potentie lijkt te zijn, wordt er nog niet op grote schaal (zware) metalen teruggewonnen uit slib(as). Zuiveringsslib bevat een significante hoeveelheid fosfaat, die terug te winnen is uit de slibassen door uitloging met zuren. De zuiveringsslibverwerker SNB heeft vergevorderde plannen om met SusPhos een fabriek te bouwen die fosfaat gaat terugwinnen uit vlieg-as. De recyclingfabriek moet naast de reeds bestaande slibverwerkingsinstallatie van SNB in Moerdijk komen. Daarnaast wordt een tweede product geproduceerd dat kan worden toegepast in de constructie-industrie. In een later stadium wordt ook gekeken naar het terugwinnen van diverse metalen²².

Na het scheiden van de asdeeltjes van de rookgassen worden de rookgassen in twee fasen gewassen. De in de rookgassen aanwezige metalen (waaronder kwik) worden geabsorbeerd door het water. Het afvalwater van de wasser wordt ingedampt, en het vaste residu wordt afgevoerd als gevaarlijk afval.²³

4.3.5.3 Bioplastics en biopolymeren uit slib

Er zijn veel toepassingsmogelijkheden voor Kaumera en PHA. Voor beide producten geldt dat er nog marktonwikkeling plaatsvindt en niet alle mogelijke toepassingen in beeld zijn.

Voor PHA productie uit slib, worden verschillende procesmaatregelen genomen om risico's van blootstelling aan pathogenen of micro-organismen te verkleinen. In het proces van extractie is de kans klein dat bacteriën overleven. Er vindt ontwatering plaats bij pH waarde van 3. Vervolgens is er een thermische droogstap en de thermische extractiestap vindt plaats in een alcohol bij een temperatuur van 140 graden gedurende meer dan 30 minuten (pers. Comm. Leon Korving, Brabantse Delta).

Wat betreft microverontreinigingen in het geproduceerde PHA wordt door de projectpartners van PHARIO momenteel informatie verzameld (pers. Comm. Leon Korving, Brabantse Delta). De eerste resultaten laten zien dat "een hoge zuiverheid" gehaald wordt (pers. Comm. Leon Korving, Brabantse Delta).

²¹ Sommige organische verbindingen zijn resistent voor thermische afbraak en zullen slechts deels afgebroken worden waardoor reactieproducten in de assen terecht kunnen komen. Dat geldt bijvoorbeeld voor PFAS.

²² <https://www.snb.nl/actueel/snb-sushphos-uniek-fosfaatfabriek/>

²³ https://www.snb.nl/wp-content/uploads/2022/11/SNB_cb_proces_NL.pdf

De extractie van Kaumera vindt plaats door gebruik te maken van een loog en vervolgens zuur bij een temperatuur van 80 graden (gedurende minimaal 2 uur)²⁴. Voor het Kaumera product van de AWZI Zutphen is einde afvalstatus verkregen voor een toepassing als biostimulant. Voor deze site is een risicobeoordeling gedaan op basis van het RIVM rapport 2018-0173 (Creating Safe and Sustainable Material Loops in a Circular Economy). Voor het Kaumera product gewonnen uit RWZI Epe loopt op dit moment nog onderzoek naar aanwezigheid en risico's van pathogenen, microverontreinigingen en zware metalen in relatie tot de eisen aan de toepassingen. Veel is al onderzocht, maar nog niet definitief. Er ligt een risicobeoordeling die nog uitgebreid moet worden (pers. Comm. Martijn Bovee, AquaMinerals).

4.3.5.4 *Conclusie*

Rioolwaterzuiveringslib wordt conform de minimumstandaard verbrand. De meeste verontreinigingen zullen daarbij vernietigd worden. Voor metalen is dat niet het geval, deze komen in het slibas terecht of in de rookgassen (die nog gezuiverd worden). Slibas valt onder een ander sectorplan dan het rioolwaterzuiveringsslib en is niet onderzocht in de scope van deze casus. Er zijn verschillende initiatieven om grondstoffen te winnen uit rioolwaterzuiveringslib (Phario, Kaumera). Door onder andere een behandeling met zuur en hoge temperatuur tijdens de extractie worden geen risico's van pathogenen verwacht. Aanwezigheid en risico's van zorgstoffen (medicijnresten, gewasbeschermingsmiddelen en biociden) worden momenteel onderzocht door Phario en AquaMinerals.

²⁴ <https://kaumera.com/technologie/kaumera-extractieproces/>

5. Referenties

Astrup, T., Muntoni, A., Poletti, A., Pomi, R., Van Gerven, T., Van Zomeren, A. (2016). Treatment and reuse of incineration bottom ash. *Environmental materials and waste*. pp. 607-645. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00024-X>

Bakker, J., Bokkers, B. & Broekman, M. (2021). Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. RIVM rapport 2021-0143. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0143.pdf>

Brand, E., van Genuchten, J., Vis, R. & Broekman, M. (2024). Evaluatie normeringskader (her)gebruik secundaire bouwstoffen. RIVM rapport 2024-0074.

Caldeira, C., Farcal R., Garmendia Aguirre I., Mancini L., Tosches D., Amelio A., Rasmussen K., Rauscher H., Riego Sintes J. & Sala S. (2022). Safe and sustainable by design chemicals and materials - Framework for the definition of criteria and evaluation procedure for chemicals and materials. JRC128591. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128591>

CE delft (2022). Auteurs: Marijn Bijleveld, Maarten Bruinsma en Jessica de Koning. 2022. Mogelijkheden en milieukundige evaluatie middels mLCA.

Cieřlik, B.M., Namieřnik, J., Konieczka, P. (2015). Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of cleaner production*. 90: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.031>

CROW (2021). AEC-vulstof voor beton: nieuwe regelgeving voor een nieuwe vulstof. <https://www.crow.nl/getmedia/095b303c-2775-473d-81bd-f5fef116d3d5/031-AEC-vulstof-voor-beton-nieuwe-regelgeving.pdf.aspx>

Derksen, J.G.M., Moermond, C.T.A. & Bodar, C.W.M. (2015). Recycling of waste streams containing human and veterinary pharmaceuticals. RIVM- rapport 2015-0174. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0174.pdf>

European Commission, Joint Research Centre (2019). Auteurs: Cusano, G., Roudier, S., Neuwahl, F. et al., *Best Available Techniques (BAT) reference document for waste incineration – Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/761437>

Faber, M. & Montforts, M.H.M.M. (2022). *Organic contaminants in fertilising products and components materials*. WOt-technical report 220. <https://doi.org/10.18174/568124>

Faraca, G., Boldrin, A., Astrup, T. (2019). Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.005>

Faro Advies. (2020). Onderzoek naar organische microverontreinigingen in zuiveringsslib en slibcompost. Auteur: Peter Laan.
<https://www.waternetwerk.nl/images/knw/2106-TCW-Onderzoeksrapport-PL.pdf>

H2O netwerk. (2022). Demofabriek PHA2USE op maat tot commerciële productie plastic vervanger. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/demofabriek-pha2use-opmaat-tot-commercieel-productie-pha>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021). Sectorplan 20 AVI-bodemas.

ILT (2019). Signaalrapportage - Analyse risico's in de keten van bodemas. <https://www.ilent.nl/onderwerpen/bodemtoezicht/documenten/leefomgeving-en-wonen/bodem/bodemtoezicht/zienswijzen/analyse-risicos-in-de-keten-van-bodemas>

ILT (2022). Signaalrapportage- Signaalrapportage Milieurisico's bodemas verschuiven naar een andere afzetmarkt.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/06/14/signaalrapportage>

Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijałkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., Rorat A., Brattebo, H., Almås, Å., Singh, B.R. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. Environmental research. 156: 39-46.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>

Komen, C.M.D. & Wezenbeek J.M. (2022). *Inventarisatie Zeer Zorgwekkende Stoffen in bestrijdingsmiddelen*. RIVM-briefrapport 2022-0027.
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0027.pdf>

Krook, J., Mårtensson, A., Eklund, M. 2004. Metal contamination in recovered waste wood used as energy source in Sweden. Resources, Conservation and Recycling 41 (2004) 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00100-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00100-9)

Krook, J., Mårtensson, A., Eklund, M. (2006). Sources of heavy metal contamination in Swedish wood waste used for combustion. Waste Management 26 (2006) 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.017>

KWR. Report no. 2016.21. (2016).
<https://www.kwrwater.nl/projecten/terugwinnen-metalen-water-slib-en-vliegas/>

Lahr, J., Moermond C., Montforts M., Derksen A., Bondt N., PuisterJansen L., de Koeijer T., Hoeksma P. (2019). Diergeneesmiddelen in het milieu. Een synthese van de huidige kennis. STOWA rapport 2019-26. STOWA, Amersfoort.
<https://www.stowa.nl/publicaties/diergeneesmiddelen-het-milieu-een-synthese-van-de-huidige-kennis>

TAUW (2020). Inventarisatie IBC-werken met AEC bodemas.
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/02/26/rapport-tauw-inventarisatie-ibc-werken-met-aec-bodemas>

Moermond, C.T.A., Smit C.E., van Leerdam R.C., van der Aa N.G.F.M., Montforts M.H.M.M. (2016). Geneesmiddelen en Waterkwaliteit. RIVM rapportnummer 2016-0111. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2016-0111.pdf>

Moermond, C.T.A., Montforts, M.H.M.M., Roex, E.W.M. & Venhuis, B.J. (2020). *Medicijnresten en waterkwaliteit: een update*. RIVM-rapport 2020-0088. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0088.pdf>

Nielsen, P., Kenis, C., Vanassche, S., Vrancken, K. 2008. Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor behandeling van bodemas van huisvuilverbranding. Gent, Academia Press, 2008, xii + 119 pp. https://emis.vito.be/sites/emis.vito.be/files/pages/migrated/bbt_bodemas.pdf

Östman, M., Lindberg, R.H., Fick, J., Björn, E., Tysklind, M. (2017). Screening of biocides, metals and antibiotics in Swedish sewage sludge and wastewater. *Water research*. 115: 318-328. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.011>

Quik, J., Faber, M., Ridder, J., Waaijers-van der loop, S.L. (2022). Wat weten we over microplastics in het milieu. Kennisagenda Microplastics in het milieu. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0188.pdf>

Rijkswaterstaat. (2018). *Handreiking Risicoanalyse ZZS in afvalstoffen Voor bedrijven en bevoegde gezagen – achtergrond bij LAP3/B.14*. https://lap3.nl/publish/pages/138144/rws_handreiking_risicoanalyse_zzs_in_afvalstoffen_versie_1_0_1.pdf

Rutgers, M., Faber, M., Waaijers-van der Loop, S.L. & Quik, J.T.K. (2022). *Microplastics in soil systems, from source to path to protection goals - state of knowledge on microplastics in soil*. RIVM rapport 2021-0224. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0224.pdf>

SNB (2024). Website artikel. <https://www.snb.nl/actueel/hvc-en-snb-testen-fosfaatruigwinning-uit-slib-nu-in-de-praktijk/>

Staatsblad. (2021). Besluit van 25 februari 2021 tot wijziging van het Besluit vrijstellingen stortverbod buiten inrichtingen.

STOWA (2011). Handboek slibgisting, rapport nummer 2011-16. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202011/STOWA%202011-16.pdf>

STOWA (2014). CO2-winning op RWZI's. Report no. 2014-21 <https://www.stowa.nl/publicaties/co2-winning-op-rwzis>

Šyc, M., Georg S.F., Hykš J., Braga R., Biganzoli L., Costa G., Funari V., Grosso M. Metal recovery from incineration bottom ash: State-of-the-art and recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 393, 2020, 122433, ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122433>.

van der Schaaf, M., Bekhuis, P.D.B.M. & Boudewijns, L.H.A. (2022). Radioactieve rest- en afvalstoffen in Nederland - Een inventarisatie. RIVM-rapport 2022-0073. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0073.pdf>

Website Waterschap Noorderzijlvest (geraadpleegd op 12 april 2024) <https://www.noorderzijlvest.nl/slibverwerking>

Wezenbeek, J.& Komen, C.M.D. (2023). Verkenning risicofactoren biocidegebruik. RIVM rapport 2023-0376. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0376.pdf>

