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

Notitie ‘ZZS in ketenplannen’

Toelichting bij spreadsheet tabel

Frieke Heens, Joost Bakker en Johannes Lijzen

10 juni 2024

Colofon

Auteurs:
Frieke Heens
Joost Bakker
Johannes Lijzen

Contact:
Johannes Lijzen
RIVM-DMG
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

Inhoudsopgave 3
1 Inleiding 5
1.1 Achtergrond 5
1.2 Doel 5
1.3 Onderzoeksvragen 6
1.4 Werkwijze 6
2 Uitwerking 8
2.1 Afbakening van de materiaalstromen in ketenplannen 8
2.2 Toelichting op de velden in de tabel 9
3 Resultaten 12
3.1 Inleiding 12
3.2 Beton 12
3.2.1 Werkwijze 12
3.2.2 Resultaten beton: keten 12
3.2.3 Resultaten: ZZS in grondstoffen voor beton 14
3.2.4 Resultaten: ZZS in betontoevoegingen 17
3.2.5 Resultaten: ZZS in betonproducten. 19
3.2.6 Algemene conclusies ZZS in beton 19
3.2.7 Blootstellingsroutes 20
3.2.8 Volledigheid 20
3.2.9 Referenties 20
3.3 Kunstgras 23
3.3.1 Werkwijze 23
3.3.2 Resultaten kunstgras: keten 23
3.3.3 Blootstellingsroutes 25
3.3.4 Volledigheid 25
3.3.5 Referenties 25
3.4 Hout 28
3.4.1 Werkwijze 28
3.4.2 De houtketen, soorten afvalhout 28
3.4.3 Resultaten categorie B hout 29
3.4.4 Resultaten met overige chemische middelen verduurzaamd C-hout 38
3.4.5 Resultaten met Wolmanzouten verduurzaamd C-hout 42
3.4.6 Blootstellingsroutes 43
3.4.7 Volledigheid 43

3.4.8 Referenties 43
3.5 Textiel 46
3.5.1 Werkwijze 46
3.5.2 Resultaten textiel: keten 46
3.5.3 Blootstellingsroutes 47
3.5.4 Volledigheid 48
3.5.5 Referenties 48
3.6 Zonnepanelen 50
3.6.1 Werkwijze 50
3.6.2 Resultaten zonnepanelen: keten 50
3.6.3 Blootstellingsroutes 50
3.6.4 Volledigheid 51
3.6.5 Referenties 51
3.7 Papier en karton 52
3.7.1 Werkwijze 52
3.7.2 Resultaten papier en karton: keten 52
3.7.3 Blootstellingsroutes 53
3.7.4 Volledigheid 53
3.7.5 Referenties 53
4 Bijlage A 55

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het aankomende Circulair Materialenplan (CMP) zijn zes ketenplannen opgenomen:

- Textiel;
- papier/karton;
- Zonnepanelen;
- Hout;
- Beton; en
- kunstgras (incl. rubber infill).

Deze ketenplannen bestaan naast een groot aantal afvalplannen voor andere afvalstromen (voorheen sectorplannen). In elk ketenplan wordt ingegaan op de hele keten van grondstoffen, productie, gebruik en einde levensduur van een product. Er is aandacht voor de mogelijkheden om in elke fase van de keten de circulariteit te verhogen en de milieu-impact van de productketen te verminderen.

In elk ketenplan wordt onder meer beschreven welke Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) in de hele ketenkunnen voorkomen. In het SGS-rapport ‘Inventarisatie ZZS in afvalstoffen’ (2019) zijn overzichten per sectorplan gemaakt van de in EU-kader benoemde ZZS, de Substances of Very High Concern (SVHC), die in afvalstromen kunnen voorkomen. Ook gaat het om de SVHC die per oktober 2019 bekend waren. In dat onderzoek zijn dus niet alle ZZS meegenomen. Wel meegenomen zijn:

- POP stoffen (versie POP-verordening d.d. 2019);
- REACH gereguleerde stoffen die SVHC zijn (versie REACH verordening d.d. 2019).

In de overzichten in die rapportage is onderscheid gemaakt tussen ‘ZZS die relevant zijn’ voor een afvalstroom in een sectorplan en ZZS die zijn aangemerkt als 'mogelijk relevant in specifieke partijen', bijvoorbeeld bij partijen die afkomstig zijn van één producent of één ontdoener.’ Overige ZZS (niet POP en REACH) zijn niet opgenomen in de overzichten van SGS (2019), maar kunnen wel relevant zijn.

RWS heeft het RIVM gevraagd informatie zoals die voor zes plannen beschikbaar is vanuit het genoemde SGS-rapport aan te vullen met gegevens over het voorkomen van alle ZZS (niet alleen SVHC). Daarbij is het gewenst verwachte concentraties in materialen of afval aan te geven. Deze notitie is een bijlage bij een spreadsheet tabel waar alle data in zijn opgenomen.

1.2 Doel

Het doel van de rapportage is meer inzicht te geven in de ZZS die kunnen voorkomen in de productgroepen en materialen waar ketenplannen voor worden opgesteld. Aangegeven is dat de antwoorden op de onderzoeksvragen gebruikt zullen worden bij het opstellen van de ketenplannen door RWS.

Meer concreet is het doel van deze studie een spreadsheet overzicht te maken met daarbij een toelichting die bevoegde overheden snel meer inzicht geeft in ZZS die kunnen voorkomen in materialen en producten in die specifieke keten. Deze informatie zal worden gebruikt bij het uitwerken van de ketenplannen voor het CMP.

1.3 Onderzoeksvragen

In de adviesaanvraag zijn de volgende vragen gesteld:

a. Welke ZZS kunnen per ketenplan in de afvalstoffen voorkomen? Daarbij is het gewenst per ZZS aan te geven of dit een REACH-, POP- of andere ZZS-stof betreft.
b. Welke ZZS kunnen naar verwachting voorkomen in de betreffende ketens boven de concentratiegrenswaarde voor afvalstoffen?
c. Wat is de oorsprong van de ZZS in de betreffende ketens (bijv. aanwezig in bepaalde grondstoffen, ontstaan tijdens bepaalde productieprocessen, ontstaan tijdens bepaalde afvalverwerking).

Een andere studie richt zich op de actualisatie van de concentratiegrenswaarden van ZZS in afval (RIVM-rapport 2023-0431).

1.4 Werkwijze

Algemeen

Uitgangspunt van het spreadsheet-overzicht zijn de data in Excel die door RWS zijn aangeleverd vanuit het SGS-intron rapport. Om deze aan te vullen zijn de volgende informatiebronnen geraadpleegd:

- Een literatuursearch voor deze materiaalstromen en afvalstoffen, eventueel gelimiteerd tot review artikelen;
- De Pharos-database (HBN, 2023), om inzicht te krijgen in algemene informatie over samenstellingen van materialen. De Pharos-database bevat gevaarsinformatie waaronder de aanwezigheid van chemische stoffen, van verschillende typen bouwproducten. Het gaat doorgaans om informatie over producten die in de Verenigde Staten op de markt zijn;
- Data die vanuit andere RIVM-projecten beschikbaar zijn over deze afvalstoffen (bijvoorbeeld textiel en zonnepanelen);
- Ketenpartners zijn in eerdere projecten door het RIVM benaderd voor meetgegevens. RWS heeft stakeholders geconsulteerd voor het CMP, om na te gaan of er data of meetgegevens zijn van ZZS van materialen of producten;
- Relevante wetgeving en grenswaarden voor de genoemde stromen en ZZS.

Voor elke keten binnen een gelimiteerde tijd naar aanvullende gegevens gezocht. Bij de resultaten is voor elke keten aangegeven wat de verwachting is over de volledigheid van stoffen. Aanvullingen van stoffen en meetdata in de spreadsheets blijven gewenst.
Voor elke materiaalstroom van een ketenplan in deze studie is een afbakening gebruikt die aansluit bij wat binnen het CMP wordt gehanteerd (zie paragraaf 2.1).

Uitwerking van de spreadsheets met gegevens.

Er is voor elk ketenplan een spreadsheet gemaakt met data en met de referenties. In de spreadsheets zijn de data over de aanwezigheid van ZZS in materialen opgenomen met een verwijzing naar de bron. Het overzicht is gebaseerd op informatie die met gelimiteerde tijd is verkregen op basis van literatuuronderzoek, expert opinies en informatie uit eerdere projecten. Het opnemen in de lijst betekent dat deze stoffen potentieel kunnen voorkomen in deze stroom; het betekent niet dat stoffen altijd voorkomen of altijd in de daar aangegeven concentraties aanwezig zijn.
Zo mogelijk zijn (gemeten) concentraties in een materiaal opgenomen. Bij verschillen in gehalten tussen producten of deelstromen staan er meerdere concentratieregels. Wanneer het gaat om veel gegevens zijn de maximale

waarden van de gegevens opgenomen in de tabel. De volledige gegevens (met ranges) zijn te vinden in de oorspronkelijke bronnen.

Per stof is aangegeven of deze afkomstig uit REACH, POP of een ander stoffenkader. Ook is de concentratiegrenswaarde opgenomen uit de rapportage ‘Actualisatie grenswaarden ZZS voor het CMP’ (RIVM-rapport 2023-0431)(0,1% of voor sommige specifieke stoffen lager). De waarden in deze rapportage zijn gebaseerd op concentratiegrenswaarden voor ZZS in de huidige wet- en regelgeving.
Op basis daarvan is aangegeven of bekend is dat een stof in concentraties hoger dan de concentratiegrenswaarde kan voorkomen. Daarbij is onderscheid gemaakt in *ja, nee, incidenteel* of *mogelijk. Incidenteel* betekent dat:

- de concentratie van de ZZS in een *deelfractie* hoger kan zijn dan de concentratiegrenswaarde.
- *Mogelijk* betekent dat er te weinig meetgegevens beschikbaar zijn en niet kan worden uitgesloten dat de stof kan voorkomen boven de concentratiegrenswaarde. Indien van toepassing wordt een toelichting gegeven in de Excel (kolom Q).

Daarnaast is kritisch gekeken naar de stoffen die in de aangeleverde SGS lijst staan om na te gaan of deze mogelijk boven de concentratiegrenswaarde kunnen voorkomen. Dat is zo mogelijk gedaan op basis van metingen, en indien niet beschikbaar op basis van expert judgement. Bij het ontbreken van aanvullende informatie, blijft de stof opgenomen in de Excel-lijst.

2 Uitwerking

2.1 Afbakening van de materiaalstromen in ketenplannen

In overleg met RWS zijn we tot de volgende afbakening van de ketens gekomen. Deze sluit zo veel mogelijk aan op de afbakening binnen de ketenplannen. Er is daarbij zowel gekeken naar de samenstelling van afvalstromen uit de relevante keten als naar materialen die momenteel worden toegepast en in de toekomst aan het einde van de levensduur weer kunnen vrijkomen.

Beton

De toepassing van beton is een lang-cyclisch product. De samenstelling van beton is over de jaren veranderd. Waar dit oorspronkelijk van cement, grind en zand is gemaakt, worden nu ook andere grondstoffen gebruikt. Beton is onderdeel van sectorplan 29. Bij het zoeken naar gegevens is uitgegaan van data over:

- De samenstelling en kwaliteit van het beton(granulaat) dat nu vrijkomt;
- De samenstelling/kwaliteit van het beton zoals dat nu wordt toegepast. Daarin zijn ook vaak reststromen (bijproducten) toegepast, zoals EC-bodemassen en AVI-bodemassen). We zijn nagaan wat de belangrijkste stromen zijn en wat de samenstelling daarvan is. Ook geopolymeer beton is meegenomen.

Textiel

Textiel heeft een korte tot middellange cyclus, waardoor de verschillen tussen samenstelling van afval en van nieuwe producten beperkt is. De keten textiel sluit naadloos aan op de afvalstoffen onder sectorplan 5. De volgende materiaalstomen (incl. afvalstoffen) worden meegenomen:

- Textiel afgegeven door huishoudens (inclusief schoenen; alles wat in de textielbak mag);
- Textiel afgegeven door bedrijven met een plicht tot gescheiden houden (met grotere hoeveelheden), waaronder:
    - Bedlinnen, handdoeken etc. (horeca en hotels);
    - Afgedankte bedrijfskleding;
    - Afgedankte stoffering (gordijnen etc.).

Het gaat hierbij niet om: rolgordijnen met PVC, tapijt, meubels, textiel afkomstig van matrassen.

Kunstgras

Dit gaat om de restromen die vrijkomen bij het verwijderen van kunstgrasvelden. Het is één van de monostromen van sectorplan 84. Of er verschillen in de samenstelling zijn tussen (ca 20 jaar) oud en nieuw kunstgras is niet bekend. Het gaat om de volgende onderdelen:

- Kunststofmat;
- Rubber-infill (rubbergranulaat);
- Kunststof plakstroken (tussen matten).

Zonnepanelen

Zonnepanelen kunnen als lang cyclisch worden gezien met een levensduur van gemiddeld 25 jaar. Ze kunnen wel eerder voor hergebruik of als afval worden aangeboden. Dit is een materiaalstroom die nu onderdeel is van afgedankte elektronische en elektrische apparatuur (sectorplan 71), maar het wordt dus een

apart ketenplan. Het gaat om de volgende onderdelen van het hele paneel: frame, glas, backsheet en zonnecellen.
Randapparatuur, zoals kabels en omvormers zijn niet meegenomen. Dit is gedaan omdat ze sterk lijken op de andere elektronische apparatuur.

Hout
Hout heeft een middellange tot lange levenscyclus. Hout kent veel kwaliteiten en toepassingen, waardoor de herkomst van afvalhout divers is. Deze materiaalstroom(incl. afvalstof) sluit aan op sectorplan 36. Daar wordt onderscheid gemaakt in drie hoofdstromen op basis van de behandeling die het als product al dan niet heeft ondergaan:

- A-hout (ingezameld): onbehandeld en ongeverfd hout;
- B-hout (ingezameld), geverfd gelakt en/of verlijmd hout, niet zijnde A- of C-hout;
- C-hout (ingezameld): geïmpregneerd hout, zijnde behandeld hout waar stoffen al dan niet onder druk zijn ingebracht om de gebruiksduur te verlengen, zoals:
    a. Gewolmaniseerd hout (koper- en chroomhoudend (CC)-hout en koper, chroom en arseenhoudend (CCA)-hout);
    b. Overig met chemische middelen verduurzaamd hout:
        - Gecreosoteerd hout;
        - Hout verduurzaamt met andere middelen (boorhoudende verbindingen, quaternaire ammoniumverbindingen, fungiciden, insecticiden).

Daarnaast gaat het om hout dat onderdeel is van sectorplan 41, Afval van houten verpakkingen, zoals bijvoorbeeld pallets. We kijken niet naar hout uit de primaire productie en naar snoeihout (sectorplan 8).

Papier en Karton
Dit gaat om door bedrijven en consumenten gescheiden ingezameld papier (kort en middellange cyclus). Dit gaat om de materiaalstroom (incl. afvalstof) beschreven in sectorplan 4. Het gaat *niet* om papier dat uit de nascheiding van restafval vrijkomt (de gescheiden papierfractie uit sectorplan 2).

2.2 Toelichting op de velden in de tabel

Er is per keten een spreadsheet-tabel gemaakt. Per regel is een stof opgenomen. Stoffen kunnen meerdere keren voorkomen wanneer er concentratieniveaus bekend zijn voor meerdere onderdelen of materialen. Tabel 2.1 geeft een toelichting op de inhoud van de kolommen.

Tabel 2.1 Inhoud van de kolommen in de spreadsheets per keten

Kolom	Toelichting
• Sectorplan: • Titel sectorplan: • Sectorplan-subdeel:	• Nummer van het sectorplan in LAP3, waardoor een link met het SGS rapport (Inventarisatie van ZZS in afvalstoffen) kan worden gelegd. • titel van het sectorplan in LAP3 • in een aantal gevallen is het ketenplan een deelstroom van een bestaand sectorplan
• Stofnaam:	• stofnaam van de ZZS; een stof kan meerdere keren worden genoemd voor verschillende deelstromen

Kolom	Toelichting
• CAS nummer:	• unieke nummer, waarmee een stof bv ook opgezocht kan worden in op de risico's van stoffen site (https://rvs.rivm.nl/)
• ZZS: CLP: • ZZS: REACH • ZZS: KRW: • ZZS: OSPAR • ZZS: POP • Andere redenen	• stoffen in de CLP- verordening (EG), Bijlage VI (CLP Verordening (EG) 1272/2008 (link) geclassificeerd als C, M, of R categorie 1A of 1B • stoffen op de kandidaatslijst voor REACH Bijlage XIV (link), de Substances of Very High Concern (SVHC) en stoffen vanuit REACH bijlage XVII (link) die voldoen aan de ZZS criteria • prioritair gevaarlijke stoffen in de Kaderrichtlijn Water 2000/60/EG (link) • stoffen op de OSPAR lijst (link) voor prioritaire actie • gelijkwaardige zorgstoffen in de POP Verordening (EU) 2019/1021 (link) • Stoffen kunnen nog om andere dan de hierboven genoemde redenen zijn opgenomen in de ZZS-lijst. Het gaat dan onder andere om stoffen die onder de Nederlandse emissierichtlijn lucht (NeR) waren aangemerkt als minimalisatieverplichte stoffen (MVP) of ERS (extreem risicovolle stoffen). De (overige) reden voor opname is in de ZZS-lijst terug te vinden (zie voetnoten bij de tabel).
• Concentratiegrens (%) voor ZZS • SGS Relevant • SGS Mogelijk relevant • RIVM onderbouwing	• concentratiegrenswaarde zoals opgenomen in de rapportage 'Actualisatie grenswaarden ZZS voor het CMP' (RIVM, 2023). • stoffen zijn volgens de SGS-rapportage 'naar alle waarschijnlijkheid boven de genoemde concentratiegrenswaarde in partijen aanwezig'. • de stof is in de SGS rapportage genoemd als "mogelijk relevant in specifieke partijen". • hier is aangegeven of de classificatie in de vorige twee kolommen bevestigd kan worden met gegevens met zo nodig een toelichting
• Gehalten in product • Overschrijding concentratie-grenswaarde	• de verwachtte (maximale) concentraties in product of afvalstroom of onderdeel daarvan • We maken hier onderscheid in Ja, Nee, Incidenteel en Mogelijk. Ja betekent dat de stof kán voorkomen boven de

Kolom	Toelichting
	concentratiegrenswaarde. Nee betekent dat dit op basis van de gegevens niet wordt verwacht. Incidenteel betekent dat een deelfractie soms hoger kan zijn. Mogelijk betekent dat te weinig meetgegevens beschikbaar zijn en niet kan worden uitgesloten dat de stof kan voorkomen boven de concentratiegrenswaarde.
• Toelichting gehalte	• Voor welke deelstroom de concentratie geldt, en eventueel gevolgde berekeningswijze
• Herkomst/Functie van de stof:	• Verwachte herkomst van de stof , inclusief de toelichting uit het SGS-rapport bijlage b. Dit kan gaan om het gebruik van een bepaalde grondstof (productie) of om het ontstaan tijdens verwerking (recycling).
• Referentie:	• de nummers van de referenties zijn opgenomen. Voor elke keten zijn de referenties in een apart tabblad opgenomen met alle referenties. De SGS rapportage is één van de bronnen (voor de SVHC stoffen die daarin zijn genoemd).

3 Resultaten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt per ketenplan een korte toelichting gegeven op de werkwijze en beschikbaarheid van gegevens. Verder wordt in deze toelichting ingegaan op de keten en op de herkomst van de resultaten. Ook wordt kort ingegaan op de resultaten in de spreadsheets. Voor de productketens wordt op hoofdlijnen toegelicht welke blootstellingsroutes voor mens en milieu van belang zijn bij toepassing van de materialen (als nieuwe toepassingen bekend zijn). Voor de ene keten is een meer uitgebreide toelichting gegeven dan van andere ketens.

Bij de resultaten wordt ook de mate van data-beschikbaarheid aangegeven en een verwachting over de volledigheid van het overzicht van de stoffen. Binnen het beschikbare tijdsbestek was het niet mogelijk om compleet te kunnen zijn. Bovendien is het zo dat er over het algemeen weinig meetgegevens beschikbaar zijn over ZZS in afvalstoffen. In de toekomst zullen er mogelijk meer gegevens beschikbaar komen.

3.2 Beton

3.2.1 Werkwijze

Voor beton is gezocht naar data over aanwezigheid van ZZS in betonproducten en -afval en ZZS in de secundaire grondstoffen die gebruikt kunnen worden voor toepassing in nieuw beton. Er is gekeken naar de volgende secundaire grondstoffen:

- Dakgrind;
- AVI-bodemas;
- AVI- en E-vliegas;
- Hoogoven- en staalslakken.

Om na te gaan wat het gehalte is van een ZZS in het eindproduct beton is het nodig om te weten hoeveel secundaire grondstof er in beton verwerkt kan worden. Uit de gevonden informatie zijn typisch maximale gehalten van de secundaire grondstoffen in beton geselecteerd. Aan de hand van deze gehalten is van de aanwezige ZZS het gehalte in het eindproduct (beton) berekend.

Daarnaast is er onderzoek gedaan naar het gebruik van betontoevoegingen zoals waterreduceerders, ook wel plastificeerders genoemd en toevoegingen voor zelfhelend beton zoals superabsorberende polymeren (SAP) en de daarin mogelijk aanwezige ZZS.

3.2.2 Resultaten beton: keten

3.2.2.1 Samenstelling Beton

Beton bestaat uit cement en toeslagmaterialen zoals zand, grind en water.

Er zijn verschillende soorten cement waarvan portlandcement wel de meest bekende is. Cement bestaat uit klinker wat ontstaat wanneer kalk en klei tot circa 1450 graden Celsius worden verhit. Portlandcement bevat naast 90% klinker ongeveer 5% gips en andere bijproducten zoals o.a. hoogovenslakken.

Naast portlandcement bestaan er nog andere cementsoorten. NEN-EN 197-1 onderscheidt 5 soorten cement waaronder naast portlandcement,

hoogovencement (CEM III) en portland-mengsel cement (CEM II). Deze laatste kan tot 30% poederkoolvliegas ook wel E-vliegas (vliegas uit kolengestookte elektriciteitscentrales) bevatten. Hoogovencement kan tot wel 90% uit hoogovenslakken bestaan (JoostdeVree, 2023a).

In cement wordt doorgaans poederkoolvliegas gebruikt wat ontstaat bij de verbranding van steenkool in bijvoorbeeld elektriciteitscentrales. Voor zover bekend worden AVI-vliegassen niet in cement toegepast. De enige nuttige toepassing van AVI-vliegas (Afvalverbrandingsinstallatie) is in mortels voor het opvullen van mijnen en zoutkoepels (LAP3 sectorplan 21). Als worst-case benadering is de samenstelling van AVI-vliegas opgenomen in het overzicht met de kanttekening dat het alleen voor deze specifieke toepassing relevant is. Bij deze toepassing is het van belang om op te merken dat het product bij deze toepassing niet meer (binnen afzienbare tijd) in de productketen komt. Volgens het LAP3 sectorplan 20 worden AVI-bodemassen (elders ook AEC genoemd) o.a. gerecycled in betonproducten als toeslagmateriaal. Veelal gaat het om het granulaat uit AVI-bodemassen dat overblijft nadat bepaalde reinigingsstappen zijn doorlopen.

Om het gehalte aan ZZS in beton als eindproduct in te schatten is informatie verzameld over de gehalten aan ZZS in bestanddelen die als toeslagmateriaal worden toegepast in beton (ter vervanging van cement, zand of grind). Het meest relevant voor beton zijn:

- de E-vliegassen,
- AVI-bodemassen (als toeslagmateriaal),
- Hoogovenslakken en
- Grind.

Vliegas. De gegevens over de gehalten aan ZZS in vliegassen betreffen assen afkomstig van het verbranden van hout en kolen voor de opwekking van elektriciteit (E-vliegassen). De gehalten aan ZZS in AVI-vliegassen zijn alleen relevant voor toepassing in mijnen en zoutkoepels en zullen bij recycling van beton op termijn niet circulair worden ingezet

Het artikel van Guo en Zhang (2020) bevat informatie over aandeel vliegas in cement. Beton bevat een hoeveelheid vliegas dat overeenkomt met 25 vol% van de zandfractie en cement bevat circa 45% vliegas. In een andere studie is onderzoek gedaan naar de toepassing van AVI-vliegas voor de productie van beton. Hierbij is 10 tot 40 procent van het cement vervangen nadat het AVI-vliegas eerst thermisch is behandeld (Ashraf et al., 2019). Zoals hierboven al aangegeven kan portland-mengsel cement (CEM II) tot 30% poederkoolvliegas bevatten. Bij de beoordeling van de overschrijding van de grenswaarde is er van 35% vliegas in het cement uitgegaan voor zowel de toepassing in mijnen en zoutkoepels als voor reguliere toepassingen (CEM II).

Slakken (LD-staal en hoogoven). Volgens Son et al (2014) en Zhang et al (2022) is het aandeel fijngemalen (staal) slakken in cement 15-20% (max). Hoogovencement bevat doorgaans circa 65% aan (gemalen) hoogovenslakken (JoostdeVree, 2023a).

AVI-bodemassen kunnen als granulaat in beton worden toegepast ter vervanging van zand en grind in hoeveelheden variërend van 21 tot 44% (m/m). Een percentage van 30 massaprocent lijkt haalbaar (CUR, 2012). Bij de beoordeling van de overschrijding van de grenswaarde is er van 30% uitgegaan.

De hierboven weergegeven gehalten zijn, behalve die voor bodemassen, de gehalten van secundaire grondstoffen in cement. Aan de hand van de mengverhoudingen voor cement in beton en mortel (voegspecie) zoals weergegeven in Tabel 3.1 is het maximale aandeel vliegas en slakken in beton en specie berekend.

Tabel 3.1. Mengverhoudingen van cement, zand, grind en water voor beton en (voeg)specie (mortel).

Bestanddeel	Mengverhoudingen 1-2-3 beton	Mengverhouding 1:3 specie (mortel)
Cement	325 kg	100 kg
Zand	650 kg	300 kg
Grind	1300 kg	-
Water	160	50 kg

Ervan uitgaande dat vliegascement 35% vliegas bevat en dat het aandeel LD-staalslakken in cement 20% is en dat hoogovencement doorgaans 65% hoogovenslakken bevat, is het maximale aandeel voor respectievelijk vliegas in specie (mortel) 8%, voor LD-slakken 4% en voor hoogovenslakken 14%. Voor beton ligt, door toevoeging van grind, het aandeel lager respectievelijk 5%, 3% en 9%. Voor AVI-bodemas wordt er aangenomen dat dit alleen in beton wordt toegepast met aan aandeel van 30%. Verder kan aan de hand van bovenstaande tabel worden aangenomen dat afhankelijk van het type beton, beton maximaal ongeveer 55 massaprocent grind bevat.

Tabel 3.2 Aandeel verschillende grondstoffen in specie en beton.

Grondstof	Aandeel in cement	Metsel specie (mortel)	Aandeel in beton
Vliegas	35%	8%	5%
LD-staalslakken	20%	4%	3%
Hoogovenslakken	65%	14%	9%
Bodemas	-	-	30%

Voor de bepaling van overschrijding van de grenswaarde voor ZZS is uitgegaan van zowel het gehalte in de betreffende grondstof (kolom P) als het gehalte in het eindproduct. Het overzicht in Excel bevat daarom een extra kolom met het gehalte in het eindproduct (kolom R). Zo zal in sommige gevallen de ZZS alleen de concentratiegrenswaarde overschrijden in de grondstof (kolom Q) maar niet in beton als eindproduct (kolom S). Er is uitgegaan van metselspecie omdat dit geen grind bevat en (daardoor) het hoogste aandeel bindmiddel (cement) bevat. Dit is gedaan om wat betreft de overschrijding van de concentratiegrenswaarde aan de veilige (hoge) kant te zitten, er zijn namelijk verschillende typen beton waarbij het cementgehalte verschilt. Hogesterkebeton bevat bijvoorbeeld een relatief hoog gehalte aan cement.

3.2.3 Resultaten: ZZS in grondstoffen voor beton.

3.2.3.1 Samenstelling dakgrind

Beton bevat doorgaans grind als toeslagmateriaal. Het SGS rapport geeft aan dat PAK's aanwezig kunnen zijn in grind dat is gebruikt ter verzwaring van dakbedekking. Gerecycled dakgrind (vooral de fijnere fractie) kan sectorplan 29 onder andere worden ingezet voor de productie van beton (ter vervanging van zand en grind). Dakgrind, dat ook wel ballastgrind wordt genoemd, wordt gebruikt voor het verzwaren van de bekleding van platte daken. LAP3 maakt onderscheid tussen dakgrind en ballastgrind voor spoorwegen. Hier gaat het

specifiek om dakgrind. Omdat gerecycled dakgrind gebruikt kan worden voor de productie van beton, is onderzocht in welke mate PAK's aanwezig zouden kunnen zijn en of het plausibel is dat de betreffende grenswaarden worden overschreden. Er is een inschatting gemaakt door te kijken naar de gehalten naar PAK's in dakbedekkingsmateriaal en de toegepaste hoeveelheid grind in beton.

De conclusie van de hieronder uitgewerkte analyse is dat vanwege de minimum standaard voor verkleefd dakgrind (reinigen) en het lage gehalte aan PAK's in bitumen de aanwezigheid van PAK's in beton door het recyling van dakgrind als niet relevant wordt ingeschat.

LAP3 maakt onderscheid tussen met teer en bitumen verkleefd dakgrind (sectorplan 33) en niet met teer en bitumen verkleeft dakgrind (sectorplan 29). De minimumstandaard voor verkleef dakgrind is reiniging waarna het weer kan worden gerecycled. Voor niet met teer en bitumen verkleefd dakgrind wordt onderscheid gemaakt tussen PAK-arm materiaal (PAK-10 < 50 mg/kg) en PAK-rijk materiaal. PAK-arm materiaal kan worden gerecycled en (vooral de fijnere fractie) kan onder andere worden ingezet voor de productie van beton (ter vervanging van zand en grind). PAK-rijk materiaal dient eerst thermisch of extractief te worden gereinigd. Ook voor met teer en bitumen verkleefd dakgrind geldt dat er onderscheid wordt gemaakt tussen PAK-rijk en PAK-arm dakafval. De grens hiervoor ligt bij 75 mg/kg (0,0075%).
Voor de bedekking van platte daken kan teer of bitumen als basismateriaal dienen. In steenkoolteer kan het PAK-gehalte oplopen tot ruim 250.000 mg per kg (25%) en in bitumen varieert het PAK-gehalte van circa 3,6 tot 7,1 mg per kg. Op basis hiervan is de aanwezigheid van PAK in ballastgrind het meest relevant voor teerhoudend dakbedekkingsmateriaal. De toepassing van teerhoudend materiaal is in 1983 gestopt (RWS, 2023).

De hoeveelheid toegepast dakgrind is ongeveer 0,4 m^3 per 10 m^2. 1 m^3 grind weegt ongeveer 1600 kg (Zandcompleet, 2023). Bitumendakbanen variëren in gewicht van 1,5 tot 6,0 kg/m^2 (NBD, 2023). 1m^2 dakbedekking bestaat dus uit 64 kg grind en maximaal 6 kg bitumen. Daarmee komt het totale gewicht van de dakbedekking op 70 kg per m^2. Dat komt overeen het maximum van de opgegeven waarden als advies waarden voor constructieberekeningen (Dakadvies, 2023). Stel dat het dakbedekkingsmateriaal volledig uit teer bestaat (het materiaal bestaat uit geïmpregneerd doek zoals vilt) met een gehalte van 25% aan PAK's. Dan is per 64 kg grind circa 1,5 kg PAK's aanwezig. Stel dat al het teer achterblijft op het grind dan bevat het grind 2,3% PAK's. In werkelijkheid zal een beperkt deel van het teer uit dakleer achterblijven op het grind. Voor de som van PAK's is er geen concentratiegrenswaarde vastgesteld. Ter indicatie wordt er daarom hier uitgegaan van de generieke grenswaarde van 0,1%. Het LAP3 hanteert echter een strengere grenswaarde zoals hierboven aangegeven voor bepaling van de minimumstandaard. Om boven de grenswaarde van 0,1% uit te komen zal meer dan 4% van al het aanwezige dakbedekkingsmateriaal op het grind achter moeten blijven. Dat lijkt niet realistisch. De inschatting is dat grind dat als ballast is toegepast op platte daken van voor 1983 wel PAK's zal bevatten maar doorgaans waarschijnlijk niet meer dan 0,1%, maar incidenteel mogelijk wel bij sterk met teer verkleefd dakgrind. Vanwege het lage gehalte aan PAK's in bitumen wordt de aanwezigheid van PAK's in ballastgrind toegepast op daken van na 1983 als niet relevant ingeschat. Toepassing van PAK-rijk (gehalte PAK >75 mg/kg) dakgrind verkleefd met teer of bitumen niet is toegestaan, ook niet in combinatie met immobilisatie.

3.2.3.2 Mineralen en chemische compositie, hoofdcomponenten

De hoofdcomponenten in bestanddelen van beton zijn *siliciumoxide* variërende van 20 tot 60%, *calciumoxide* variërend van enkele procenten in vliegas tot boven de 60% in portland cement. Daarnaast zijn er *magnesiumoxide* en *ijzeroxide* en *aluminiumoxide* aanwezig in de orde van enkele procenten. Vliegas bevat een hoger gehalte aan aluminiumtrioxide, doorgaans tussen de 10 en 25%. Een deel van het siliciumdioxide is aanwezig in de vorm van cristoballiet (CASnr. 14464-46-1) en kwarts (CASnr. 14808-60-7) welke geïdentificeerd zijn als ZZS. Het gaat daarbij om kristallijn silica. In het eindproduct beton kan dat zijn in de vorm van zand (fijn aggregaat). In de vorm van stof kan kristallijn silica worden ingeademd. In welke fractie kristallijn silica aanwezig is als respirabel stof is niet verder onderzocht. Het ligt wel in de verwachting dat dit meer is dan 0,1% van de droge bestanddelen van beton. In beton zelf is het silicium gebonden en komt het niet vrij. Dat gebeurd wel bij boor- en sloopwerkzaamheden en tijdens het overbrengen en transporteren van het sloopafval.
Behalve de twee hierboven genoemde verbindingen van siliciumdioxide bevinden zich er onder de hoofdcomponenten geen ZZS.

3.2.3.3 Gehalte zware metalen

De gehalten aan zware metalen in de secundaire grondstoffen voor beton, die in de openbare (wetenschappelijke) literatuur zijn gevonden, zijn verwerkt in het overzichtstabel in Excel. Uit deze verzamelde gegevens zijn de metalen die als ZZS zijn geïdentificeerd gefilterd. Indien er voor een bestanddeel meerdere gehalten zijn gevonden dan is het maximum gebruikt voor toetsing aan de grenswaarde. Voor de te hanteren grenswaarde wordt doorgaans geen onderscheid gemaakt tussen het zuivere metaal of verbindingen daarvan zoals oxides. Omdat het metaal in de assen en slakken meestal in de vorm van het oxide aanwezig is en om aan de veilige kant te blijven(worst-case benadering) bij het vaststellen overschrijding van de grenswaarde voor een ZZS is er uitgegaan van het oxide. Het gehalte op basis van het oxide geeft namelijk een hogere waarde. De gevonden gehalten zijn meestal gegeven als het gehalte van het metaal. Deze gehalten zijn daarom veelal nog omgerekend naar die van het oxide.

3.2.3.4 Gehalte microverontreinigingen (dioxines, PCB en PFAS)

Beton waarin vliegas en bodemas van verbrandingsinstallaties is verwerkt kunnen organische microverontreinigingen bevatten. Deze kunnen reeds in het afval aanwezig zijn en niet volledig zijn verbrand, of ze kunnen tijdens het verbrandingsproces worden gevormd zoals PAK’s en dioxines. De informatie over gehalten aan microverontreinigingen in vliegas, bodemas is in bijlage A weergegeven. De gegevens voor vliegas en bodemas voor PAK's, PCB's en dioxines zijn hoofdzakelijk gebaseerd op de BREF voor afvalverbranding (Neuwahl et al., 2019). De gegevens uit de BREF bevatten geen data van Nederlandse installaties. De gegevens voor de verbranding van chemisch afval zijn niet meegenomen. De gegevens uit de BREF zijn aangevuld met gemeten gehalten van andere stoffen die zijn gerapporteerd in de volgende publicaties Viau et al. (1984), Bakker et al. (2021) en Korenkova et al. (2006). Een overzicht van de gemeten waarden uit deze publicaties staat in bijlage A.
Uit de gegevens van de BREF (Neuwahl et al., 2019) blijkt dat voor één site de CGW voor dioxines wordt overschreden. Voor deze site wordt een zeer brede range gegeven. Het zou dus mogelijk om een uitschieter kunnen gaan. Het maximale gemeten dioxine-gehalte is dan 2500 ng/kg. Dit meewegende en de uitschieter buiten beschouwing latend, kan worden geconcludeerd dat de

gehalten aan dioxines en andere organische microverontreinigingen in vliegas en bodemas de ZZS-concentratiegrenswaarden niet overschrijden.

3.2.3.5 Conclusie ZZS in grondstoffen voor beton

Vliegassen van kolengestookte elektriciteitscentrales worden toegepast voor de productie van beton. Vliegassen van afvalverbrandingsinstallaties worden alleen in mortels voor het dichten van mijnen gebruikt. Bodemassen worden in beton toegepast, echter pas nadat de assen zijn gereinigd. De voor de toetsing gebruikte gehalten hebben betrekking op niet gereinigde bodemassen. Uit de in bijlage A gepresenteerde gegevens voor de verschillende organische ZZS kan worden opgemaakt dat de concentratiegrenswaarde in vliegas, bodemas die ontstaan bij de verbranding van niet-gevaarlijk afval, niet worden overschreden. Voor groepen van ZZS zijn er niet altijd concentratiegrenswaarden bekend. In het geval dat de concentratie bekend is als de som van de stoffen die deel uitmaken van een groep zoals bijvoorbeeld voor chloorfenolen en chloorbenzenen en PAK's dan kan deze niet worden getoetst aan een grenswaarde.

Voor de aanwezigheid van anorganische verbindingen (mineralen en metalen) blijkt uit de verzamelde gegevens dat lood boven de CGW voorkomt in vliegas en bodemas. Voor lood geldt dat alleen voor het gebruik van AVI-vliegassen maar niet voor de vliegassen van elektriciteitscentrales (kolen en biomassa) bij toepassing in gewone mortels. Voor vanadium liggen de gehalten in staalslakken en hoogovenslakken boven de CGW. Het gehalte aan kwarts in betonproducten ligt met een waarde van 33% (ruim) boven de CWG van 0,1%. Naast dat cement en beton kwarts bevatten door het gebruik van zand in de mortel bevatten toegepaste vliegassen eveneens hoge gehalten aan siliciumdioxide . *Het gevonden (maximale) gehalte in vliegassen is dusdanig dat de CWG in het eindproduct wordt overschreden.*

3.2.4 Resultaten: ZZS in betontoevoegingen

Om de eigenschappen van beton aan te passen kunnen bepaalde chemicaliën worden toegevoegd. Het gaat bijvoorbeeld om middelen die de benodigde hoeveelheid water reduceren of stoffen die zorgen voor zelfhelende eigenschappen. Er is een korte inventarisatie gemaakt van bekende betontoevoegingen en nagegaan of deze ZZS zijn. Vaak zijn deze toevoegingen zelf geen ZZS maar kunnen ze wel ZZS als residu of verontreiniging bevatten. Het gaat dan om stoffen als melamine, acrylamide en formaldehyde.

Gebleken is dat de bovengenoemde ZZS in betonadditieven als residu aanwezig kunnen. De gehalten van deze ZZS in beton liggen naar verwachting beneden de algemene concentratiegrenswaarde van 0,1%. In de onderstaande paragrafen staat de nadere toelichting op de informatie en berekeningen de gebruikt zijn om tot deze conclusie te komen.

3.2.4.1 Superplastificeerders (waterreducers)

Om de benodigde hoeveelheid water voor de productie van beton verminderen worden als hulpstoffen zogenaamde waterreducerende stoffen toegevoegd. Deze categorie van stoffen staat ook wel bekend als weekmakers of superplastificeerders. Door het gebruik van deze stoffen wordt het betonmengsel plastisch en neemt de druksterkte toe. Het gebruik van deze stoffen vertraagt eveneens de uithardtijd van het beton. Bepaalde type plastificeerders, zogenaamde SAPs worden verder ook toegepast in zelfhelend beton.

Het gehalte plastificeerders in beton

Volgens de Wiki "Superplasticizer" worden deze additieven toegevoegd in een hoeveelheid van enkele gewichtsprocenten (Dye et al, 2022).
Typische doseringen liggen tussen de 0.3 - 0.5% op basis van het cement gewicht (VanderBilt Minerals, 2013). Volgens Igarashi et al. (2003) is het gehalte superplastificeerder in het bindmiddel (cement) 5% gewichtsprocent.

Wanneer wordt uitgegaan van een gehalte aan bindmiddel (cement) in beton van circa 15%, dan is het gehalte aan superplasticifeerder: 5% *0,15 = 0,75%.
Bij een bindmiddelgehalte van circa 22% in specie is het gehalte superplastificeerder: 5% * 0,22 = 1%.
In zelfhelend beton worden superabsorberende polymeren (SAP) op basis van acrylzuur toegepast. Het gehalte SAP in zelfhelend beton is ongeveer 1%.

Het gehalte aan ZZS in verschillende typen plastificeerders
Stoffen die worden toegepast als superplastificeerder zijn o.a.:
(1) condensaten van gesulfoneerd naftaleen formaldehyde, gesulfoneerd melamine formaldehyde en aceton formaldehyde en
(2) synthetische polycarboxylate (ether) polymeren.

Bovengenoemde verbindingen zijn zelf geen ZZS maar kunnen wel beperkte hoeveelheden ZZS bevatten zoals (vrij) formaldehyde en melamine.

Superplastificeerders op basis van melamine en formaldehyde, zoals gecrosslinkte melamine- or naftaleensulfonaat, melaminesulfonaat (PMS) en naftaleensulfonaat (PNS) bevatten doorgaans minder dan 0,1% formaldehyde. Dit blijkt uit de MSDS-en van drie superplasticizers van BASF waarin wordt aangegeven dat het product geen SVHCs bevat boven de 0,1%. Volgens het informatieblad van Alpha chemicals (2017) bevat SMFC 0,3% formaldehyde. Bij een gehalte van 0,3% formaldehyde is het totale gehalte in het eindproduct beton of specie ruim beneden de grenswaarde van 0,1% (0,3% x 5% x 22% = 0,003%).

Wat betreft melamine blijkt dat er minder dan 4% (vrij) melamine aanwezig in de weekmaker. Een gehalte van maximaal 5% weekmaker in cement en maximaal 4% vrij melamine in de weekmaker, geeft een aandeel van 0,2% vrij melamine in het bindmiddel cement (Scheepers et al. 1995). Dit is een zeer hoge schatting waarbij nog geen rekening is gehouden met het aandeel cement in beton en specie. Wordt daarvoor nog gecorrigeerd dan is het aandeel vrij melamine maximaal 0,04%. Aan de hand hiervan wordt ingeschat dat het niet waarschijnlijk is dat melamine voorkomt in gehalten boven de 0,1% in beton en cement. Weekmakers op basis van formaldehyde en melamine bevatten dus naar verwachting zo weinig vrij formaldehyde en melamine dat de grenswaarde van 0,1% niet wordt overschreden voor zowel beton en cement.

In zelfhelend of waterdichtend beton, dat vooral wordt toegepast bij de bouw van tunnels, aquaducten of betonnen constructies die in contact staan met water kunnen superabsorberende polymeren (SAP) op basis van acrylzuur worden toegepast. Verder worden acrylaatharsen gebruikt als plastificeerder en hardingsmiddel. In de SAP's en acrylaatharsen kan nog een residu van niet-gereageerde monomeren (acrylzuur) en crosslinkers zoals acrylamide aanwezig zijn. Acrylzuur zelf is geen ZZS. Het gehalte aan acrylamide is gebaseerd op gegevens van een vergelijkbare stof, N,N'-methyleendiacrylamide.

Het veiligheidsinformatieblad voor een acrylaat plasticizer (Resiplast, 2018) laat zien dat het gehalte van de cross-linker N,N'-methyleendiacrylamide in SAP

kleiner of gelijk is dan 4%. Uitgaande van het hierboven genoemde gehalte van 1% SAP in beton komt het totaal gehalte van de crosslinker op 0,04%. Als worst-case kan het gehalte van 0,04% ook voor acrylamide worden aangehouden.

Acrylzuur en N,N'-methyleendiacrylamide zijn beide geen ZZS en dus niet opgenomen in het overzicht in Excel.

Tabel 3.3 Gehalte van verschillende ZZS in beton afkomstig uit toegevoegde waterreduceers (plastificieerder).

Stof	CASnr.	Gehalte	Herkomst
Melamine	108-78-1	0,04%	PMS/PNS reduceerder
Formaldehyde	50-00-0	0,003%	PMS/PNS reduceerder
Acrylamide	79-06-1	0,04%	Polycarboxylaat reduceerder

3.2.4.2 Conclusie betontoevoegingen

Melamine, acrylamide en formaldehyde zijn ZZS. De stoffen kunnen in beton aanwezig zijn vanwege een bepaalde type additief (waterreduceerder) die kan worden toegevoegd aan beton. Deze ZZS zijn in deze beton additieven als residu aanwezig. De berekende gehalten van deze ZZS in beton liggen beneden de algemene concentratiegrenswaarde van 0,1%.

3.2.5 Resultaten: ZZS in betonproducten.

Informatie over de chemische samenstelling van beton en betonproducten is afkomstig uit de Pharos-database en gegevens gerapporteerd in RIVM (2007). Uit de gegevens van de Pharos-database blijkt dat de ZZS chroom(VI) en kwarts in betonproducten aanwezig zijn. Het gehalte chroom(VI) ligt beneden de generieke concentratiegrenswaarde van 0,1%. Het gehalte aan kwarts van meer dan 30% ligt ruim boven de grenswaarde. Verder liggen de gehalten aan (individuele) PAK's, PCB's en vluchtige organische verbindingen niet boven de concentratiegrenswaarde, zie bijlage A.

3.2.6 Algemene conclusies ZZS in beton

Voor een aantal grondstoffen die worden gebruikt voor de productie van cement en beton zijn de gehalten aan hoofdbestanddelen en de gehalten aan metalen en organische microverontreinigingen verzameld. Uit deze lijst van stoffen zijn de ZZS geselecteerd en is nagegaan in hoeverre de van toepassing zijnde CGW wordt overschreden. Dat is gedaan voor zowel de gehalten in de grondstof als de gehalten in het eindproduct (cement/beton) waarbij er voor het gehalte is uitgegaan van de hoogste gevonden waarde.
Uit de verzamelde gegevens blijkt dat lood boven de CGW voorkomt in de grondstoffen vliegas en bodemas. Voor vanadium liggen de gehalten in staalslakken en hoogovenslakken boven de CGW. Wanneer er wordt uitgegaan van het eindproduct dan blijkt alleen voor lood het gehalte boven de CGW ligt. Beton bevat verder een hoog gehalte aan de ZZS kwarts. Met een gehalte van in de orde van enkele tientallen procenten is dat ruim boven de algemene CGW van 0,1%.
De overige onderzochte ZZS komen op basis van de verzamelde gegevens niet voor in gehalten boven de van toepassing zijnde concentratiegrenswaarde.
Uit de gegevens over de gehalten aan organische ZZS kan worden opgemaakt dat de concentratiegrenswaarde in betongranulaat, betonmortel en betonproducten niet worden overschreden.

3.2.7 *Blootstellingsroutes*

ZZS kunnen via uitloging vanuit betonproducten in het milieu terecht komen. Verder kan er bij sloopwerkzaamheden, boren en frezen stof vrijkomen waaraan werknemers worden blootgesteld via inademing. Dat geldt in zijn algemeenheid voor in beton aanwezige ZZS maar in het bijzonder voor kwarts en cristobaliet omdat deze in hoge gehalten in beton aanwezig zijn in een doorgaans gebonden vorm zand en grind maar door boren en breken hieruit kunnen worden gegenereerd.

3.2.8 *Volledigheid*

De meest gebruikelijk afvalstoffen die als grondstoffen voor beton worden gebuikt zijn in het onderzoek meegenomen. Gegevens over de samenstelling van portlandcement (klinker) en kant en klaar mengsels voor cement en beton (mortel) en gegevens over betonproducten en betongranulaat zijn eveneens in het onderzoek meegenomen (Pharos-database en RIVM, 2007). De gegevens omvatten zowel gehalten van aanwezige metalen (oxides) en breed pallet aan organische verontreinigingen. Daarmee is een vrij compleet beeld verkregen van de mogelijk in beton aanwezige ZZS en de mate van overschrijding van de geldende grenswaarden. In beton met toeslagmateriaal mag het natuurlijke grove toeslagmateriaal (grind) worden vervangen door gerecyclede materialen zoals betongranulaat, metselwerkgranulaat en menggranulaat (NEN 8005). Er zijn wel gegevens over de samenstelling van betongranulaat meegenomen in de onderhavige inventarisatie en verwerkt in het overzicht in Excel maar niet voor menggranulaat en metselwerkgranulaat. Metselwerkgranulaat kan PAK's bevatten uit roet, bijvoorbeeld bij de afbraak van schoorstenen. Er zijn wel gegevens voor deze twee materiaalstromen (RIVM, 2007) waaruit blijkt dat de CGW voor de aanwezige ZZS niet wordt overschreden. Aangaande de hulpstoffen is er alleen gekeken naar waterreduceerders en de voornaamste toevoeging voor zelfhelend beton (verhoging van weerstand tegen waterindringing). Er worden echter nog andere hulpstoffen gebruikt in beton en mortel zoals waterretentiemiddelen, luchtbelvormers en verhardingversnellers (Stubeco, 2024 en Betonlexicon, 2024). Er is geen uitvoerig onderzoek gedaan naar al deze verschillende typen hulpstoffen die in beton worden toegepast.

3.2.9 *Referenties*

- JoostdeVree (2023a). URL: https://www.joostdevree.nl/shtmls/cement.shtml.
- JoostdeVree (2023b). URL: https://www.joostdevree.nl/shtmls/geopolymeer.shtml
- Zandcompleet (2023). URL: https://www.zandcompleet.nl/zandblogs/dakgrind-ballast-grind-voor-op-het-dak/. Geraadpleegd op 07-11-2023.
- NBD (2023). URL: https://www.nbd-online.nl/product/188360-basiskennis-bouwkunde-bitumen-dakbedekking. Geraadpleegd op 07-11-2023.
- Dakadvies (2023). URL:https://www.damdakadvies.nl/dakadvies/calculatie. Geraadpleegd op 07-11-2023.
- RWS (2023). Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit. Beschikbaar via URL: https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/dakbedekking-dakleer-bit112885/eigenschappen-dakbedekking112886. Geraadpleegd op 08-11-2023

- CUR (2012). CUR-rapport 234 ' AEC-granulaat als toeslagmateriaal voor beton - Achtergrondrapport bij CUR-Aanbeveling 116', Stichting CURNET, Gouda, 2012."
- Neuwahl F. Cusano G. Gómez Benavides J. Holbrook S. and Roudier S. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control. ISBN 978-92-76-12993-6.
- Viau A.C. Studak S.M. amd Karasek F.W. (1984). Comparative analysis of hazardous compounds on fly-ash from municipal waste incineration by gas chromatography/mass spectrometry. Canadian Journal of Chemistry. Volume 62, Issue 11, 2140-2145. Doi: https://doi.org/10.1139/v84-366
- Bakker J. Bokkers, B and Broekman M. (2021). Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, RIVM report 2021-0143. Doi: https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0143
- Korenková E. Matisová E. and Slobodník J. (2006). Application of large volume injection GC–MS to analysis of organic compounds in the extracts and leachates of municipal solid waste incineration fly ash. Waste Management, Volume 26, Issue 9, Pages 1005–1016. Doi:10.1016/j.wasman.2005.10.003
- Roman concrete (2023. URL: https://www.instructables.com/Roman-Geopolymer-Concrete-Recipe/
- Rehman et al. (2020). Formulation and characterization of geopolymer and conventional lightweight green concrete by incorporating synthetic lightweight aggregate. Journal of Building Engineering 31 (2020) 101363
- Guo and Zhang (2020) Utilization of municipal solid waste incineration fly ash to produce autoclaved and modified wall blocks. Journal of Cleaner Production 252 (2020) 119759.
- Ashraf M.S. Ghouleh Z. and Shao X. (2019). Production of eco-cement exclusively from municipal solid waste incineration residues. Resources, Conservation and Recycling. Volume 149, October 2019, Pages 332-342.
- Gerry Bye, Paul Livesey, Leslie Struble (2011). "Admixtures and Special Cements". Portland cement, Third edition. doi:10.1680/pc.36116.185 (inactive 31 December 2022). ISBN 978-0-7277-3611-6.
- Igarashi S. Watanabe A. en Kawamura M. (2003). Microstructure and the Development of Strenght in ROC Cured at Various Temperatures. In proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement. Available at URL: https://iccc-online.org/fileadmin/gruppen/iccc/proceedings/ICCC11_2003.pdf
- AlphaChemicals (2017). Safety data sheet of Sulphonated Melamine Formaldehyde. Version N. 4.1.8.8.
- Scheepers M.L. Meier R.J. Markwort L. Gelan J.M. Vanderzande D.J. Kip B.J. (1995). Determination of free melamine content in melamine-formaldehyde resins by Raman spectroscopy. Vibrational Spectroscopy, Volume 9, Issue 2, July 1995, Pages 139-146. Doi: https://doi.org/10.1016/0924-2031(94)00091-T
- Resiplast (2018). VEILIGHEIDS INFORMATIE BLAD van:SPETEC SEAL AG200. Datum herziening: vrijdag 8 juni 2018.
- Vanderbilt Minerals (2013). Technical datasheets DARVAN™ Superplasticizers for Concrete. DARVAN™ Superplasticizer Products and Literature are available at: http://www.vanderbiltminerals.com
- RIVM (2007). Monitoring Kwaliteit Bouwstoffen 2006. Een vergelijking met de monitoringdata 2003/2004 en 2005, eindrapportage. RIVM rapport nummer: 711701062/2007

- Stubeco (2024). Beknopte betontechnolgie. URL: https://www.stubeco.nl/9-beknopte-betontechnologie.html. Geraadpleegd op 20-02-2024.
- Betonlexicon (2024). Hulpstoffen (admixtures). URL: https://www.betonlexicon.nl/h/hulpstoffen. Geraadpleegd op 20-02-2024.

3.3 Kunstgras

3.3.1 Werkwijze

Voor kunstgras is gezocht naar informatie over gehalten aan chemische stoffen in rubbergranulaat dat gebruikt wordt als infill-materiaal voor sportvelden en kunstgras zelf. Aanvullend is gekeken naar gehalten van additieven in het rubbermateriaal van autobanden waaruit rubbergranulaat wordt geproduceerd omdat deze stoffen vaak geen onderdeel uitmaken van de set van stoffen die doorgaans worden gemeten. Als infill-materiaal kan ook speciaal daarvoor geproduceerde korrels van kunststoffen worden gebruikt zoals EPDM en TPE (thermoplastisch polymeer). Over de samenstelling van deze materialen is veel minder bekend. Het onderzoek heeft zicht gericht op de samenstelling van rubbergranulaat. De geraadpleegd bronnen zijn weergegeven in Tabel 3.5. Bij infill-materiaal kan onderscheid worden gemaakt naar vers materiaal en gebruikt materiaal dat al enige tijd op de velden aanwezig is. Door uitloging en vervluchtiging bevat het oudere gebruikte infill-materiaal minder chemische stoffen dan 'vers' uit afgedankte autobanden gemaakte rubbergranulaat. Voor het rubber van autobanden geldt in principe hetzelfde. Door o.a. verwering zal het rubber van gebruikte autobanden lagere gehalten aan chemische verbindingen bevatten dan het nieuwe rubber (rubber compound) dat voor de productie van (auto)banden wordt gebruikt. Verder is er informatie verzameld over de aanwezigheid van chemicaliën in het kunstgras zelf. Van de gevonden concentraties zijn de hoogste waarden genomen. Dat geldt voor de waarden van verschillende monsters en materialen die in een publicatie zijn gerapporteerd maar ook in het geval dat er meerdere waarden zijn gevonden voor dezelfde stof in verschillende studies. Uit deze totale set van stoffen zijn de stoffen die geïdentificeerd zijn als ZZS geselecteerd en in de overzichtstabel in Excel opgenomen De informatie is afkomstig uit openbare rapporten, zoals die van het RIVM en wetenschappelijk literatuur, zie Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Overzicht van de geraadpleegde literatuur en informatiebronnen.

Type informatie	Afvalstroom/product	Referentie
Gehalte pigment	Kunstgrasvezel	Gill (2008)
Gehalte UV-stabilisatoren	Kunstgrasvezel	Oldenkotte (2022); SpecialChem (2023); Chempoint (2023)
Gemeten samenstelling	Kunstgras	Plesser en Lund (2004)
Recepturen rubber voor banden	Rubber banden	Rancourt and Leyden (2006);Unice et al. (2015)
Gemeten samenstelling	Rubberganulaat	RIVM (2017); Bocca et al. (2009): Verschoor et al. (2018); Llompart et al. (2013); Schneider et al. (2020a/b). Brandsma et al. (2019)

3.3.2 Resultaten kunstgras: keten

De gevonden concentraties aan ZZS in rubbergranulaat en kunstgrasvezels staan in het Excel-overzicht. Er is vooral gezocht naar informatie over ZZS in rubbergranulaat. Daarnaast is er informatie gevonden over stoffen in de kunstgrasvezel. Er is niet specifiek gezocht naar ZZS in andere materialen die bij de aanleg van kunstgrasvelden worden gebruikt zoals het instrooizand en het zand onder de kunstgrasmat (onderbouw), de fundering (lavasteengranulaat), plakstrippen (om de kunstgrasstroken aan elkaar te plakken), de achterkant (backing) van de kunstgrasmat en de dempende laag (foam of elastische laag

ook wel e-layer genoemd) direct onder de grasmat. In de geraadpleegde bronnen is hierover verder ook geen informatie gevonden.
Uit de verzamelde informatie over gehalten aan chemische stoffen zijn een zevental ZZS naar voren gekomen die boven de concentratiegrenswaarde aanwezig zijn, zie Tabel 3.5. Voor het rubbergranulaat gaat het om twee PAK's namelijk benzo[a]pyreen en fenantreen en verder lood en een drietal aardolie-extracten ofwel basisoliën. In de kunstgrasvezel is mogelijk loodchromaat aanwezig. Deze stof werd in het verleden mogelijk als pigment aan de vezel toegevoegd. Het gehalte loodchromaat kunstgrasvezels ligt in de orde van 2 – 11% (Gill, 2008). Eind jaren 90 werd er echter overgeschakeld op alternatieven. Vanaf rond 2003 wordt dit pigment vrijwel niet meer toegepast in kunstgrasvezels en tapijt. Met een verwachte levensduur van 10-15 jaar is het niet te verwachten dat deze stof nog in verwijderde kunstgrasmatten aanwezig is, tenzij de gebruikte kunstgrasvezels voor de productie van nieuwe grasmatten is gebruikt. Dat lijkt niet het geval te zijn, teruggewonnen vezels worden (tot nu toe) voornamelijk gebruikt van andere toepassingen (Cuperus, 2019).
Doorgaans wordt de kunstgrasmat opgewerkt tot RTA-recyclaat (recycled turf agglomerate) dat niet bruikbaar is voor nieuw kunstgras. Dit materiaal krijgt een andere (laagwaardige) bestemming zoals plaatmateriaal en paaltjes (Bergsma et al., 2020 en van den Brand, 2023).

Tabel 3.5 Gehalten aan ZZS in rubbergranulaat en kunstgrasvezel.

Stofnaam	CAS nummer	Concentratie-grens (%) voor ZZS	Gehalten in product [%]	Product
Loodchromaat	7758-97-6	0,1	6	Kunstgrasvezel
benzo[a]pyreen	50-32-8	0,01	0,035	Rubbergranulaat
lood	7439-92-1	0,03[a]	0,031	Rubbergranulaat
fenantreen	85-01-8	0,1	0,121	Rubbergranulaat
Aardolie extract, zwaar paraffine-houdend[b]	64742-04-7	0,1	3,3	Rubbergranulaat
Basisolie – niet gespecifieerd[c]	64742-52-5	0,1	16	Rubbergranulaat
Basisolie – niet gespecifieerd[c]	64742-53-6	0,1	16	Rubbergranulaat

a) Dit is de concentratiegrenswaarde voor loodpoeder met een diameter < 1 mm. Lood is een ZZS waarvoor de algemene concentratiegrenswaarde van 0.1% van toepassing is.
b)_De meeste aardolie- en steenkool derivaten zijn niet als ZZS opgenomen in bijlage 12a van de Activiteitenregeling milieubeheer. Als er meer dan 0,1 % ZZS componenten aanwezig zijn, moet het product (de stof) als ZZS worden beschouwd.
c) De stof hoeft volgens CLP niet als kankerverwekkend te worden ingedeeld als kan worden aangetoond dat zij minder dan 3 % Dmso-extract bevat, gemeten volgens IP 346. De stof kan dan echter toch een ZZS zijn. Andere componenten erin kunnen bijvoorbeeld schadelijk zijn voor de voortplanting of PBT (Persistent, Bioaccumulerend én Toxisch) zijn. Om te concluderen dat de stof geen ZZS is moet duidelijk zijn dat het geen van deze componenten bevat.

In Tabel 3.5 staan drie aardolieproducten genoemd. Het gaat om zo procesoliën waarvoor de gehalten betrekking hebben op vers materiaal, d.w.z. nieuwe autobanden. Voor deze categorie van stoffen gelden er beperkingen voor het

gebruik bij de productie van banden (REACH bijlage XVII vermelding 50). Zoals eerder aangegeven zal het gehalte in oude afgedankte autobanden lager liggen. Dat geldt vooral voor het materiaal aan de buitenkant van de band en in mindere mate voor het dieper gelegen materiaal. In welke mate dat het geval is, is moeilijk aan te geven. Dat komt vooral omdat deze drie stoffen zogenaamde UVCB's (Unknown or Variable composition, Complex reaction products, and Biological materials) zijn met een wisselende en deels onbekende samenstelling en als zodanig lastig zijn te meten. De samenstelling van deze oliën is daarnaast essentieel om vast te stellen of de stof ZZS is of niet. De aanwezigheid van PAK's in rubbergranulaat heeft vooral te maken met het gebruik van deze oliën en kan bepalend (maar niet uitsluitend) zijn voor het aanmerken van deze stoffen als ZZS.

3.3.3 Blootstellingsroutes

Voor infill materiaal en kunstgras is met name de uitloging en mogelijke verspreiding van korrels naar bodem en grondwater een belangrijke route. Daarnaast kunnen mensen contact hebben met de materialen bij het sporten. Hierover is door het RIVM uitgebreid gerapporteerd, zie onder meer Verschoor et al. (2018) en RIVM (2017).

3.3.4 Volledigheid

Er is veel onderzoek gedaan aan de samenstelling van rubbergranulaat waardoor er goed beeld wordt verkregen. Veelal worden dezelfde stoffen gemeten. In enkele studies wordt breder gekeken door bijvoorbeeld ook in beeld te brengen welke hulpstoffen worden toegevoegd aan rubber dat wordt gebruikt voor de product van banden en ook deze stoffen te gaan meten. In aanvulling op de meetgegevens is in dit onderzoek ook beeld gebracht welke hulpstoffen worden toegepast bij de productie van rubber voor banden. Hieruit zijn bijvoorbeeld de basisoliën naar voren gekomen, die als extenderolie (weekmaker) in rubber worden toegepast. De in het rubber gemeten PAK's zijn aanwezig in deze olie. Daarnaast zijn deze oliën dus zelf ook ZZS. Door zowel meetgegevens als informatie over de rubbersamenstelling mee te nemen kan de informatie over aanwezigheid van ZZS in rubbergranulaat kan als (vrij) volledig worden beschouwd. Als infill-materiaal kan ook speciaal daarvoor geproduceerde korrels van kunststoffen worden gebruikt zoals EPDM en TPE (thermoplastisch polymeer). Over de samenstelling van deze materialen is veel minder bekend. Het onderzoek heeft zicht gericht op de samenstelling van rubbergranulaat.
Wat betreft de samenstelling van kunstgrasvezels is er gebruik gemaakt van de resultaten van slechts één studie aangevuld met informatie over het gebruik van loodchromaat als pigment en de toepassing van verschillende UV-stabilisatoren. De UV-stabilisatoren die doorgaans worden gebruik in kunstgras zijn niet geïdentificeerd als ZZS. Vergeleken met rubbergranulaat is er veel minder onderzoek gedaan naar de samenstelling van de kunstgrasmat en grasvezels. De informatie over de samenstelling van kunstgrasvezels kan daardoor niet als volledig worden beschouwd.
Verder zijn andere materialen zoals instrooizand en de dempende onderlaag, die vrijkomen bij de ontmanteling van kunstgrasvelden in dit onderzoek niet meegenomen.

3.3.5 Referenties

- Oldenkotte G. (2022) Synthetic turf quality explained. Available at URL:https://sportsfields.info/synthetic-turf-quality-explained/ 5/. Visited: 04-08-2023
- SpecialChem (2023). LOWILITE® 19 UV stabilizer Technical Datasheet | Supplied by SI Group. Available at URL: https://polymer-

additives.specialchem.com/product/a-si-group-lowilite-19-uv-stabilizer. Consulted on: 18-8-2023
- Chempoint (2023) SI Group UV Stabilizers. URL: https://www.chempoint.com/products/si-group/si-group-uv-stabilizers. Consulted on: 18-08-2023.
- Gill D. (2008) Environmental Intelligence - The Truth About Lead in Synthetic Turf. Available at Google's cache memory off URL: https://ezinearticles.com/?Environmental-Intelligence---The-Truth-About-Lead-in-Synthetic-Turf&id=1281521. Consulted on: 04-08-2023.
- Plesser T.S.W. and Lund O.J. (2004). Potential health and environmental effects linked to artificial turf. Norwegian Building Research Institute (NBI). Project no./archive no.O-10820 URL:https://www.knvb.nl/downloads/bestand/7065/noorwegen-2004--potential-health-and-environmental-effects-linked-to-artificial-turf-systems
- RIVM (2017) Achtergrondinformatie bij onderzoek rubbergranulaat op sportvelden en mogelijke gezondheidseffecten –Literatuuronderzoek. URL: https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Achtergrondinformatie%20bij%20onderzoek%20rubbergranulaat%20op%20sportvelden%20en%20mogelijke%20gezondheidseffecten%2020%20dec_erratum%20maart.pdf
- Bocca, B., et al. (2009). "Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas." Science of The Total Environment 407, p. 2183-2190.
- Verschoor A.J. Bodar C.W.M. Baumann R.A. (2018). Verkenning milieueffecten rubbergranulaat bij kunstgrasvelden, Dit rapport bevat een erratum d.d. 17-07-2018 op de laatste pagina. RIVM Briefrapport 2018-0072. URL: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0072.pdf
- Llompart M. Sanchez-Prado L. Lamas J.P. Garcia-Jares C. Roca E. and Dagnac T. (2013). Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers. Chemosphere, Volume 90, Issue 2, Pages 423-431. Doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.053.
- Schneider K. de Hoogd M. Madsen M.P. Haxairen P. Bierwisch A. Kaiser E. (2020). ERASSTRI - European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill – Part 1: Analysis of infill samples, Science of The Total Environment, Volume 718, 137174. Doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137174.
- Schneider K. de Hoogd M. Madsen M.P. Haxairen P. Bierwisch A. Kaiser E. (2020). ERASSTRI - European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill – Part 2: Migration and monitoring studies. Science of The Total Environment, Volume 718, 137173. Doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137173.
- Rancourt J.D. and Leyden J.J. (2006). Anti-degradants in rubber compounds: where are thet? Paper presented at the International Tire Exhibition & Conference, ITEC 2006, Paper 16B. Available at URL: https://www.rubbernews.com/assets/PDF/RN86279218.pdf
- Unice K.M. Bare J.L. Marisa Kreider L. Panko J.M. (2015). Experimental methodology for assessing the environmental fate of organic chemicals in polymer matrices using column leaching studies and OECD 308 water/sediment systems: Application to tire and road wear particles, Science of The Total Environment, Volume 533,Pages 476-487. Doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.053.
- Brandsma S.H. Brits M. Groenewoud Q.R. van Velzen JM.J.M. Leonards P.E.G. and de Boer J. Chlorinated Paraffins in Car Tires Recycled to Rubber Granulates and Playground Tiles. Environmental Science &

Technology, Volume 53, Issue 13, Pages 7595-7603. Doi: 10.1021/acs.est.9b01835
- Cuperus G. (2019). Verwerking van Kunstgras. Huidige verwerking in een aantal Europese landen en mogelijkheden voor toekomstige verwerking in Nederland. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Van den Brand P (2023). Recycling van kunstgras komt op gang. Geraadpleegd op 15-02-2024 en beschikbaar via URL: https://solidsprocessing.nl/artikel/recycling-van-kunstgras-komt-op-gang/
- Bergsma G. Snijder L. Uijttewaal M. en de Graaff L. (2020). Naar een verduurzaming van kunstgras. Welke voorwaarden in subsidieregelingen SPUK en BOSA. CE Delft, Publicatienummer: 20.190142.117

3.4 Hout

3.4.1 Werkwijze

Voor hout is gezocht naar data over de aanwezigheid van ZZS in afvalhout in wetenschappelijke publicaties, openbare rapporten, publiek toegankelijke gegevensbestanden, websites en risicobeoordelingsrapporten (biociden). Voor de verschillende soorten afvalhout is nagegaan welke chemische stoffen daarin aanwezig kunnen zijn. Dat is gedaan voor geverfd, gelakt en verlijmd hout (B-hout) en geïmpregneerd ofwel verduurzaamd hout (C-hout). Voor verduurzaamd hout is er gekeken naar welke middelen (biociden) zijn toegelaten en is uit de *toelatingsdossiers*[1] informatie gehaald over de concentratie aan werkzame stof in het behandelde hout. Verder is op basis van *literatuuronderzoek* voor de ZZS onder de inmiddels verboden houtverduurzamingsmiddelen nagegaan in welke concentraties deze aanwezig kunnen zijn in het verduurzaamd hout dat in het verleden is gebruikt. Vanwege de lange levensduur kan dit verduurzaamd hout nog steeds in de afvalfase terechtkomen. Onder B-hout vallen veel verschillende soorten afvalhout zoals houten meubelen, keukenkasten en aanrechtbladen maar ook hout dat in de bouw wordt gebruikt, zowel geverfd (kozijnen, deuren, gevelplaten etc.) als verlijmd plaatmateriaal dat in de bouw wordt gebruikt als (triplex, OSB etc.). Meubelen kunnen zijn gemaakt van verlijmd hout met een cosmetische toplaag van kunststof of hout (fineer). Zowel de gebruikte lijmen als de afwerklaag (inclusief de verf) kunnen ZZS bevatten. Voor geverfd, gelakt en verlijmd hout (B-hout) is op verschillende manieren informatie verzameld. Uit *wetenschappelijk literatuur, openbare rapporten en websites* is informatie verzameld over de toegepaste soorten lijmen en de daarin aanwezige ZZS. Verder is gebruik gemaakt van *twee databases* (Pharos-database (HBN, 2023) en Huang et al. 2022) met informatie over gehalten aan chemische stoffen in (houten) producten. Voor geverfd hout is verder nog een *berekeningsmethode* opgesteld om na te gaan wat de hoeveelheid chemicaliën is die via het aanbrengen van verflagen op of in een houten producten terecht komen. Essentieel hiervoor is dat bekend is welke ingrediënten er in verf (kunnen) zitten. Deze informatie kan o.a. worden gevonden in *veiligheidsinformatiebladen*.

3.4.2 De houtketen, soorten afvalhout

3.4.2.1 Soorten afvalhout

Zoals in hoofdstuk 2 aangegeven wordt onderscheid gemaakt in drie soorten afvalhout :

- A-hout: ongeverfd en onbehandeld hout
- B-hout: geverfd, gelakt en/of verlijmd hout, niet zijnde A- of C-hout
- C-hout: geïmpregneerd hout zijnde hout waar stoffen zijn ingebracht om de gebruiksduur te verlengen.

Verwerking van A-, B- en C-hout is als volgt:

- Zowel A- als B-hout kan na bewerking worden toegepast als secundaire grondstof in de houtvezel- en spaanplaatindustrie en als brandstof in onder meer bio-energiecentrales. Het A-hout wordt grotendeels gerecycled (tot spaanplaten).
- B-hout gaat voornamelijk voor verbranding met energieterugwinning.
- Het hoofdgebruik van niet gewolmaniseerd C-hout, is de toepassing als brandstof. Gewolmaniseerd C-hout wordt deels verbrand waarna de resten gestort op een daarvoor geschikte stortplaats. Een klein deel van

[1] Beoordelingsrapporten voor actieve ingrediënten in biociden in het kader van het wel of niet opnemen van de stof in bijlage I van de biocidenverordening

het gewolmaniseerd C-hout wordt niet verbrand maar direct gestort op een geschikte stortplaats.

3.4.2.2 Scheiding van afvalhout en scope van verkenning ZZS

Houtafval kan als monostroom vrijkomen bij sorteren van gemengde stromen of als op locatie van ontstaan al bewust gescheiden gehouden stroom. Zowel gescheiden ingezameld of gescheiden afgegeven houtafval als hout uit scheiden en sorteren valt onder sectorplan 36.

Afvalhout valt onder een van de volgende categorieën van bijlage 11 van de activiteitenregeling milieubeheer:

- Categorie 19: A- en B-hout, niet zijnde houten verpakkingen.
- Categorie 20: houten verpakkingen die voldoen aan de definitie van A- of B-hout.
- Categorie 21: hout dat, teneinde de duurzaamheid te verbeteren, is behandeld met middelen die koper en chroom (CC-hout) of koper, chroom en arseen (CCA-hout) bevatten.

Op basis van de wetgeving en het beleid rond het gescheiden houden moeten afvalstoffen van deze categorieën gescheiden worden gehouden.

In tegenstelling tot LAP3 wordt er dus geen met andere middelen dan Wolmanzouten verduurzaamd hout onderscheiden en is dat dus niet in te delen in één van deze categorieën. In principe valt dit hout onder de categorie 'te storten afvalstoffen' en mag het vanuit de wettelijke bepalingen niet bij het overige hout. Vanwege deze onduidelijkheid is mogelijkheid aanwezig dat dit type hout ondanks dat het volgens het LAP3 anders moet worden verwerkt dan A- en B-hout, hierin wel terecht kan komen[2]. Verder kan het lastig zijn om verduurzaamd hout te onderscheiden omdat het vaak onduidelijk is welke werkzame stoffen zijn toegepast en is de etikettering vaak onvoldoende is (Wezenbeek en Komen, 2023). Vooral timmerhout en plaatmaterialen die bedoeld zijn voor buitentoepassingen kunnen zijn verduurzaamd met daarvoor toegelaten middelen (biociden). Vaak gaat het om kozijnen, gevelbetimmering (rabbatdelen, regels, ribbels, latten) of boeidelen Tijdens de sloop kan het lastig zijn om het verduurzaamd hout te onderscheiden bijvoorbeeld omdat het geverfd is of wellicht niet meer als zodanig kan worden gekenmerkt. Dit type (verduurzaamd) hout lijkt dus strikt genomen niet apart te hoeven worden ingezameld en kan praktisch gezien bij sloopwerkzaamheden wellicht ook niet worden onderscheiden en apart worden gehouden.

Het onderzoek naar ZZS in hout richt zich met name op categorie B-hout en op C-hout, zowel het overige met chemische middelen verduurzaamd hout als gewolmaniseerd hout. Voor gewolmaniseerd hout zijn er gegevens over de gehalten aan arseen, kopen en chroom verzameld en opgenomen in het overzicht in Excel. Categorie A-hout bevat geen toegevoegde chemicaliën omdat het onbehandeld en ongeverfd is en daarom verder niet meegenomen in het onderzoek.

3.4.3 Resultaten categorie B hout

Zoals eerder vermeld gaat het bij categorie B-hout om geverfd en verlijmd hout. Allerlei soorten en vormen van hout worden gebruikt als bouwmateriaal en in de meubelindustrie (inclusief vloeren op basis van hout zoals laminaat). Het kan daarbij gaan om massief houten materialen of voorwerpen (balken, latten, raamkozijnen, vensterbanken, deuren) of om plaatmaterialen die bestaan uit

[2] https://www.kennisnetwerkbiociden.nl/knb-events/knb-webinar-met-biociden-behandeld-hout

verlijmd hout zoals MDF, HDF, spaanplaat, OSB, multiplex en triplex, en daaruit gefabriceerde houten voorwerpen (deuren, meubels etc.). Massief houten materialen of daarvan geproduceerde voorwerpen bevatten geen tot weinig harsen of lijmen. Juist bij de productie van de hierboven genoemde plaatmaterialen worden (aanzienlijke hoeveelheden) harsen en lijmen gebruikt. Informatie over het gehalte aan ZZS in hout is afkomstig uit de Pharos-database en de studie zoals beschreven in het artikel van Huang et al (2022). De Pharos database bevat informatie over de chemische compositie van verschillende bouwmaterialen waaronder producten van hout. De kanttekening die hierbij moet worden gemaakt is dat het om producten gaat die in Verenigde Staten op de markt worden gebracht. Het is onbekend in hoeverre de Europese situatie vergelijkbaar is met die in de Verenigde Staten. In de studie van Huang et al (2022) is het gehalte aan vrij monomeer, zoals formaldehyde afkomstig uit toegepaste lijmen en harsen, in verschillende bouwmaterialen geschat. Dat is gedaan aan de hand van gegevens in de Pharos-database en aanvullende informatie.

3.4.3.1 Verlijmd hout

MDF, HDF, vezelplaat, multiplex, triplex en laminaat worden hoofdzakelijk verlijmd met harsen die gebaseerd zijn op formaldehyde. Het gaat bijvoorbeeld om urea-formaldehyde en melamine-formaldehyde harsen. Ook worden er fenol-formaldehyde en lijmen op basis van polyurethaan toegepast. Polyurethaan lijmen zijn gebaseerd op isocyanaten. Het gaat bijvoorbeeld om difenyldiisocyanaat (MDI) dat wordt gebruikt voor de productie polymere (P-MDI) en emulsie (E-MDI) isocyanaat harsen. Verder zijn er houtlijmen op basis polyvinylacetaat (PVA) vaak met een isocyanaat als crosslinker. Qua markt volume wordt urea-formaldehyde hars het meest gebruikt (Phanopoulos, 2010).

Aan de hand van het onderzoek kan voor zowel formaldehyde als melamine worden geconcludeerd dat het niet is te verwachten dat het gemiddelde gehalte in stromen van afvalhout, die voor een groot deel bestaan uit verlijm hout, boven de grenswaarde van 0,1% uitkomt. Het gevonden maximale gehalte van formaldehyde ligt boven de grens van 0,1%. Voor met urethaanharsen verlijm hout is het eveneens niet te verwachten dat het gehalte aan vrije isocyanaten boven de concentratiegrenswaarde van 0,1% ligt. Een nadere beschrijving van het onderzoek naar verlijmd hout en de geraadpleegde bronnen staat in de hieronder volgende paragrafen.

<u>Formaldehydeharsen</u>

Urea-formaldehyde harsen zijn gevoelig voor hydrolyse ten gevolgde van blootstelling aan vocht in de lucht. Hierdoor wordt het hars gedeeltelijk afgebroken waarbij formaldehyde vrijkomt. Om het vrijkomen van formaldehyde te beperken zijn andere op formaldehyde gebaseerde harsen ontwikkeld die beter bestand zijn tegen hydrolyse. Resorcinol-formaldehyde hars is dusdanig bestand tegen hydrolyse dat het zelf wordt gebruikt in toepassingen waarbij er direct contact is met water.

Tabel 3.6 geeft een overzicht van formaldehyde harsen die worden gebruikt bij de productie van plaatmaterialen.

Tabel 3.6 Bij de productie van plaatmaterialen gebruikte formaldehyde harsen

Type hars	Afkorting
Urea-fromaldehyde	UF
Melamine-urea-formaldehyde	MUF

Melamine-formaldeyde	MF
Melamine-urea-fenol-formaldehyde	MUPF
Fenol-formaldehyde	PF
Fenol-resorcinol-formaldehyde	PRF

Tabel 3.7 geeft een overzicht van de verschillende soorten plaatmaterialen, hun toepassingsgebieden en de type harsen die worden toegepast (Phanopoulos, 2010). Voor de productie van MDF wordt het meest gebruik gemaakt van UF en MUF. Bij de productie van engineered lumber (verlijmd timerhout zoals planken en balken) worden zowel PRF als urethaanharsen gebruikt. In Tabel 3.8 staan de typische hoeveelheden hars die worden toegepast in de verschillende plaatmaterialen.

Tabel 3.7 Typische hoeveelheden hars die worden toegepast in de verschillende plaatmaterialen.

Composite name	Abbreviation	Primary wood particle type	Typical dimensions (mm)	Types of resins employed	Examples of applications
Oriented strand board	OSB	Strands	100 x 40 x 0.4	pMDI, PF	Roof, floor and siding panels. Web stock in I-beams
Medium density fiberboard	MDF	Fibers	Individual wood cells up to a few mm length	MDI, MUF, UF	Window frames, cabinetry, furniture
Particleboard	PB	Chips	10 long	pMDI, UF	Cabinetry, furniture
Plywood	PLY	Veneers	1-3 thick	UF, PF, PRF	Boats, furniture, construction including roofing
Laminated veneer lumber	LVL	Veneers	1-3 thick	PF, PU	Broad span structural element
Glulam	Glulam	Lumber	50 x 100 cross section	PF, PU, PRF	Broad span structural element, vertical supports, bridges
I-beams	IB	Lumber flanges and panel webs		PU, PF	Floor joints
Strand lumber	PSL	Strands	150 x 25 x 3	PF	Broad span structural

Tabel 3.8 Typische hoeveelheden hars die worden toegepast in de verschillende plaatmaterialen volgens Phanopoulos (2010).

Materiaal	MDI-hars	Formaldehyde hars
OSB	1,5 – 8%	6-12% (PF)
MDF	3-7% (eMDI)	(UF en MUF)

Om de blootstelling aan formaldehyde te beperken zijn er voor de Europese Unie emissieklassen opgesteld onderverdeeld in E1 en E2. De Europese normen zijn sinds 2004 tot stand gekomen. Klasse E1 staat voor de strengste norm waarvoor geldt dat het materiaal niet meer dan 8 mg per 100 gram hout mag bevatten. Dat komt overeen met 0,008% formaldehyde. Voor klasse E2 moet het gehalte tussen 8 en 30 mg per 100 gram liggen, maximaal dus 0,03%. In Duitsland, Oostenrijk, Denemarken en Zweden geldt een strengere norm van 6,5 mg/100 gram hout. De European Panel Federatie heeft zijn eigen standaarden: voor MDF is dat 5 mg/100 gram en voor spaanplaat 4 mg/100 gram (EC, 2019).

Uit de gegevens van de Pharos-database blijkt dat er in HDF ongeveer 11 % UF hars aanwezig is met een kleine hoeveelheid formaldehyde. Voor het plaatmateriaal zelf is het formaldehyde gehalte 0,11%. Voor het gehele product een fineer deur is het gehalte 0,04%. Voor MDF is het gehalte vergelijkbaar, uitgaande van hetzelfde gehalte aan formaldehyde in de hars en een harsgehalte van ongeveer 10% komt het formaldehyde gehalte in het MDF board op 0,09%. Deze gehalten zijn dus ruim een factor 10 hoger dan de EU emissieklasse E1 en (ruim) een factor 3 hoger dan de hoogste EU emissieklasse E2 maar liggen rondom de ZZS-CGW van 0,1%.

In het onderzoek dat beschreven is in het artikel van Huang et al (2022) is het gehalte aan stoffen die als residu in een product aanwezig zijn, zoals formaldehyde dat als vrij monomeer afkomstig uit toegepaste lijmen en harsen, in verschillende bouwmaterialen berekend. Dat is gedaan aan de hand van het gehalte van het product (bijvoorbeeld lijm) in het betreffende materiaal of voorwerp en het gehalte van de stof in het toegepaste product. Huang et al. (2022) hebben in hun berekeningen gebruik gemaakt van een ondergrens en een maximale gehalte van de stof in het gebruikt product. In Tabel 3.9 zijn de waarden op basis van het maximale gehalte gegeven. De gehalten hebben betrekking op houten producten zoals houten vloeren (laminaat), multiplex, triplex en overige houten plaatmaterialen toegepast in meubilair. De ZZS formaldehyde en melamine komen uit deze database naar voren. Melamine is eveneens afkomstig van op formaldehyde gebaseerde harsen. Overige ZZS, niet afkomstig uit op formaldehyde gebaseerde harsen die naar voren komen staan verderop vermeld.

Tabel 3.9 Gehalten aan formaldeyde en melamine in houten producten volgens Huang et al. (2022).

	Gehalte in het product content (g/kg= 1000 ppm = 0,1%)					
Stofnaam	**Min**	**Q1**	**Median**	**Q3**	**Max**	**Functie**
Formaldehyde	0,120	0,227	0,261	0,381	1,760	Conserverings middel/monomeer
Melamine	0,227	0,227	0,248	0,319	0,321	monomeer

De gehalten aan formaldehyde uit de Pharos-database liggen duidelijk hoger den de EU normen (E1 en E2). Het gehalten volgens Huang et al. (2022) zijn vergelijkbaar met klasse E2 alleen het maximum ligt duidelijk daarboven. Aan de hand van deze (Pharos en Huang) gegevens kan voor zowel formaldehyde als melamine (Tabel 3.9) worden geconcludeerd dat het niet is te verwachten dat het gemiddelde gehalte in stromen van afvalhout die voor een groot deel bestaan uit verlijmd hout zoals houten meubilair boven de grenswaarde van 0,1% (1000 ppm) uitkomt. Het maximale gehalte van formaldehyde ligt wel boven de grens van 0,1%. Echter de geldende EU normen liggen nog beduidend lager waardoor het nog aannemelijker is dat het niet te verwachten is dat het formaldehyde gehalte in afvalhout boven de 0,1% uitkomt.

Urethaanharsen

Het type urethaanhars dat wordt gebruikt hangt af van het type plaatmateriaal en de technische vereisten. Over het algemeen worden voor de materialen die gebaseerd zijn op kleinere hout deeltjes (MDF, spaanplaat en OSB) gebruik gemaakt van MDI in de polymeer vorm. Vaak is de toegepaste isocyanaat

chemisch gemodificeerd om de benodigde specifieke eigenschappen te verkrijgen.
Vanwege beperkingen die vanuit de REACH-wetgeving worden opgelegd worden er lijmen en harsen op de markt gebracht waarin het gehalte aan vrij isocyanaat monomeer beperkt is tot minder dan 0,1% (Fuller, 2023).

De toegepaste hoeveelheden aan urethaanharsen in OSB en MDF zijn hierboven gegeven. Volgens Phanopoulos (2010) zijn de typische gehalten van MDI-hars in spaanplaat (wafer board panels) tussen 1.5 en 3 procent en in OSB tussen de 2 en 4.4 procent
In de EU risicobeoordelingsrapport voor MDI wordt een positionpaper aangehaald waarin wordt vermeld dat is het niet te verwachten dat er vrij MDI in vezelplaat (spaanplaat, HDF en MDF) aanwezig is (EU, 2005).

Voor met urethaanharsen verlijm hout is het dus niet te verwachten dat het gehalte aan vrije isocyanaten boven de concentratiegrenswaarde van 0,1% ligt. In de ZZS-lijst staan twee isocyanaten: triglycidyl isocyanuraat en 3,3-(ureyleendimethyleen)bis(3,5,5-trimethylcyclohexyl)diisocyanaat. Het is niet onderzocht of en in welke mate deze verbindingen in urethaanharsen voor het verlijmen van hout worden gebruikt.

3.4.3.2 Overige stoffen in producten van hout

Gehalten aan overige ZZS in houten producten staan in Tabel 3.10. Deze ZZS komen uit de studie van Huang et al. (2022) naar voren. Het gaat om gehalte in houten producten zoals triplex, houten vloermateriaal en overige houten plaatmateriaal.

Tabel 3.10 Gehalten overige ZZS in houten producten volgens Huang et al. (2022).

	Gehalte in het product content (g/kg= 1000 ppm = 0,1%)					
Stofnaam	**Min**	**Q1**	**Median**	**Q3**	**Max**	**Functie**
Ethyleenimine (Aziridine)	0,029	0,03	0,031	0,031	0,032	monomeer
1,3-butadieen	0,01	0,01	0,01	0,010	0,010	monomeer
Epichloorhydrine	0,0001	0,0002	0,027	0,056	0,059	monomeer
Bisphenol A	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	monomeer
4-Nonylfenol	0,0002	0,006	0,001	0,017	0,022	monomeer
Benzophenon	0,020	0,054	0,009	0,195	0,302	UV-absorber
Nonylfenol (mengsel van isomeren)	0,058	1,98	3,9	5,83	7,76	Oppervlakte-actieve stof
Perfluorobutane sulfonate (PFBS C-4)	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	Oppervlakte-actieve stof
4-nonylfenol (vertakt)	0,058	1,98	3,9	5,83	7,76	katalysator

Uit het onderzoek van Huang et al. (2022) blijkt dat voor een tweetal stoffen (4-nonylfenol, vertakt en mengsel van nonylfenol isomeren) het gemiddelde gehalte boven de CGW van 0,1% ligt. Voor deze stoffen is het daarom de verwachting dat deze boven de 0,1 % in afgedankt B-hout aanwezig zijn. Daarbij moet wel de kanttekening worden gemaakt dat Huang et al. (2022) ook gebruik hebben gemaakt van de Pharos-database die gebaseerd is op gegevens van producten die in de Verenigde Staten op de markt zijn. De in Tabel 3.10

weergegeven gehalten hebben betrekking op het (gehele) product. Of de in Tabel 3.10 weergegeven stoffen alleen in het hout aanwezig zijn of juist in de afwerklaag (verf, kunststof afwerking/oplagen/fineer) is niet duidelijk. Het lijkt aannemelijk dat de stoffen uit de afwerklaag afkomstig zijn omdat een aantal stoffen gebruikt worden voor de productie van polymeren (kunststoffen) en harsen die als bindmiddel in coatings worden gebruikt (epoxy) en waarvan het niet aannemelijk, althans ons niet bekend, is dat ze worden toegepast in de harsen die worden gebruikt in de lijmen bij de productie van houten plaatmateriaal. Voor de in Tabel 3.10 weergegeven stoffen is het gezien de vermeldde functie aannemelijk dat ze in de kunststoflaag aanwezig zijn als residu van een uitgangsstof (monomeer) waarvan plastic worden gemaakt, plastic additief (UV-absorber) of hulpstof in coatings (oppervlakte-actieve stoffen).

3.4.3.3 Geverfd hout

Conclusie

Voor geverfd hout is schatting gemaakt van wat de concentratie van het verfbestanddeel in de verf moet zijn wil de concentratie in afvalhout boven de concentratiegrenswaarde van 0,1% uitkomen. Als worst-case wordt een ondergrens van 4% aangehouden. Voor drie ZZS-stoffen, kristallijn silica, dibutylftalaat en dioctylftalaat kunnen de gehalten boven de ondergrens voor verf liggen. Een verdere toelichting op de verzamelde informatie en de achterliggende berekeningen staat in de volgende paragrafen

Toelichting

Er zijn verschillende typen verven. Verven kunnen worden ingedeeld aan de hand van het type bindmiddel dat wordt gebruikt, de ondergrond waarop ze worden toegepast of het type oplosmiddel dat wordt gebruikt. Wat betreft het type oplosmiddel kan er onderscheid worden gemaakt tussen oplosmiddel gedragen coatings en water gedragen coatings. Daarnaast zijn er nog coatings die zeer weinig oplosmiddelen bevatten, de zogenaamde high solids. Verf bestaat uit verschillende bestanddelen met elk hun eigen functie. De belangrijkste componenten zijn de oplosmiddelen, bindmiddelen, vulmiddelen, pigmenten (kleurstoffen) en additieven.
Hout kan behandeld worden met dekkende niet transparante en transparante lakken die een laagje op het hout vormen en met beitsen die gedeeltelijk in het hout trekken en vrijwel geen afdekkende laag of film vormen. Voor schilder/buitenverven is het aandeel bindmiddel tussen de 30 en 50 gewichtsprocenten. De hoeveelheid oplosmiddelen ligt tussen de 35 en 45 % en de massafractie pigment kan variëren tussen de 10 en 35%. Weekmakers kunnen enkele procenten (2-5%) van de samenstelling uitmaken en anti-filmvormende middelen tussen de 0,2 en 0,6%. Het gehalte aan droogmiddelen (siccatieven) ligt tussen de 0,3 en 2,5%. Vulmiddelen kunnen eveneens in aanzienlijke hoeveelheden worden toegevoegd variërend van 10 tot 20%. Watergedragen verven bevatten nog conserveringsmiddelen (0,5%). Transparante lakken bevatten doorgaans geen of weinig kleurstoffen en vulmiddelen, ze bestaan grotendeels uit een bindmiddel 55 – 70% en oplosmiddelen 50 – 30% met een hardings- of droogmiddel (1-2%).

Voor de ketenanalyse zijn de oplosmiddelen buiten beschouwing gelaten omdat naar verwachting deze stoffen na het drogen van de verf of na verloop van tijd niet meer aanwezig zijn in de verflaag. Daarnaast zijn de stoffen die worden gebruik om vorming van een film in het blik eveneens niet meegenomen. Deze zijn vluchtig en ook na het drogen niet meer aanwezig in de verflaag. Een

hiervoor veelvuldig toegepaste stof is 2-butanone oxime (methyl-ethylketoxime). Deze stof is wel een ZZS maar om bovengenoemde reden verder buiten beschouwing gelaten. Onder de groep oplosmiddelen bevinden zich ook ZZS zoals paraffine-houdende aardoliedestillaten en enkele alifatische en aromatische koolwaterstoffen. De bindmiddelen kunnen eventueel als verontreiniging/residu nog niet gereageerde monomeren bevatten. De gehalten zijn naar verwachting laag en waarschijnlijk niet relevant. Hier is geen verder onderzoek naar verricht. De bindmiddelen zijn polymeren en daardoor niet relevant. Een inschatting van de relevantie van andere verfbestanddelen zoals pigmenten wordt hieronder gepresenteerd. De belangrijkste componenten die overblijven zijn de pigmenten en vulmiddelen en mogelijk enkele additieven.

Om een inschatting te maken welke verfcomponenten mogelijk relevant zijn (gehalten >0,1% in afvalhout) is een inschatting gemaakt van de massa van de verflaag die op geverfd plaatmateriaal aanwezig kan zijn. De dikte van de verflaag hangt grotendeels af van de levensduur van het hout en de onderhoudscyclus. Uitgaande van een levensduur van 20 jaar kan het aantal verflagen variëren van 2 tot 4 bij een onderhoudscyclus van 9 tot 5 jaar. Het aandeel van de verflaag in de totale massa van het geschilderde hout hangt af van de vorm en de dikte en de soortelijke massa van het hout. Uit de berekeningen blijkt dat de massafractie van 4 lagen dekkende buitenverf op multiplex van 18 mm dik 0,3% is. Dat kan bij triplex van 3 mm dik oplopen tot 2%. Bij de berekeningen is voor het hout uitgegaan van een dichtheid van 700 kg/m^3. De dichtheid van houten plaatmateriaal varieert. Spaanplaat (520-700), OSB (600-730) en MDF (650 – 800) hebben een vergelijkbare of iets lagere dichtheid. Alleen UL-MDF (450-550) heeft een aanzienlijk lagere dichtheid. Aan de hand van bovenstaande aannames blijkt dat bij dun plaatmateriaal (3mm) het gehalte van een verfbestanddeel in de (natte) verf beneden 4% moet liggen om niet boven de 0,1% uit te komen. Voor dikker en dus zwaarder plaatmateriaal zoal multiplex van 18 mm dik ligt dat hoger, 24%. In de praktijk worden verschillende diktes toegepast, daarom zou er als richtwaarde uitgegaan van een gemiddelde grensgehalte in de natte verf van 12%. In dit onderzoek wordt als worst-case de ondergrens van 4% aangehouden.

Gezien de gehalten van de verschillende bestanddelen van verf komen vooral de pigmenten en vulmiddelen in beeld als categorieën van stoffen die boven de algemene concentratiegrenswaarde van 0,1% in afvalhout aanwezig kunnen zijn.

Om in beeld te krijgen welke ZZS aanwezig kunnen zijn in verf dat wordt toegepast op hout is gezocht naar gegevens over de chemische samenstelling. Deze informatie is o.a. gevonden in de Pharos-database (een oplosmiddel en watergedragen primer). In aanvulling hierop is aan de hand van veiligheidsinformatiebladen een inventarisatie gemaakt van 10 coatings van het merk Valspar en 16 verven van het merk Sikkens en twee van het merk Histor. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens in een onderzoek naar de beroepsmatige blootstelling van schilders aan verfbestanddelen uitgevoerd door het IARC (2012). Uit de veiligheidsinformatiebladen van de coatings van Sikkens en Histor blijkt dat, de oplosmiddelen niet in ogenschouw nemend, deze geen ZZS bevatten. Tabel 3.11 bevat de ZZS die via de inventarisatie van verfbestanddelen naar voren zijn gekomen.

Tabel 3.11 ZZS in verf op basis van de inventarisatie van veiligheidsbladen.

Source	Product	Substance	CAS	w/w%	Function
IARC	-	Asbestos	1332-21-4	5-25%	Filler (not in woodpaint)
Valspar	Interior/Exterior Latex Bonding Primer/Sealer	Benzophenone	119-61-9	≤0.3	Catalyst/UV-absorber
Valspar	All-Weather Exterior Latex Primer Sealer	Benzophenone	119-61-9	≤0.3	Catalyst/UV-absorber
Valspar	Waterborne alkyd primer	Carbendazim	10605-21-7	0.37%	Fungicide
Valspar	Barn & Fence Latex Paint Flat Black	Cristobalite, respirable powder	14464-46-1	≤3	Filler/Pigment
Valspar	Valspar 4000 Alkyd Satin	Crystalline Silica, respirable powder	14808-60-7	≤0.3	Filler/Viscosity adjuster/carrier
Valspar	Barn & Fence Latex Paint Flat Black	Crystalline Silica, respirable powder	14808-60-7	≥10 - ≤25	Filler/Viscosity adjuster/carrier
IARC	-	dibutyl phtalate	84-74-2	5	Plasticizer
IARC	-	dioctyl phtalate	117-81-7	max 50%	Plasticizer
Pharos	Soventborne alkyd primer	2-Butanone oxime (MEK)	96-29-7	0.55%	Anti-skinning/ Antioxidant*
Valspar	Valspar 4000 Alkyd Satin	2-Butanone oxime (MEK)	96-29-7	≤0.3	Anti-skinning/ Antioxidant*
Valspar	Valspar 4000 Alkyd Semi-Gloss	2-Butanone oxime (MEK)	96-29-7	≤0.3	Anti-skinning/ Antioxidant*
IARC		2-Butanone oxime (MEK)	96-29-7	0,02 – 0,5	Anti-skinning/ antioxidant*
Pharos	Soventborbe alkyd primer	Quartz	14808-60-7	0.45%	Residual
Pharos	Waterborne alkyd primer	Quartz	14808-60-7	0.93%	Residual
IARC	-	Silica, crystalline (quartz)	14808-60-7	-	Filler, sand-blasting operation

* toegepast in alkydverven. Deze stof verdampt en is niet meer aanwezig in de gedroogde verflaag; MEK = Methyl Ethyl Ketoxime

Asbest wordt niet als vulstof gebruikt voor houtverven en is dus niet relevant voor afvalhout. Dat geldt ook voor 2-butanone oxime (methyl-ethylketoxime), omdat zoals eerder vermeld deze stof uit de aangebrachte verf vervluchtigd en niet meer aanwezig is in de droge verflaag. *Kristallijn silica, dibutylftalaat en dioctylftalaat blijven over als ZZS waarvan de gehalten boven de ondergrens van 4% voor verf liggen.*

In de IARC-lijst worden een aantal pigmenten/kleurstoffen genoemd die gebaseerd zijn op metalen die in de ZZS-lijst staan. De status van deze pigmenten staat vermeld in Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Metalen die worden of werden toegepast in of als pigmenten in coatings volgens IARC (2012).

Material	**Agent evaluated**	**CAS**	**ZZS-status**
Aluminium, powder	–		
Antimony compounds (e.g. antimony trioxide)	Antimony trioxide Antimony trisulfide	1309-64-4 1345-04-6	Geen ZZS Geen ZZS
Barium compounds (e.g. barium sulfate, barium carbonate)	–		-
Cadmium compounds (e.g. cadmium sulfide, cadmium sulfoselenide)	Cadmium and cadmium compounds	7440-43-9	ZZS
Carbon black	Carbon black	1333-86-4	Geen ZZS
Chromium and chromium compounds (e.g. chromic oxide, chromates)	Chromium (III) compounds Chromium (VI) compounds Chromium, metallic	1333-82-0 18540-29-9 -	Geen ZZS ZZS Geen ZZS
Cobalt compounds	Cobalt and cobalt compounds Cobalt, metallic	7440-48-4	ZZS
Copper and copper compounds (e.g. bronze powder, cuprous oxide)	–		Geen ZZS
Dyes and pigments, organic (e.g. aromatic azo dyes, phthalocyanines, rhodamine)	CI Basic Red 9 Magenta production 2-naphthylamine based dyes and 4-aminobiphenyl based dyes Benzidine-based dyes	569-61-9 - - -	ZZS ZZS ZZS ZZS
Iron compounds (e.g. iron oxides, ferric ferrocyanide)	Ferric oxide	1309-37-1	Geen ZZS
Lead compounds (e.g. lead chromate, lead oxides, basic lead carbonate, lead naphthenate)	Lead Lead compounds, inorganic	- -	ZZS ZZS
Molybdenum compounds (e.g. lead molybdate)	See lead, nickel and chromium compounds	-	ZZS
Nickel, metal powder	Nickel compounds Nickel, metallic and alloys	-	ZZS
Strontium compounds (e.g. strontium chromate, strontium sulfide)	Strontium chromate see chromium and chromium compounds (anti corrosion paints	7789-06-2	ZZS
Titanium dioxide	Titanium dioxide	13463-67-7	Geen ZZS

Material	Agent evaluated	CAS	ZZS-status
Zinc and compounds (e.g. zinc metal powder, zinc oxide, zinc chromate)	Zinc chromate see chromium and chromium compounds (anti corrosion paints)	13530-65-9	ZZS

Er is in de veiligheidsinformatiebladen geen informatie gevonden over de gehalten waarin pigmenten aanwezig (kunnen) zijn. Zoals eerder aangegeven zijn de pigmentgehalten vaak in de orde van enkele procenten of meer in het verfproduct aanwezig. Van belang is verder om te weten welke pigmenten daadwerkelijk veelvuldig worden gebruikt in verven. Hierover is weinig informatie gevonden. De informatie is te beperkt om te beoordelen of o.a. de hierboven genoemde pigmenten in coatings (nog) worden toegepast en in welke gehalten. Daarom zijn boven genoemde stoffen niet in de ZZS overzichtstabel voor hout opgenomen.

Kobalt bis(2-ethylhexaanzuur) wordt toegepast of siccatief (droogmiddel) in verf op terpentinebasis met alkydhars als bindmiddel. De stof is ZZS van wege 2-ethylhexaanzuur (CASnr. 149-57-5). Op basis van een aantal veiligheidsinformatiebladen en de website waarzitwatin blijkt dat het gehalte van de kobaltverbinding in verf doorgaans lager is dan 1% en maximaal tot 2% (Akzo; International Paint; Pacific Paint Boysen en Waarzitwatin, 2024) . Het is dus niet aannemelijk dat het gehalte aan 2-ethylhexaanzuur in verf hoger is dan 4% waardoor niet verwacht wordt dat het gehalte in afvalhout hoger is dan 0,1%.

3.4.4 Resultaten met overige chemische middelen verduurzaamd C-hout

De levensduur van hout kan worden verlengd met chemische middelen die aantasting door schimmels en insecten voor een bepaalde tijdsduur voorkomen. De middelen en de hierin aanwezige werkzame stoffen vallen onder de Biociden verordening (Verordening (EU) 528/2012). Er is onderzoek gedaan naar gehalten van toegelaten middelen en gehalten aan oude, inmiddels niet meer toegelaten en verboden middelen in verduurzaamd hout.
Uit het onderzoek is gebleken dat een aantal toegelaten actieve ingrediënten in houtverduurzamingsmiddelen ZZS zijn. De gehalten aan actieve stoffen op basis van boor liggen alleen boven de algemene CGW van 0,1%. Ook creosootolie is een ZZS waarvoor de gehalten in verduurzaamd hout boven de CGW liggen. Voor enkele verboden stoffen is het de verwachting dat deze nog in bepaalde C-houtstromen aanwezig zijn boven de CGW. Het gaat dan met name om pentachloorfenol.
Voor met Wolmanzouten verduurzaamd hout geldt dat de daarin aanwezige gehalten aan chroom en arseen boven de CGW zullen liggen.

3.4.4.1 Toegelaten middelen

Via de website van het ECHA is de lijst van actieve ingrediënten die in houtverduurzamingsmiddelen (PT 8) worden toegepast op gevraagd. Op deze lijst staan stoffen die zijn toegelaten (approved) maar ook stoffen waarvan de toelating is verlopen (expired) en die dus niet meer toegelaten zijn. In totaal gaat het om 46 verschillende stoffen. Van deze stoffen zijn er 10 geïdentificeerd als ZZS waarvan er 6 boorhoudend zijn. In Tabel 3.13 zijn de stoffen aangegeven met de status en de werkzame concentraties.

Tabel 3.13 Toegelaten en verlopen houtverduurzamingsmiddelen die ZZS zijn.

Stofnaam	EC-Lijst nr.	CAS nr.	Einddatum toelating	Toelatings-status	Gehalte (m/m %)
Propiconazool	262-104-4	60207-90-1	31/12/2023	Toegelaten	0,016 – 0,04
Boorzuur	233-139-2	10043-35-3	28/02/2024	Toegelaten	0,4 – 1,7
Booroxide	215-125-8	1303-86-2	31/08/2021	Verlopen	0,22 – 0,45
Creosoot	232-287-5	8001-58-9	31/10/2029	Toegelaten	8 – 80
Cyproconazool	619-020-1	94361-06-5	31/10/2020	Verlopen	0,013 – 0,015
Disodium octaboraat tetrahydraat	234-541-0	12280-03-4	31/08/2021	Verlopen	0,33 – 1,4
Disodium tetraboraat decahydraat	215-540-4	1303-96-4	31/08/2021	Verlopen	0,62 – 2,62
Disodium tetraboraat pentahydraat	215-540-4	12179-04-3	28/02/2024	Toegelaten	0,47 – 2,0
Disodium tetraboraat, watervrij	215-540-4	1330-43-4	31/08/2021	Verlopen	0,33 – 1,38
Thiacloprid	601-147-9	111988-49-9	31/12/2019	Verlopen	0,001 – 0,002

Ondanks dat van een aantal middelen de toelating enkele jaren is verlopen worden ze wel meegenomen in de inventarisatie omdat, gezien de lange levensduur van het behandelde hout, dit hout nog steeds bij het afvalhout kan belanden. Van de betreffende actieve ingrediënten is nagegaan in welke concentratie ze aanwezig kunnen zijn in behandeld hout. Daarbij is gebruik gemaakt van de risicobeoordelingsrapporten (EC, 2007; EC, 2008; EC 2009a,b,c,d; EC, 2010; EC, 2016; EC, 2023). In deze rapporten staat de werkzame concentratie in het hout (retentie) vermeld. Deze concentratie is o.a. het uitgangspunt in de beoordeling van de blootstelling van werknemers de concentratie in het hout gebruikt. Aan de hand van de concentratie en de dichtheid van hout kan het gehalte in het behandelde hout als massapercentage worden berekend. Op basis van deze gegevens is in de overzichtstabel in Excel aangegeven of de betreffende ZZS aanwezig is in gehalten boven of beneden de van toepassing zijnde concentratiegrenswaarde.
Aanvullende informatie over de gehalten van biociden in hout is er gevonden voor propiconazool en creosoot. In de Pharos-database (HHBN, 2023) staan eveneens gegevens voor propiconazool: Kozijn (Wood framing) met een gehalte van 0,04% voor het totale product.

Er bestaan verschillende typen creosootolie zoals type B en C waarvan de specificaties zijn vastgelegd in de Europese standaard EN13991:2003 (maximale gehalten Benzo[a]pyreen en waterextraheerbare fenolen). Creosoot type B en C zijn in verschillende EU-lidstaten tot eind 2024 nog toegestaan als houtverduurzamingsmiddel. Creosoot is verder opgenomen in bijlage XVII van de REACH-verordening (entry 31). Entry 31 zal binnenkort worden aangepast aangaande het tweedehandsgebruik. Sinds 2001 zijn er in Nederland geen toelatingen meer voor creosoot als biocide.
In het EU-risicobeoordelingsrapport van de verschillende actieve ingrediënten worden retentiewaarden vermeld van 40 tot 150 kg/m^3 ter bescherming tegen schimmels. Om te beschermen tegen in zee levende organismen ligt de retentie in de range van 300 tot 400 kg/m^3. Dit resulteert in gehalten variërend van 8 tot

80%. Aanvullende informatie over gehalten in hout is gevonden op de site van de USDA en in Ibach (1999). Aan de hand van deze gegevens blijkt dat het gehalte creosoot, afhankelijk van de toepassing van het hout kan variëren van 16 tot 38%.
Creosoot zelf is een ZZS. In creosoot zijn PAK's aanwezig. Gehalte aan individuele PAKs in creosoot is niet beoordeeld door de samenstelling van creosoot in beeld te brengen. Het is te verwachting dat ook voor een aantal individuele PAK's de CGW wordt overschreden (naftaleen, fenantreen). Het maximale gehalte van B[a]p in creosoot die tegenwoordig wordt gebruik is 50 ppm (0,005%) met een CGW van 0,01% wordt deze niet overschreden. Deze CGW geldt ook voor Dibenz[a,h]anthracene. Voor dibenzo[def,p]chrysene geldt een CGW van 0,001% en voor overige PAK's geldt 1000 ppm (0,1%).

3.4.4.2 Oude verboden stoffen in hout

Gezien de lange levensduur van behandeld hout kunnen er ook nog andere biociden dan de bovenstaande biociden in het afvalhout aanwezig zijn. Hieronder staat een lijst van stoffen waarvan bekend is dat ze zijn gebruikt voor de verduurzaming van hout, Tabel 3.14. Ze zijn echter niet meer toegelaten in de EU maar ze worden nog steeds toegepast in bijvoorbeeld de VS en Canada of zijn in een verder verleden toegepast als houtverduurzamingsmiddel. Twee stoffen zijn ZZS: tributyltinoxide en pentachloorfenol. Daarnaast zijn er nog de bekende en inmiddels verboden CCA- en CC-zouten. Zowel de in deze zouten aanwezige chroomtrioxide als arseentrioxide zijn geïdentificeerd als ZZS. Deze laatste twee middelen worden in paragraaf 3.4.5 apart behandeld.

Tabel 3.14 In het verleden toegepaste houtverduurzamingsmiddelen.

Stoffen	CAS	ZZS-status
CCA-zouten		Ja (chroom(VI) en As_2O_3)
CC-zouten		Ja (chroom(VI) en As_2O_3)
ammoniumbifluoride	7789-29-9	
kaliumbifluoride	1341-49-7	
Azaconazole	60207-31-0	
Triadimefon	43121-43-3	
Deltamethrine	52918-63-5	
Tributyltinfosfaat	13435-05-7	Ja*
Tributyltinoxide	56-35-9	Ja
Kopernaftenaat	1338-02-9	
Zinknaftenaat	84418-50-8 / 12001-85-3	
Cyfluthrin	68359-37-5	
Pentachloorfenol	87-86-5	Ja
MIT	2682-20-4	
CMIT	26172-55-4	
Alkyl dimethyl benzyl ammonium chloride	68391-01-5	
Monoethanolamine	141-43-5	
Lindaan	58-89-9	Ja
DDT	50-29-3	Ja

* Tributyltinverbindingen (CASnr. 36643-28-4)

Pentachloorfenol. In het verleden is pentachloorfenol in Nederland gebruikt als houtverduurzamingsmiddel. Sinds 1 januari 1989 is het gebruik van PCP en Na-PCP als houtconserveringsrmiddel niet meer toegestaan. Vanwege dit verbod waren daarna uitsluitend de emissies ten gevolge van het gebruik in het verleden en de import van PCP-bevattend hout en houtproducten van belang (Slooff et al., 1990). PCP en Na-PCP werden voornamelijk toegepast voor hout gebruikt als gevelbekleding en slechts in beperkte mate voor hout dat met grond en/of water in contact kwam (paaltjes, waterbouw, etc.). Volgens het basisdocument is de geaccumuleerde hoeveelheid PCP in hout in Nederland rond 2020 zo'n 300 ton (Slooff et al., 1990).

In Ibach (1999) worden voor pentachloorfenol de minimale hoeveelheid in zacht hout en voor kritische toepassingen in de bouw gerapporteerd. De gehalten bedragen respectievelijk 1,3% (mm/%) en 1,6 m/m% uitgaande van een dichtheid van 500 kg/m^3 voor hout. Gehalten aan pentachloorfenol van verschillende producten zijn gemeten (Swedish EPA, 2009) en weergegeven in onderstaande tabel. Vermelde retentiewaarden weergegeven in kilogram per kuub hout, zijn omgerekend naar concentraties in hout waarbij is uitgegaan van de bovenstaande dichtheid van 500 kg/m^3.

Op basis van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat het waarschijnlijk is dat de gehalten aan pentachloorfenol boven de 0,1% liggen en dan voornamelijk in hout voor buiten toepassingen. Het is de verwachting dat voor met name toepassing binnenshuis de gehalten lager liggen.

Tabel 3.15 Gehalten pentachloorfenol in behandeld hout (Swedish EPA, 2009).

Product	Retention (kg/m^3)	Concentratie (kg/kg hout)	Concentratie (m/m%)
Retentiewaarde	0,1	0,0002	0,02
Gemeten waarde	2,2	0,0044	0,44
Wandplaat (binnenshuis)		0,00026	0,026
Testpaal bovengronds		0,00066	0,066
Elektriciteitspaal		0,0084	0,84

Tributyltinoxide

Voor tributyltinoxide (TBTO) bevattende houtverduurzamingsmiddelen zijn minimumgehalten gegeven waarbij het middel effectief is. Voor tributyltinoxide is dat 4,8 kg/m^3 (DAFF, 2023) wat ongeveer overeenkomt met 1 m/m%. TBTO is in Nederland gebruikt als houtverduurzamingsmiddel, vooral voor de verduurzaming van bouwhout waarbij er geen grondcontact is, met name kozijnen (Evers et al. 1995). Het gebruik van TBTO als houtverduurzamingsmiddel is afgenomen van ca. 15 a 20 ton tot ca 1 ton in 1995 (DGG, 1997). De laatste toelating voor het houtverduurzamingsmiddel met TBTO is in 1997 komen te vervallen (Ctgb, 2023). *Gezien het lage gebruik van bijna 30 jaar geleden wordt niet verwacht dat TBTO nog boven de CGW in de bulk van het afvalhout aanwezig zal zijn maar wellicht nog in bepaald specifieke C-hout stromen.*

Lindaan

Lindaan (gamma hexachloorcyclohexaan) en polychloorterfenylen (PCT's) zijn in het SGS Intron rapport genoemd als ZZS die in C-hout aangetroffen kunnen worden. PCT's zijn chemisch gezien verwant aan PCB's. Voor PCT's is er in het

SGS Intron hoofrapport geen verdere toelichting gegeven. Voor hexachloorcyclohexaan is aangegeven dat het is gebruikt als houtverduurzamingsmiddel. In twee publicaties waarin is gerapporteerd over de metingen naar het voorkomen van DDT, lindaan en PCB's in afvalhout blijkt dat deze stoffen in een gedeelte van de monsters wordt aangetroffen (Pohlandt et al., 1995 en Abb et al., 2010). In het onderzoek van Abb et al. (2010) zijn verschillende monsters van afvalhout genomen en geanalyseerd. Op een aantal monster na werd lindaan in lage concentraties aangetroffen. PCB's worden indien aanwezig (vier van de 22 monsters) over het algemeen in lage concentraties aangetroffen (< 0,5 (mg/kg). De hoogste PCB-concentratie van 1,2 mg/kg was lager dan de grenswaarde van 50 mg/kg. Lindaan werd aangetroffen in 3 monsters. De hoogste concentratie was 1,5 mg/kg. Dat is beneden de grenswaarde van 50 mg/kg. DDX (som DDT, DDD en DDE) werd frequenter aangetroffen en voor deze stof lagen de concentraties hoger. In twee monsters was de concentratie hoger dan de grenswaarde van 50 mg/kg (70 en 158 mg/kg). In het onderzoek dat beschreven is in Pohlandt et al. (1995) zijn de hoogste concentraties gevonden in raamkozijnen. Voor pentachloorfenol was dat 21 mg/kg (0,0021%) en voor lindaan 163 mg/kg (0,0163%). Bij bovenstaande getallen moet worden opgemerkt dat de resultaten uit het onderzoek van Abb et al. (2010) hebben betrekking op hout dat is gebruikt in Oost Duitsland en in West Duitsland waar bepaalde middelen tot later zijn toegepast en dat de informatie uit Pohlandt et al. (1995) wel enigszins gedateerd is.

Lindaan is in Nederland in het verleden gebruikt als houtverduurzamingsmiddel. Het gebruik van lindaan als houtverduurzamingsmiddel in Nederland in 1984 werd ingeschat op 1,8 ton. In 1984 werd er daarnaast nog 2 ton lindaan gebruikt ter bestrijding van houtworm (Slooff et al. 1988). Uit de Ctgb database blijkt dat Lindaan is gebruikt in Nederland tot 1998 als gewasbeschermingsmiddel. Het gebruik van lindaan is in Nederland niet meer toegelaten sinds 1 oktober 1999 (Ctgb). Het gebruik als houtverduurzamingsmiddel is vermoedelijk al eerder beëindigd. Volgens verordening 850/2004/EC is het gebruik van lindaan als houtverduurzamingsmiddel in de EU sinds 2007 verboden. Lindaan kan op basis van bovenstaande informatie mogelijk nog aanwezig zijn in afvalhout. Indien het wordt aangetroffen zullen de concentraties laag zijn.

DDT

Het gebruik van DDT is in Nederland sinds de jaren '60 beperkt en sinds 1973 verboden. DDT lijkt in Nederland alleen te zijn gebruikt als gewasbeschermingsmiddel (NIP, 2006). De resultaten uit het onderzoek van Abb et al. (2010) hebben betrekking op hout dat is gebruikt in Oost Duitsland en in West Duitsland waar het ook tot later is toegepast. Ook is bekend dat broom brandvertragers in de UK veel meer werden toegepast dan op het vasteland van Europa. Een kritische noot daarover in de inleiding is dus op zijn plaats. De aanwezigheid van DDT in afvalhout wordt daarom als niet relevant ingeschat.

3.4.5 Resultaten met Wolmanzouten verduurzaamd C-hout

Voor de volledigheid zijn de (typische) gehalten van chroomtrioxide en arseentrioxide, die beide ZZS zijn, gegeven voor gewolmaniseerd hout. Hieronder vallen zowel middelen op basis van koper-chroom en arseen (CCA) en middelen op basis van koper en chroomtrioxide (CC), ook wel zuur koperchromaat genoemd en aangeduid met de afkorting ACC.

3.4.5.1 CCA-hout

Gehaltes aan chroomtrioxide en arseentrioxide in CCA-hout variëren voor de verschillende toepassingen van het hout. Er worden drie typen CCA-zouten

bevattende houtverduurzamingsmiddelen onderscheiden, type A, B en C. Deze drie verschillende typen verschillen in de onderlinge verhoudingen van de drie hoofdbestanddelen (Hingston et al. (2001). Aangaande de toepassing wordt er onderscheid gemaakt tussen bovengronds, industriële toepassing waarbij er contact is met de bodem, toepassingen in de bodem in de woningbouw en marine toepassingen (Schultz en Nicholas, 2004). Uitgaande van de opgegeven waarden voor het gehalte chroom en arseen in de verschillende typen CCA-middelen en de retentie van deze middelen in behandeld hout (Schultz en Nicholas, 2004), is voor de verschillende componenten het gehalte uitgedrukt in massa percentages (m/m%) berekend. Daarbij is uitgegaan van een dichtheid van 460 kg/m^3 voor hout en de verschillende retentiewaarde voor de verschillende toepassingen, bovengronds, marien en ondergronds (Schultz en Nicholas, 2004). De berekende gehalten liggen in de range van 0,1 – 2,4 % voor arseentrioxide en voor chroomtrioxide in de range van 0,3 – 3,5%.

3.4.5.2 CC-hout

Volgens het USDA bestaat zuur koperchromaat voor 31,8% uit koperoxide en voor 68,2% uit chroomtrioxide. De minimale retentiewaarde is 4 kg/m^3 en de maximale 8 kg/m^3 voor bovengrondse toepassingen. Het gehalte aan chroomtrioxide ligt daarmee tussen de 0,55 en 1,1%.

3.4.6 Blootstellingsroutes

Relevante blootstellingsroutes voor het milieu zijn het uitlogen van de ZZS naar bodem en grondwater en het direct contact van de mens met (gerecyclede) materialen (gebruik van afvalhout voor het maken van meubels zoals tafels etc.). Bij verwerking van het hout kan de mens in contact komen met vrijkomend stof bij verspanende activiteiten (boren, zagen en schuren) en verder met name bij het verhakselen van ingezameld afvalhout bij de productie van vezelplaat.

3.4.7 Volledigheid

Het overzicht van ZZS in afvalhout is vrij volledig. Er is gekeken naar in het verleden toegepaste houtverduurzamingsmiddelen en middelen die tegenwoordig worden toegepast (C-hout). In het onderzoek voor B-hout zijn gegevens meegenomen over gehalten aan stoffen in houten producten. Daarnaast is een inschatting gemaakt van de gehalten aan verfcomponenten die in of op het hout aanwezig kunnen zijn. Alleen voor pigmenten is er te weinig informatie bekend om in te schatten of deze boven de CGW in afvalhout aanwezig kunnen zijn. Tot slot is er voor verlijmd hout onderzocht in welke mate er ZZS, die als residu in de lijmen aanwezig zijn, in het hout kunnen voorkomen.

3.4.8 Referenties

- HBN, Healthy Building Network (2023). Pharos Building Product Library. Available at URL: https://pharos.healthybuilding.net/ . Consulted during July-August 2023.
- Huang L. Fantke P. Ritscher A. and Jolliet O. (2022). Chemicals of concern in building materials: A high-throughput screening. Journal of Hazardous Materials 424 (2022) 127574.
- IARC (2012). Occupational exposure as a painter. Chemical Agents and Related Occupations. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 100F. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer (IARC). Beschikbaar via URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304433/

- Valspar (2023). Safety Data Sheet. Valspar, Cleveland Ohio (VS). SDS beschikbaar via de volgende URL: https://www.valspar.com/en/products/exterior-paints-primers
- EC (2009a). Assessment report of Boric acid Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/2910125a-a159-e3b5-e211-9e70ac473a3f
- EC (2009b). Assessment report of Boric oxide Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/af2b12bf-2bc6-cca9-8d47-72ceb0e52a77
- EC (2010). Assessment report of Creosote Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/7495832e-e111-c7d3-f444-e9a8a6a48992
- EC (2016). List of endpoints of Cyproconazole Product-type 8. List of endpoints – updated June 2016 following the submission of data after active substance approval. Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/b880ebfb-9298-5ab2-df04-2d40742ac714
- EC (2009c). Assessment report of Didsodium octaborate tetrahydrate Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/6c0f13fa-c048-c23b-319c-40ccde6bdfa4
- EC (2009d). Assessment report of Didsodium tetraborate Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/3c6489f0-f28d-112c-79c8-18930aafc7f7
- EC (2008). Assessment report of Thiacloprid Product-type 8 (Wood preservative). Directive 98/8/EC concerning the placing of biocidal products on the market. Inclusion of active substances in Annex I or IA to Directive 98/8/EC. URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/6706a779-3949-07b7-f802-d71de670fb01
- SUBSTANCE EVALUATION CONCLUSION as required by REACH Article 48 and
- EVALUATION REPORT for Formaldehyde. Available at URL: https://echa.europa.eu/documents/10162/cc0acabf-6e82-f2ed-5dbe-8058f48ce6c4
- Swedish EPA (2009). The role of pentachlorophenol treated wood for emissions of dioxins into the environment. Swedish Environment Protection Agency. Report 5935, January 2009.
- Schultz T.P. en Nicholas D.D. (2004). Solid Wood Processing, Protection of Wood against Biodeterioration. Elsevier. Doi: https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00048-X
- Abb M. Breuer J.V. Zietz C. and Lorenz W. (2010). Analysis of pesticides and PCBs in waste wood and house dust. Chemosphere, Volume 81, Issue 4, September 2010, Pages 488-493.

- USDA (2023). Preservative-Treated Wood and Alternative Products in the Forest Service. Beschikbaar via URL: https://www.fs.usda.gov/t-d/pubs/htmlpubs/htm06772809/page02.htm#pcp
- Ibach R. (1999). Wood Preservation, Chapter 14. In Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. Forest Products Laboratory (1999)
- Phanopoulos C. (2010). Polyurethanes and Isocyanates used as adhesives in Composite Wood Products. Huntsman Corporation.
- EU (2005). European Union Risk Assessment Report of methylenediphenyl diisocyanate (MDI). European Communities (EC).
- Fuller (2023). Low Monomer content products, H.B. Fuller company. Beschikbaar via URL: https://www.hbfuller.com/de/eimea/products-and-technologies/markets-and-applications/wood-and-composites/sustainable-woodworking-solutions/low-monomer
- Hingston J.A. Collins C.D. Murphy R.J. and Lester J.N. (2001). Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review. Environmental Pollution 111 (2001) 53-66.
- Pohlandt K. Bockelmann C. en Marutzky R. (1995). Concentrations of Pentachlorofenol and Lindane in various assortments of wood. Chemosphere, Vol. 31, Nmo. 9, pp 4025 – 4031.
- DAFF (2023). Accepted timber permanent preservative formulations. Available at URL: https://www.agriculture.gov.au/biosecurity-trade/import/goods/timber/approved-treatments-timber/permanent-preservative-treatment/approved-timber-permanent-preservative-formulations#_225---tbto-tributyltin-oxide-timber-impregnation-preservative. Consulted on: 21-02-224. Webpage was last updated on: 08-08-2023
- National Implementation Plan and national action plan for The Netherlands in the framework of the Stockholm Convention on Persistent Organic pollutants (2006). URL: Stockholm Convention National Implementation Plans (NIPs) (pops.int)Slooff et al. (1990). Basisdocument pentachloorfenol. IVM Rapport nr. 710401003
- Slooff W. and Matthijsen A.J.C.M. (1988). Integrated Criteria Document Hexachlorocyclohexanes. RIVM Report no. 758473011.
- DGG (1997). Een Inventarisatie van emissies van de scheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat. URL: https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/23791/477431.pdf
- Evers E.H.G. van Meerendonk J.H. Ritsema R. Pijnenburg J. en Lourens J.M. (1995). Butyltinverbindingen. Een analyse van de problematiek in aquatisch milieu. Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ). Rapportnummer: RIKZ-95-007 URL: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:c918a5cc-756f-45cb-a122-154935da02b5/datastream/OBJ/download
- Ctgb (2024). Toelatingendatabank. College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb). URL: https://toelatingen.ctgb.nl/nl/authorisations. Geraadpleegd 04-04-2024
- J.M. Wezenbeek en C.M.D. Komen (2023). Verkenning risicofactoren biocidegebruik. Aanbevelingen voor toezicht, onderzoek en beleid RIVM-rapport 2023-0376
- Akzo (2009). MSDS SIK48003 CETOL D W 003 (SATIN)
- International Paint (2020). SDS INTERLAC 665 DAFFODIL YELLOW
- Pacific Paint Boysen (2011). SDS NS 965 FAST DRI ENAMEL MAPLE
- WaarzitWatin (2024). Geraadpleegd op 23-04-2024. Te raadplegen via URL: https://waarzitwatin.nl/stoffen/kobaltcarboxylaat

3.5 Textiel

3.5.1 Werkwijze

Voor textiel is gebruik gemaakt van eerder RIVM onderzoek naar aanwezigheid van gevaarlijke stoffen in ingezameld consumententextiel (RIVM, 2022). Voor dit onderzoek is de volgende aanpak gevolgd:
Er is op internet gezocht naar chemische stoffen die mogelijk aanwezig zijn in ingezameld textiel. Naast de gebruikelijke webzoekmachines zijn ook websites van andere Europese overheidsinstellingen doorzocht. Voor wetenschappelijke studies is Pubmed en Web of Science geraadpleegd. Wat betreft aanwezigheid van stoffen in post-consumer textiel zijn twee studies gevonden. De eerste studie werd geïnitieerd door H&M en IKEA groep. De andere studie betreft een onderzoek van RISE (onderzoeksinstituut uit Zweden). Omdat de informatie over stoffen in ingezameld textiel beperkt is, zijn ook marktonderzoeken (aanwezigheid van stoffen in nieuw textiel) meegenomen. Daarnaast zijn stakeholders uit de keten geraadpleegd, het betreft vertegenwoordigers van textielinzamelaars (Wolkat), textiel recyclers (SaXcell, CuRe en Frankenhuis) en producenten (Reblend en Mud jeans).

Andere textielsoorten die onder dit sectorplan vallen zijn bedrijfskleding en afgedankte stoffering (bv. gordijnen). Er zijn geen review studies over gevaarlijke stoffen in deze 2 productgroepen gevonden. Daarom is gekozen voor een andere aanpak. Voor bepaalde functionele stofgroepen zoals brandvertragers, kleurstoffen en water- en vetafstotende coatings is onderzocht welke ZZS kunnen zijn toegepast. Hiervoor is gebruik gemaakt van wetenschappelijke en grijze literatuur, en indien van toepassing informatie uit de restrictiedossiers van ECHA.

3.5.2 Resultaten textiel: keten

Textiel productie is een complex proces waarbij meerdere stappen worden doorlopen zoals voorbehandeling, verven, printen en finishing en verschillende chemische stoffen worden gebruikt. Het type chemische stof dat wordt gebruikt, is meestal afhankelijk van het vezeltype, zoals katoen, polyester, wol, enz.. Bij het wassen van bijvoorbeeld consumentenkleding zullen sommige chemische stoffen uitgewassen worden tijdens de gebruiksfase. Dat geldt over het algemeen voor stoffen met een hoge wateroplosbaarheid, zoals formaldehyde en sommige kleurstoffen.

Voor kleding en textiel bestaan binnen de Nederlandse wetgeving en Europese verordeningen verschillende wetsartikelen. In het RIVM briefrapport (2022-0166) is een overzicht opgenomen van stoffen die relevant zijn voor textiel binnen deze wetgevende kaders:

- REACH Verordening 1907/2006/EG. Grenswaardes voor chemische stoffen in consumentenartikelen. Belangrijk voor textiel en leer zijn:
  - Bijlage XVII met in het bijzonder entry 72 en de verwijzing naar appendix 12 voor een lijst met chemische stoffen met CMR[3] stoffen die in textiel zijn gereguleerd. Grenswaardes zijn afhankelijk van de stof en variëren van 1 mg/kg tot 3000 mg/kg
  - Bijlage XIV (autorisatielijst)
  - De kandidaatlijst van autorisatieplichtige stoffen in voorwerpen.
- POP Verordening (EU) 2019/1021. Verbod op bepaalde persistente organische verontreinigde stoffen zoals brandvertragers

[3] CMR: carcinogeen, mutageen, reproductief toxisch

polybroombifenylethers, perfluorooctaansulfonaten (PFOS) en kortketen gechloreerd paraffines (SCCP’s) die in textiel en leer gebruikt kunnen worden.
- Warenwet: 2 stoffen waren gereguleerd onder de warenwet, intussen zijn nieuwe en strengere normen vastgesteld in REACH en POP wetgeving.

Door de jaren heen zijn meerdere studies uitgevoerd wat betreft (nieuw geproduceerd) textiel. In deze studies gaat het meestal om een beperkte hoeveelheid samples en worden vaak specifieke stoffen of stofgroepen gemeten. In deze onderzoeken worden de aangetroffen waardes vergeleken met wettelijke productnormen voor textiel en leer producten, waarbij in sommige gevallen overschrijdingen zijn vastgesteld.

In het RIVM briefrapport 2022-0166 (Heens en Eliesen, 2023) zijn naast deze studies ook de resultaten samengevat van twee onderzoeken waarbij de aanwezigheid van chemische stoffen in post-consumer (ingezameld huishoudelijk textiel) hebben getest. De REACH wetgeving is de afgelopen jaren aangescherpt wat betreft stoffen in textiel. Daarom is het mogelijk dat in afgedankt textiel stoffen kunnen voorkomen die niet voldoen aan de huidige wettelijke productnormen voor nieuw geproduceerd textiel.

Dit zijn de conclusies voor (huishoudelijk) textiel per vezeltype:
Katoen: NPEO's kunnen gevonden worden boven de huidige wettelijke productnorm voor nieuw geproduceerd textiel (REACH restrictie: 100mg/kg). Producten gemaakt van gerecycleerd katoen zijn echter vrijgesteld van de NPEO restrictie (entry 46 REACH bijlage XVII). Extraheerbaar chroom kan incidenteel voorkomen in katoen. De restrictie is van toepassing op chroom VI (en niet op chromium III). Het is onduidelijk wat de kans is op overschrijding van de productnorm voor chroom VI.
Weekmakers (ftalaten) kunnen aanwezig zijn in textielproducten met prints. In de IKEA & H&M studie is dit niet aangetoond, mogelijk omdat prints verwijderd zijn vóór het testen.

Polyester:
Stoffen die mogelijk boven wettelijke productnormen kunnen worden aangetroffen zijn:
Extraheerbaar cadmium en DEHP.
In stoffen met waterafstotende eigenschappen kunnen PFAS voorkomen.
ZZS waarvoor geen productnormen zijn aangetroffen maar wel voor kunnen komen zijn: chlorobenzenen en toluenen, BPA. Het gaat dan om onzuiverheden en concentraties <1000 mg/kg.

Wol:
NPEO's (en OPEO’s) gevonden kunnen worden boven de huidige wettelijke grenswaarde voor textiel. Producten gemaakt van gerecycled wol zijn echter vrijgesteld van de NPEO restrictie. Ook kan extraheerbaar chromium incidenteel voorkomen in wol. De restrictie is van toepassing op chroom VI (en niet op chroom III). Het is onduidelijk wat de kans is op overschrijding van de norm voor chroom VI.

3.5.3 Blootstellingsroutes

Bij verwerking

Bij het verwerken van textiel kunnen emissies ontstaan door stofvorming (bijvoorbeeld bij mechanische recycling). Afhankelijk van de techniek kunnen bij chemische recycling emissies ontstaan naar lucht of water.

Bij volgende toepassing

Consumenten kunnen dagelijks blootgesteld worden aan gevaarlijke stoffen in textiel door langdurig en veelvuldig gebruik en het grote contactoppervlakte aan producten zoals kleding, handdoeken en beddengoed. In de huidige recycling praktijk wordt textiel voor toepassingen ingezet waarbij geen sprake is van langdurig huidcontact (bijvoorbeeld als vulstof of isolatiemateriaal). Omdat de afgelopen jaren wetgeving voor stoffen in kleding is aangescherpt, is er een risico dat reeds verboden stoffen in omloop blijven. Hoe groot dat risico is, is o.a. afhankelijk van de herkomst, productiemethode en productiejaartal.

3.5.4 Volledigheid

Er wordt een brede range aan chemische stoffen toegepast bij het produceren van textiel, ook verschillende ZZS. Daarnaast is er weinig transparantie in de keten over de toegepaste chemische stoffen.
Uit metingen van IKEA en H&M blijkt dat verschillende chemische stoffen worden aangetroffen in ingezameld (consumenten)textiel. Er is 1 grootschalige studie bekend waarin een brede range van stoffen is onderzocht en vergeleken met wettelijke productnormen. Deze normen zijn echter vaak (veel) lager dan de algemene concentratiegrenswaarde van 0,1% en exacte concentraties zijn niet bekend gemaakt. Voor sommige stofgroepen zou het wenselijk zijn verder onderzoek te doen, bijvoorbeeld voor de weekmaker DEHP en PFAS in synthetisch textiel.
Indien van ingezameld textiel nieuw textiel wordt gemaakt is de producent verantwoordelijk om na te gaan of deze producten voldoen aan de geldende productwetgeving.

Wat betreft brandvertragers in professionele kleding en woningtextiel (gordijnstoffen) is bekend voor welke stoffen en wanneer de restrictie is ingegaan. Daarom zou aan de hand van de gebruiksduur ingeschat kunnen worden wat de kans is dat deze stoffen nog voorkomen in het afgedankte textiel. Ook voor deze categorie geldt dat PFAS kunnen voorkomen.

3.5.5 Referenties

- Heens F. Eliesen G. (2023). Textile recycling in the Netherlands. Considerations for ensuring chemical product safety.https://www.rivm.nl/publicaties/textile-recycling-in-netherlands-considerations-for-ensuring-chemical-product-safety
- RISE IVF (2019). User Guide Classification and Risk Assessment of Textiles for Material Recycling Results from a research project financed by Vinnova.
- ECHA (2008a). "Risk assessment of 2,2',6,6'-Tetrabromo-4,4'-Isopropylidene diphenol (Tetrabromobishpenol-A) Final Environmental Rar of February 2008 https://echa.europa.eu/documents/10162/17c7379e-f47b-4a76-aa43-060da5830c07
- Allan I.J., Garmo Ø.A., Rundberget J.T., Terentjev P., Christensen G., Kashulin N.A. (2018). Detection of tris(2,3-dibromopropyl) phosphate and other organophosphorous compounds in Arctic rivers. Environmental Science and Pollution Research (2018) 25:28730–28737. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2947-5.
- Europese raad (1979). Richtlijn 76/769/EEG. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=celex%3A31979L0663
- ECHA (2009). Priotorisation and Annex XIV background information. Substance name: Alkanes, C10-13, chloro.
- Rujido-Santos I. Herbello-Hermelo P. Barciela-Alonso M.C. Bermejo-Barrera P. Moreda-Piñeiro A. (2022). Metal Content in Textile and (Nano)Textile

Products. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 944. https://doi.org/10.3390/ijerph19020944

- ECHA (2008b). Data on manufacture, import, export, uses and releases of HBCDD. https://echa.europa.eu/documents/10162/13640/tech_rep_hbcdd_en.pdf/eb5129cf-38e3-4a25-a0f7-b02df8ca4532
- ECHA (2014). Restriction Proposal PFOA, PFOA salts and PFOA-related substances. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/d0bbb62e-2c61-63cf-16f5-16f1e06b7511
- ECHA (2019). Restriction proposal for Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), its salts and PFHxS-related substances. Available at: https://echa.europa.eu/documents/10162/a22da803-0749-81d8-bc6d-ef551fc24e19

3.6 Zonnepanelen

3.6.1 Werkwijze

Voor zonnepanelen is gebruik gemaakt van eerdere RIVM studies over zonnepanelen:

- De brochure: "Veilige en duurzame zonnepanelen (link)
- RIVM Briefrapport 2023-0310 (Heens & de Boer, 2024): "Verkenning van gevaarlijke stoffen in de energietransitie"
- RIVM Briefrapport 2023-0442 (Lijzen et al., 2024): "Recycling of solar panels: scenarios for a circular and safe product chain"

De samenstelling van zonnepanelen zijn relatief goed omschreven in de literatuur. Ook is gebruik gemaakt van de expertise van TNO (d.m.v. interviews) als het gaat om het ontwerp en materiaalgebruik voor de productie van zonnepanelen.

3.6.2 Resultaten zonnepanelen: keten

De meest toegepaste technologie voor zonnepanelen is kristallijn silicium.
In kristallijn silicium panelen is lood toegepast in het soldeer, lood is een ZZS metaal. De PFAS polymeren die zijn toegepast in het achterblad zijn geen ZZS. Een open vraag betreft het lot van de fluoratomen van PFAS bij verwerking. Bij verhitting of verbranding kunnen kortketenige PFAS gevormd worden. Ook kunnen er zeer potente broeikasgassen gevormd worden tijdens verbranding (Bakker et al., 2021).
Minder dan 5% van de zonnepanelen in Nederland zijn dunne-film-zonnepanelen. Het aandeel dunne-film-zonnepanelen in de gebouwde omgeving neemt echter toe en zal naar verwachting blijven toenemen. Dunne film zonnecellen bestaan uit een stapeling van dunne laagjes halfgeleiders, zoals cadmiumtelluride (CdTe) of koper-indium-galliumselenide (CIGS).

In CdTe panelen is cadmium aanwezig (ZZS), cadmium kan ook mogelijk gebruikt worden als grondstof in CIGS panelen.

3.6.3 Blootstellingsroutes

<u>Huidige verwerkingsmethode</u>
De gangbare methode is om, na demontage van koperen kabels, externe elektronica en aluminium frame, de gehele gelamineerde panelen tot korrels te vermalen. Dit gebeurt in recycling faciliteiten voor andere afvalstromen, vaak gezamenlijk met elektronisch afval. Het eindproduct (vervuilde glasresten) wordt gebruikt als schuurmiddel en vervolgens toegevoegd bij het staalschroot. De organische fractie (EVA lijmlaag en het achterblad) wordt verbrand en het glas eindigt samen met andere metaaloxides als een drijflaag op het gesmolten staal en wordt afgeroomd en afgevoerd als slakken, zoals die typisch bij hoogoven processen gevormd worden. Deze slakken worden na reiniging o.a. weer ingezet voor de fundering van wegen of betontoeslagmiddel.

Gevaarlijke stoffen (metalen zoals lood en antimoon) kunnen vrijkomen bij het bewerken van de materialen via stofvorming. De emissies zullen afhangen van de maatregelen die de recycler treft om verspreiding van stofdeeltjes tegen te gaan. De PFAS in het achterblad zullen bij hoge temperatuur in de staalrecycling (deels) afgebroken worden. Milieurisico's hiervan zijn niet bekend. Het gaat het nog om relatief beperkte hoeveelheden afgedankte zonnepanelen die op deze manier verwerkt worden.

Om zonnepanelen goed te kunnen recyclen, is het wat betreft het huidige ontwerp van de zonnepanelen noodzakelijk om de lijmlaag te verwijderen, m.a.w. te delamineren. Dit kan op verschillende manieren, inclusief mechanisch, thermisch (verbranding en pyrolyse) en chemisch. Daarna kunnen de materialen (glas, silicium, metalen) worden gescheiden en verwerkt. Gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen via stofvorming (mechanische bewerking), of bij verbranding en verhittingsprocessen.

Op dit moment worden materialen van afgedankte zonnepanelen nog niet hoogwaardig verwerkt. Bij verwerking van het glas dient rekening gehouden te worden met aanwezigheid van antimoon en bij recycling van de zonnecellen (silicium) met aanwezigheid van lood.

3.6.4 Volledigheid

In verschillende wetenschappelijke studies is de materiaalsamenstelling van zonnepanelen uitgezocht. Dit levert een redelijk compleet beeld op van de toegepaste materialen en mogelijke aanwezigheid van ZZS in zonnepanelen die nu op de markt zijn.

3.6.5 Referenties

- European Commission (2023). Study to support the assessment of impacts associated with the general review of Directive 2011/65/EU (RoHS Directive)
- TNO (2022). Balancing costs and revenues for recycling End-of-Life PV Panels in the Netherlands. Auteurs: Spath M., Wieclawska S., Sommeling P., Lenzmann F. R100860.
- Persoonlijke communicatie Paul Sommeling (TNO).
- Fraunhofer Institute (2017). End-of-Life pathways for photovoltaic backsheets
- JRC (2016). Analysis of Material Recovery from Silicon Photovoltaic Panels. Life Cycle Assessment and implications of Critical Raw Materials and Ecodesign. Auteurs: Latunussa C.E.L., Mancini L., Blengini G.A., Ardente F., Pennington D. EU JRC Technical reports 100783. March 2016. DOI: 10.2788/786252
- Bakker J. et al (2021). Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. RIVM briefrapport 2021-014. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2021-0143.pdf
- Heens F. & de Boer L. (2024). Verkenning van gevaarlijke stoffen in de energietransitie. RIVM Briefrapport 2023-0310. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0310.pdf
- Lijzen JPA, Heens F., Dekker E. en Hoff M. (2024). Recycling of solar panels. Recycling scenarios for a more circular and safe product chain. RIVM briefrapport 2023-0442. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0442.pdf

3.7 Papier en karton

3.7.1 Werkwijze

Voor papier en karton is het SGS Intron rapport gebruikt als basis. De bestaande lijst is nagelopen en aangevuld op basis van literatuur. Ook is gezocht naar wetenschappelijke literatuur (reviews) over aanwezigheid van stoffen in ingezameld en gerecycled papier.
Het overzichtsartikel van Pivnenko et al. (2015) geeft een overzicht van chemische stoffen die aanwezig kunnen zijn in papier.

De informatie voor het artikel van Pivnenko et al. (2015) werd verkregen uit meerdere databronnen. Stoffen die gebruikt worden in pulp en papierproductie werd verzameld van nationale product registratiesystemen en wetenschappelijke beoordelingen, en de lijsten van EFSA (European Food Safety Authority). Ook stoffen gebruikt door de inkt industrie zijn onderzocht. Dit is aangevuld met een review van wetenschappelijke literatuur (25 studies) over de samenstelling van papier, papierproducten of afval.

Naast het overzichtsartikel van Pivnenko et al. (2015) is ook gebruikt gemaakt van RIVM expertise over NIAS (non-intentionally added substances), PFAS en ervaring met papier en inktindustrie wat betreft samenstelling van deze materialen.

3.7.2 Resultaten papier en karton: keten

In papier kunnen afhankelijk van de herkomst en de papiersoort verschillende soorten ZZS voorkomen. Het gaat dan om de volgende stofgroepen: ftalaten, fenolverbindingen, parabenen, metalen. Deze stoffen komen voor onder de concentratiegrenswaarden van het CMP/LAP (0,1%) behalve voor bisfenol A (BPA). Deze stof komt voor in concentraties boven 0,1% in kassabonnen, thermisch papier op de markt gebracht voor 2020. De kans dat deze kassabonnen met hoge concentraties bisfenol A bij het ingezameld papier terecht komen is heel klein daarom niet als relevant ingeschat.

Uit RIVM onderzoek (Bokkers et al., 2019) blijkt dat PFAS voor kunnen komen in papier en karton, met name in voedselverpakkingen die vet en water afstoten. Behalve PFAS die zijn toegelaten voor gebruik in voedselcontactmateriaal, werden ook PFAS gevonden die niet in papier en karton gebruikt mogen worden. Dit zijn waarschijnlijk onzuiverheden in de stoffen waarmee papier en karton wordt behandeld. Ook kunnen het afbraakproducten zijn van andere PFAS. Nederland is het eerste land in Europa na Denemarken dat gebruik van typen PFAS in voedselcontactmaterialen verbiedt. Het verbod is geregeld in een wijziging van de Warenwet regeling verpakkingen en gebruiksartikelen van 1 juli 2022. Daarin is aangegeven dat de 4 typen PFAS niet mogen voorkomen in de voedselcontactmaterialen. Ook niet door contaminatie of na een afbraakproces. Het is niet bekend in hoeverre PFAS nog voorkomt in ingezameld papier in Nederland na het verbod op PFAS in voedselcontactmaterialen.

PFAS kunnen ook aanwezig zijn gerecycled papier of karton dat geen voedselcontactmateriaal is. Dat blijkt ook uit een recente studie uit Noorwegen (Langberg et al., 2024). De mogelijk bron van PFAS is het gebruik van voedselcontactmaterialen voor de productie van het gerecyclede papier. De lange PFAS verbindingen die verboden zijn (PFOA en PFAS) worden minder vaak en in veel lagere concentratie aangetroffen omdat deze in Europa reeds vervangen zijn door kortere PFAS verbindingen (Langeberg et al., 2024).

De belangrijkste grondstoffen voor papier en karton zijn de cellulosevezels, zetmeel en minerale vulstoffen. Functionele additieven worden in relatief kleine hoeveelheden toegevoegd (CEPI, 2019). Daarnaast zijn andere bronnen mogelijk van chemische stoffen vanuit verschillende bronnen, zoals bewust toegevoegde stoffen (inkt, pigmenten, lijm), of niet bewust toegevoegd (door een reactie of afbraakproces tijdens de gebruiksfase of tijdens de afvalfase). Ook kunnen tijdens inzameling vervuiling van de papierstroom plaatsvinden. . Denk aan het voorbeeld van minerale oliën uit inkten en kunstmatige kleurstoffen met primaire aromatische amines (KIDV, 2022). In het artikel van Peters et al., 2019 worden de volgende stoffen genoemd die regelmatig worden gevonden in papier en karton: primaire aromatische amines, bisfenol A, bisphenol A diglycidylether (BADGEs), PFAS, ftalaten en minerale oliën.

Bij het opruimen van archieven kunnen stoffen die intussen verboden zijn, in de afvalstroom terecht komen (Rijkswaterstaat, 1997). PCB's zijn een voorbeeld daarvan. Er worden nu geen PCB-bevattende hulpstoffen gebruikt in de papierindustrie maar PCB's kunnen mogelijk als verontreinigingen voorkomen archiefpapier. Tot 1970/1991 bevatte zelfcopiërend papier PCB's.

In het papier kunnen non-intentially added substances (NIAS) aanwezig zijn. Voor sommige NIAS zijn migratielimieten opgenomen in de Plastics Regulation (10/2011) van de European Commissie in 2011. Sinds dan is er meer aandacht door de lidstaten (beleid) en onderzoekers voor deze stoffen omdat ze in voedsel kunnen migreren. Door het verbod op single-use-plastics neemt het gebruik van papier als voedselverpakkingsmateriaal toe. Voor voedselcontactmaterialen zijn er op EU-niveau regels gemaakt over veiligheid. Voor papier zijn echter nog geen migratielimieten vastgesteld (wel voor plastics).

3.7.3 Blootstellingsroutes

Bij het recyclen van papier zullen afhankelijk van de fysisch-chemische eigenschappen, en dan met name de wateroplosbaarheid, stoffen in de papiervezel blijven of in het afvalwater van de recyclingfabriek terecht komen. Voor de hoge kwaliteitssoorten (bijvoorbeeld grafisch papier of wit toilet papier) wordt papier ontinkt voorafgaand aan recycling. Deze ontinktingsstap wordt niet toegepast voor de productie van andere papiersoorten zoals golfkarton.

Stoffen kunnen dus terecht komen in het afvalwater of achterblijven in het papier. Wanneer papier als voedselverpakking wordt toegepast kunnen stoffen mogelijk in het voedsel migreren.

3.7.4 Volledigheid

Het review artikel van Pivnenko et al. (2015) biedt overzicht van kennis over aanwezigheid van gevaarlijke stoffen in 2015. Het is echter niet heel recent. Er zijn geen recente metingen bekend van ZZS in oud papier in Nederland. De verwachting is wel dat indien ZZS worden aangetroffen de concentratie onder de 0,1% is. Daarnaast ontbreekt het aan data over aanwezigheid van PFAS in ingezameld papier en karton (waarvoor lagere concentratiegrenswaardes van toepassing zijn).

3.7.5 Referenties

- Bokkers B.G.H. et al. (2019). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in food contact materials. Briefrapport 2018-0181. https://www.rivm.nl/publicaties/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfass-in-food-contact-material

- CEPI (2019). Food contact guidelines for the compliance of paper & board materials and articles. https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2020/09/Food-Contact-Guidelines_2019.pdf
- ECHA (2020). The use of bisphenol A and its alternatives in thermal paper in the EU during 2014 - 2022. https://echa.europa.eu/documents/10162/23294236/bpa_thermal_paper_report_2020_en.pdf/59eca269-c788-7942-5c17-3bd822d9cba0
- KIDV (2022) Factsheet NIAS – Non-intentionally added substances in packaging. https://kidv.nl/media/factsheets/voedselveiligheid/20220309_06_nias_factsheet_eng_def.pdf?1.2.22
- Langberg et al. (2024). Recycling of paper, cardboard and its PFAS in Norway, Journal of Hazardous Materials Letters, Volume 5, 2024, https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100096.
- Peters et al. (2019). Review of analytical approaches for the identification of non-intentionally added substances in paper and board food contact materials. Trends in Food Science & Technology Volume 85, March 2019, Pages 44-54.
- Pivnenko et al. (2015). Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances. Waste Management, Volume 45, 2015, Pages 134-142, ISSN 0956-053X. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.028
- Rijkswaterstaat (1997). Micro-verontreinigingen in toilet papier. https://open.rijkswaterstaat.nl/publish/pages/160568/microverontreinigingen_in_toiletpapier.pdf

4 Bijlage A

AVI-vliegas

Tabel A.1 Gehalten organische verbindingen in vliegas en ketelassen van afvalverbrandingsinstallaties. De getallen per site zijn overgenomen uit Neuwahl et al. (2019), tabel 3.14.

Site	Soort afval	PAH (mg/kg)	PCB's (mg/kg)	Dioxines (ng I-TEQ/kg)
1	S			186
2	M			0,14
3	H			6,45
4	O			41
5	H			17
6	M		0,0105	165
7	M			22
8	O	0,68	0,011	285,1
9	M	0,25		126,5
10	M	0,25		0,14
11	O	164,49	0,00965	21380
12	O	0,5	0,0022	0,375
13	M	0,5	0,00003	1524
14	O	0,25		0,377
15	M		0,01	1200
16	M			231
17	M		0,1895	252,4
18	M			440
19	H			205
20	H			56,75
21	H			90
22	M			1037
23	O			114
24	M			151
25	O			2500
26	O			224
27	M	0,54		427
28	M	0,025		487
29	M		0,0105	475
30	M	0,1	0,05	0,0007
31	M	1	2,5	0,04
32	M			183,8
33	M			39,65
34	M			40,3
35	C		0,0000648	5652

Site	Soort afval	PAH (mg/kg)	PCB's (mg/kg)	Dioxines (ng I-TEQ/kg)
Statistieken excl. data voor categorie H, gevaarlijk afval				
Mediaan		0,50	0,01	165,00
Geometrisch gem.		0,51	0,01	55,92
95st percentiel		83	1	3446
Maximum		164,5	2,5	21380
CGW			50	5000

Wanneer een waarde gerapporteerd is als <, dan is de helft van deze waarde genomen
Van de gerapporteerde ranges is de midden-waarde genomen.
C = bedrijfsafval
H = gevaarlijk afval
M = huishoudelijk afval
O = overig niet gevaarlijk afval
S = zuiveringsslib

Samenvatting overige data voor AVI-vliegas (huisvuilverbrandingsinstallaties):

- PFAS: De hoeveelheid van 9 PFAS in vliegas is circa 11 microgram per kg = 11 ng/g = 0,01 ppm (uit Bakker et al, 2021) oorspronkelijke bron is Sandblom (2014). Metingen aan vliegas zoals gerapporteerd door Houben en Boerleider (2020) laten zien dat voor alle (30) PFAS de concentraties beneden de 0,1 microgram per kg liggen. De strengste grenswaarde van 1 mg/kg is van toepassing op PFOA en PFHxS. De totale hoeveelheid PFAS in vliegas ligt niet boven deze grenswaarde.
- Chloorbenzenen:
    - pentachoorbenzeen: 30 ng/g; hexachloorbenzeen 34 ng/g (Korenkova et al., 2006)
- Chloorfenolen:
    - Pentachloorfenol: 27 ng/g (Viau et al., 1984)
- Aromatische koolwaterstoffen: o-terfenyl: 72 ng/g; m-terfenyl: 4 ng/g (Korenkova et al., 2006)

AVI- bodemas

Tabel A.2 Gehalten organische verbindingen in bodemassen van afvalverbrandingsinstallaties. De getallen per site zijn overgenomen uit Neuwahl et al. (2019), tabel 3.15.

Site	Soort afval	PAH (mg/kg)	PCB's (mg/kg)	Dioxines (ng I-TEQ/kg)
1	M		0,465	2,73
2	S	0,52	0,32	0,82
3	M			21,1
4	S		0,005	19
5	S	0,05		56
6	H	0,20	0,005	2,5
7	H			79,3
8	H	0,50	0,005	23,005
9	H	30,00		505
10	H	6,20		0,01
11	M	7,60		
12	M			478,3
13	M			4,95
14	M		1	
15	O			10,7
16	M			13,8
17	M	0,74		4,71
18	H			58
19	M		0,0105	10,3
20	H		3519	
21	M			27,55
22	M	0,10	0,0000001	23,61
23	M	1,00	2,5	0,01
24	O	0,40	1,4	6
25	M	0,25		4,85
26	M	0,25		0,0022
27	O	0,25	0,005	4,04
28	O	0,73	0,0188	0,00575
29	M	0,50	0,5	2,5
30	O	2,50		3,6
31	M		0,01	9,3
32	M		0,000017	443
33	M		0,00000048	3,85
34	M		0,000011	340
35	M		0,000016	494
36	M	1,27	0,1	6,265
37	M			4,28
38	M			6,05

Site	Soort afval	PAH (mg/kg)	PCB's (mg/kg)	Dioxines (ng I-TEQ/kg)
39	M			7,895
40	C		0,00000136	33,8
Statistieken excl. data voor categorie H, gevaarlijk afval				
Mediaan		0,51	0,01	6,3
Geometrisch gem.		0,52	0,003	6,4
95st percentiel		4,29	1,6	461
Maximum		7,6	2,5	494
CGW		-	50	5000

Wanneer een waarde gerapporteerd is als <, dan is de helft van deze waarde genomen
Van de gerapporteerde ranges is de midden-waarde genomen.
C = bedrijfsafval
H = gevaarlijk afval
M = huishoudelijk afval
O = overig niet gevaarlijk afval
S = zuiveringsslib

Samenvatting overige data AVI- bodemas (huisvuilverbrandingsinstallaties):

- PFAS: Totale hoeveelheid PFAS in bodemas is circa 50 microgram per kg = 50 ng/g = 0,05 ppm (uit Bakker et al, 2021) oorspronkelijke bron is Houben en Boerleider (2020). De strengste grenswaarde van 1 mg/kg zijn van toepassing op PFOA en PFHxS. De totale hoeveelheid PFAS in bodemas ligt niet boven deze grenswaarde.

Uit gerapporteerde meetgegevens in RIVM (2007) blijkt dat PAK's aanwezig zijn in AVI bodemas. Het totale gehalte aan PAK-10 in AVI-bodemas is maximaal 6 mg/kg. Dibenzo[a,h]anthraceen en dibenzo[def,p]chryseen maken geen deel uit van de PAK-10 die standaard worden gemeten in bouwstoffen waardoor er geen meetwaarden bekend zijn.
Voor benzo[a]pyreen en dibenzo[a,h]anthraceen geldt een lagere grenswaarde van 0,01% en voor dibenzo[def,p]chryseen geldt een grenswaarde van 0,001%. Voor totaal PAK's is er geen grenswaarde.
Uitgaande van de generieke grenswaarde van 0,1% (1000 ppm) voor PAK-10 dan wordt de grenswaarde voor zowel AVI-bodemas betonproducten als betongranulaat niet overschreden.

Betonproducten inclusief betongranulaat en mortel

Uit gerapporteerde meetgegevens in RIVM (2007) blijkt dat PAK’s vooral aanwezig te zijn in betongranulaat. In de andere bouwstoffen (betonmortel, betonproducten en slakken) worden PAK’s niet aangetoond.
Uitgaande van de generieke grenswaarde van 0,1% (1000 ppm) voor PAK-10 dan wordt de grenswaarde voor betongranulaat niet overschreden.
Voor benzo[a]pyreen is de hoogst gemeten waarde 11 mg/kg voor betongranulaat. In betonmortel, betonproducten en slakken ligt het gehalte beneden de detectielimiet. Voor benzo[a]pyreen wordt de grenswaarde van 0,01% (100 mg/kg) dus niet overschreden.
Vluchtige chemicaliën zoals benzeen, tolueen en xyleen zijn in betongranulaat en betonproducten aangetoond in zeer lage concentraties doorgaans (gemiddeld) lager dan 1 mg/kg. In betongranulaat en betonproducten worden ook PCB’s aangetroffen met een maximale gehalte van 2,4 mg/kg voor PCB-totaal in betongranulaat. De gevonden maximale waarden voor de vluchtige verbindingen liggen ruim lager dan de generieke grenswaarde van 0,1% (1000 mg/kg). De maximale waarde voor totaal PCB’s ligt eveneens ruim onder de stringentere grenswaarde van 50 mg/kg.