



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

# **Evaluatie** normeringskader (her)gebruik secundaire **bouwstoffen**



# **Evaluatie normeringskader (her)gebruik secundaire bouwstoffen**

RIVM-rapport 2024-0074

## Colofon

© RIVM 2024

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0074

E. Brand (auteur, projectcoördinator), RIVM  
J. van Genuchten (auteur), RIVM  
R. Vis (auteur), RIVM  
M. Broekman (auteur), RIVM

Contact:

Ellen Brand

Centrum voor Duurzaamheid, milieu en gezondheid (DMG)

[ellen.brand@rivm.nl](mailto:ellen.brand@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en waterstaat, directoraat-generaal Water en Bodem in het kader van de herijking bodemregelgeving.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Evaluatie normeringskader (her)gebruik secundaire bouwstoffen**

Steeds vaker worden 'secundaire bouwstoffen' opnieuw gebruikt. Dit is een belangrijk onderdeel van de circulaire economie die de overheid in 2050 wil bereiken. Het RIVM heeft de normen voor het gebruik van deze bouwstoffen geëvalueerd en verkend welke knelpunten er in de praktijk zijn. Het doet vier aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Secundaire bouwstoffen zijn materialen die overblijven na productieprocessen. Denk aan staalslakken bij de productie van staal en beton bij de sloop van oude gebouwen. Er bestaan normen om deze bouwstoffen veilig te kunnen (her)gebruiken, maar deze zijn sinds 2007 niet meer veranderd. Ondertussen zijn er wel nieuwe soorten bouwstoffen ontstaan. Ook worden bouwstoffen op een andere manier gebruikt dan waarvoor de normen toen zijn bepaald. Hierdoor ontstond de vraag of de bestaande normen nog geschikt zijn. Deze vraag is onderdeel van de herijking van de bodemregelgeving waar het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) mee bezig is.

De normen blijken nu niet genoeg rekening te houden met de bijzondere eigenschappen die sommige soorten bouwstoffen kunnen hebben. Ze worden nu te algemeen beoordeeld. Ook worden bouwstoffen in dikkere lagen en grotere hoeveelheden gebruikt dan was bedacht. Hierdoor kunnen bouwstoffen bij de toetsing wel aan de normen voldoen, maar in de praktijk toch ongewenste milieueffecten veroorzaken.

De vier aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

1. Houd rekening met het effect van de zuurgraad van bouwstoffen. Sommige bouwstoffen hebben kort nadat ze zijn gemaakt een lage zuurgraad (of hoge pH). Na een tijd kan de zuurgraad door natuurlijke processen toenemen (de pH zakt), waardoor sommige metalen in grotere hoeveelheden uit bouwstoffen kunnen vrijkomen.
2. Ontwikkel een methode om nieuwe stoffen in bouwstoffen op tijd op te merken.
3. Breng opnieuw in kaart welke (nieuwe) stoffen in secundaire bouwstoffen kunnen zitten en bepaal hiervoor normen.
4. Ontwikkel een methode om te beoordelen of bouwstoffen meerdere keren veilig kunnen worden (her)gebruikt.

Op basis van de resultaten van deze studie en de vervolgstudies kan de beoordeling van het (her)gebruik bouwstoffen worden verbeterd. Op termijn kan de normstelling hierop worden aangepast.

Kernwoorden: secundaire bouwstoffen, uitloging, (her)gebruik, toepassing, normeringskader, risico, modellering, evaluatie



## Synopsis

### **Evaluation of the standards framework on use and reuse of secondary building materials**

'Secondary building materials' are increasingly being reused. This is an important aspect of the circular economy that the Dutch government aims to realise by 2050. RIVM has evaluated the standards for the use of these building materials and has explored the obstacles problems in practice. It has made four recommendations for follow-up research.

Secondary building materials are materials left over after production processes. This includes, for example, steel slag from the production of steel and concrete from the demolition of old buildings. Standards apply for safe use and reuse of these materials, but they standards have remained unchanged since 2007. However, there are now new kinds of new building materials, and materials are being used in different ways than the methods for which the standards were developed at the time. This raised the question of whether these standards are still fit for purpose. This question is now part of the recalibration of soil regulations that the Ministry of Infrastructure and Water Management is working on.

The present standards seem to insufficiently take into account the unique characteristics that some types of building materials can have. They are currently being handled assessed too generally. Building materials are also being used in thicker layers and larger quantities than would have been expected at the time. As a result, building materials can meet the standards while in practice still causing undesirable environmental effects.

The four recommendations for follow-up research are:

1. Take the effect of the pH value of building materials into account. Some building materials will have a low degree of acidity (or high pH value) just after their productioncreation, but this degree of acidity can increase over time (the pH value drops) through natural processes, resulting in some metals being released from the materials in larger quantities than expected.
2. Develop a method to detect new substances in building materials in time.
3. Identify what (new) chemical compounds can be found in secondary building materials and establish standards.
4. Develop a method for assessing whether building materials can be used and reused safely multiple times.

Based on the results of this study and follow-up studies, the assessment of the (re)use of building materials can be improved. In the long term, the standards can be adjusted to take this into account.

Keywords: secondary building materials, leaching, use and reuse, application, standards framework, risk, modelling, evaluation





## Inhoudsopgave

### Samenvatting — 9

#### 1 Inleiding — 13

- 1.1 Aanleiding en doelstelling — 13
- 1.2 Doelstelling en afbakening rapportage — 14
  - 1.2.1 Afbakening — 14
  - 1.2.2 Thermisch gereinigde grond — 16
- 1.3 Leeswijzer — 16

#### 2 Normeringskader voor (her)gebruik van bouwstoffen — 19

- 2.1 Zorgplicht — 19
- 2.2 Maximale emissiewaarden bouwstoffen (anorganische stoffen) — 20
  - 2.2.1 Totstandkoming en oorsprong — 22
  - 2.2.2 Voormalig bouwstoffenbesluit — 23
  - 2.2.3 Tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffenbesluit (TVR, 2004) — 25
- 2.3 Samenstellingswaarden (organische stoffen) — 26
- 2.4 Toetsing van uitloging — 27
  - 2.4.1 Standaard uitloogproeven — 27
  - 2.4.2 pH-afhankelijkheidsproef — 29

#### 3 Evaluatie parameters uitloogmodellering — 31

- 3.1 Inleiding — 31
- 3.2 Standaardscenario en parameters — 31
  - 3.2.1 Inhoudelijk versus beleidsmatig bepaalde parameters — 32
  - 3.2.2 Toelichting inhoudelijke parameters — 33
  - 3.2.3 Toelichting beleidsmatige keuzes — 34
- 3.3 Resultaten — 34
  - 3.3.1 Voorgaande evaluaties — 34
  - 3.3.2 Huidige evaluatie — 36
- 3.4 Conclusie — 36

#### 4 Knelpuntenanalyse en onderzoeksrichtingen — 37

- 4.1 Werkwijze — 37
- 4.2 Milieueffecten — 38
  - 4.2.1 pH verouderingseffect op de uitloging van stoffen — 38
  - 4.2.2 Direct pH effect op omgeving — 39
  - 4.2.3 Toepassing bouwstoffen in oppervlaktewater — 40
  - 4.2.4 Onderzoeksrichtingen — 46
- 4.3 Normeren en beoordelen — 48
  - 4.3.1 Verkenning niet-genormeerde stoffen in bouwstoffen — 48
  - 4.3.2 Mengsels van stoffen — 52
  - 4.3.3 Vertaling uitloogproeven naar de praktijk — 52
  - 4.3.4 Uitloging van organische stoffen — 53
  - 4.3.5 Meerdere levenscycli — 54
  - 4.3.6 Onvoldoende zicht op immobiliseren en (her)gebruik van producten met laagwaardige kwaliteit — 55
  - 4.3.7 Zichtbare verontreiniging en vrij toepasbaar — 57
  - 4.3.8 Onderzoeksrichtingen — 58
- 4.4 Toepassing en randvoorwaarden — 65
  - 4.4.1 Uitgangspunten normstelling versus toepassing in praktijk — 65

- 4.4.2 Onduidelijkheid of ontbrekende toepassingsvoorwaarden — 66
- 4.4.3 Onderzoeksrichtingen — 67

## **5 Conclusie en aanbevelingen — 69**

- 5.1 Conclusies — 69
  - 5.1.1 Normeringskader — 69
  - 5.1.2 Modelmatige onderbouwing — 69
  - 5.1.3 Milieueffecten — 70
  - 5.1.4 Beoordeling van bouwstoffen — 71
  - 5.1.5 Hiaten en verbeterpunten in wet- en regelgeving — 72
- 5.2 Aanbevelingen — 72
- 5.3 Tot slot — 74

## **Referenties — 75**

### **Bijlage 1 Verschillende bouwstoffen en kritische stoffen — 85**

- B1.1 Soorten bouwstoffen — 85
- B1.2 Kritische stoffen in bouwstoffen — 87

### **Bijlage 2 Overzicht herkomst maximale emissiewaarden niet-vormgegeven en vormgegeven bouwstoffen. 89**

### **Bijlage 3 Verslag workshop (her)gebruik secundaire bouw- en reststoffen: input vanuit de toezichtpraktijk gevraagd — 93**

- B3.1 Inleiding — 93
- B3.2 Wereldcafé — 93
- B3.3 Welke bouwstoffen zouden prioriteit moeten krijgen? — 94
- B3.4 Kansen en knelpunten — 95
  - B3.4.1 Vliegias — 96
  - B3.4.2 Granulaat — 96
  - B3.4.3 AEC bodemassen — 96
  - B3.4.4 Immobilisaat — 96
  - B3.4.5 Staalslakken — 97
- B3.5 (Nieuwe) niet-genormeerde stoffen/ZZS — 97
- B3.6 Markt en gebruik — 99

## Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het voornemen om de komende jaren een herijking uit te voeren van de bodemregelgeving. De herijking moet resulteren in een vernieuwing en verbetering van de bodemregelgeving. Op de korte termijn is een actualisatie van het bestaande normeringskader gewenst vanwege in de praktijk geconstateerde aandachtspunten bij het (her)gebruik van grond, bagger en bouwstoffen. Het doel voor de langere termijn is om tot een solide toekomstbestendig bodemstelsel te komen, waarin bodem en grondwater beschermd zijn, en waar een goede balans tussen beschermen en benutten bereikt wordt.

Als onderdeel van de herijking is het normeringskader voor de toepassing van bouwstoffen gereconstrueerd en geëvalueerd. Daarnaast zijn knelpunten en verbeterpunten bij de beoordeling en het gebruik van bouwstoffen in de praktijk verkend. Er is namelijk steeds meer aandacht voor (her)gebruik van (secundaire) bouwstoffen die in of op de bodem worden toegepast. De huidige normen zijn in 2007 vastgesteld en sindsdien nauwelijks gewijzigd. In de jaren na 2007 zijn er nieuwe secundaire bouwstoffen op de markt gekomen en zijn productieprocessen veranderd waardoor ook de eigenschappen en samenstelling van de resulterende bouwstoffen kunnen veranderen. Deels worden bouwstoffen ook op een andere wijze toegepast dan vroeger en worden bouwstoffen ook steeds meer (her)gebruikt in meerdere levenscycli.

Mede hierdoor zijn er bij het (her)gebruik van bouwstoffen en de hierbij waargenomen milieueffecten, zorgen ontstaan over de milieuhygiënische kwaliteit. Voor sommige bouwstoffen leek de kwaliteit en het gebruik te voldoen aan de normen, maar in de praktijk werden toch ongewenste (milieu)effecten geconstateerd. Het is dan ook de vraag of het bestaande normeringskader nog voldoende is toegerust om de verschillende (nieuwe) producten en toepassingsvormen te beoordelen. Door het in beeld brengen van de milieueffecten bij het (her)gebruik van bouwstoffen in de praktijk, moet duidelijk worden welke maatregelen mogelijk zijn om de kwaliteit en het (her)gebruik bouwstoffen beter te kunnen beoordelen. Op termijn kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving.

### **Evaluatie normenkader en toepassing in praktijk**

In deze rapportage is een reconstructie gemaakt van de totstandkoming van het huidige normeringskader voor het (her)gebruik van bouwstoffen. Hieruit blijkt dat slechts een deel van de wettelijke maximale emissiewaarden voor uitloging gebaseerd is op de wetenschappelijk voorgestelde kritische emissiewaarden zoals gerapporteerd in Verschoor et al. (2006). Voor de overige stoffen is er beleidsmatig voor gekozen om de voorgestelde emissiewaarden uit Verschoor et al. (2006) aan te scherpen of te verruimen. Het huidige

normenkader kent daarmee slechts ten dele een wetenschappelijke onderbouwing.

Hoewel niet alle voorgestelde kritische emissiewaarden zijn overgenomen in beleid, vormt het werk van Verschoor et al. (2006) een belangrijk referentiekader waartegen (toekomstige) beleidsmatige beslissingen over herziening van emissiewaarden en specifieke aanpassingen kunnen worden afgezet. Daarom is ook de invloed van de parameterkeuze binnen de uitloogmodellering geëvalueerd. Hieruit blijkt dat de resultaten van de modellering sterk afhankelijk zijn van gekozen invoerparameters. Deels berusten deze invoerparameters op een beleidsmatig gekozen standaard toepassingsscenario. Deze keuzes komen voort uit de wens om een eenvoudig generiek toetsingskader te hanteren voor alle typen bouwstoffen. Hierdoor worden alle bouwstoffen tegen dezelfde maatlat gelegd. Daarnaast kennen de modellen ook wetenschappelijk inhoudelijke invoerparameters zoals kappa, partiticoëfficiënt, keuzes met betrekking tot een representatieve bodem en netto neerslag. Uit de evaluatie blijkt dat de beleidsmatig vastgestelde parameters ten behoeve van het gekozen standaard scenario het meest bepalend zijn op de uiteindelijk berekende kritische emissiewaarden.

De keuze om uit te gaan van een standaard toepassingsscenario en een (fictieve) standaard bouwstof zorgt voor een overzichtelijk en eenduidig generiek toetsingskader maar houdt geen rekening met specifieke (afwijkende) eigenschappen die verschillende soorten bouwstoffen kunnen hebben. Bij de toepassing van bouwstoffen in de praktijk blijkt dat met name de bouwstoffen die afwijken van de als standaard gekozen bouwstof kunnen leiden tot ongewenste milieueffecten. Ook worden bouwstoffen op een andere manier toegepast dan waarbij rekening is gehouden in het standaard toepassingsscenario.

Er zijn grofweg drie oorzaken aan te wijzen voor de ervaren knelpunten bij het (her)gebruik van bouwstoffen.

- Onjuiste of niet vakkundige toepassing van bouwstoffen als gevolg van:
  - Onduidelijke toepassingsvoorwaarden;
  - Het onvoldoende nakomen van de toepassingsvoorwaarden;
  - Onvoorziene omstandigheden zoals verzakkingen van werken of stijging van grondwaterspiegel.
- Toepassing van bouwstoffen in grotere hoeveelheden en dikkere lagen dan het generiek gekozen toepassingsscenario.
- Het generiek toetsen van bouwstoffen aan normstelling en het toepassen in de praktijk, zonder rekening te houden met specifieke 'afwijkende' eigenschappen van bouwstoffen zoals een hoge pH. Ook wordt geen rekening gehouden met het effect van een pH verlaging op het uitloggedrag van metalen uit bouwstoffen nadat deze zijn toegepast.

Hierdoor kan het voorkomen dat bouwstoffen bij de toetsing voldoen aan normen voor uitloging, maar er in de praktijk soms toch ongewenste milieueffecten ontstaan.

Geconcludeerd wordt dat de ervaren knelpunten bij het hergebruik van bouwstoffen grotendeels verklaard kunnen worden doordat het huidige normenkader onvoldoende rekening houdt met specifieke eigenschappen die verschillende soorten bouwstoffen kunnen hebben en de manier waarop bouwstoffen worden toegepast.

Een actualisatie van de maximale emissiewaarden en de onderliggende uitloogmodellering naar de laatste wetenschappelijke stand der techniek heeft slechts een beperkt effect en leidt niet direct tot een oplossing van de geconstateerde knelpunten. Bij een keuze tot het actualiseren de normwaarden moet dan ook rekening worden gehouden met beleidsmatige aanpassingen uit het verleden, zoals de keuze voor een standaard scenario in de modellering en een beleidsmatig onderbouwde verruiming of aanscherping van de berekende emissiewaarden. Deze beleidsmatige keuzes waren in het verleden bepalend voor de uiteindelijk vastgestelde maximale emissiewaarden. Het komen tot nieuwe (beleidsmatige) keuzes met betrekking tot de modelparameters en het doorrekenen van verschillende scenario's, vraagt een zorgvuldige afweging en aanzienlijke doorlooptijd. Een aanpassing van het generieke modelscenario met als doel om tot nieuwe normwaarden voor het (her)gebruik van bouwstoffen te komen, kan dan ook niet op korte termijn worden bewerkstelligd.

Bouwstoffen worden middels wettelijk voorgeschreven uitloogproeven (i.e. de (vereenvoudigde) kolomproef en diffusieproef) getoetst aan de maximale emissiewaarden. Hierbij fungeren de uitloogproeven als een 'compliance' proef om te beoordelen of bouwstoffen mogen worden toegepast. Alleen de eindconcentratie uit de proef wordt getoetst aan de maximale emissiewaarden. De vertaling van de resultaten van de uitloogproef naar de praktijk, is verdisconteerd in de maximale emissiewaarden en de wijze waarop deze zijn gemodelleerd binnen het standaardscenario voor de toepassing van bouwstoffen.

De bestaande uitloogproeven zijn wetenschappelijk goed onderbouwd en ook internationaal goed ingebed. Uitgevoerd in hun volledige vorm (waarbij ook de verschillende tussenliggende uitloogfracties over tijd worden gemeten) geven de proeven meer inzicht van wat men in de praktijk aan uitloging kan verwachten. Toch kan in specifieke praktijksituaties die (sterk) afwijken van het generieke normeringskader, de geconstateerde uitloging afwijken van de resultaten uit de uitloogproeven. Hoe dit kan worden ondervangen in een algemene beoordeling van het (her)gebruik van bouwstoffen vraagt om een nadere uitwerking. Hierbij valt te denken aan de ontwikkeling van een afwegingskader of toepassingsladder voor afwijkende bouwstoffen of toepassingen. De uitloogproeven, eventueel in aanvulling met een pH afhankelijkheidstoets, kunnen aanknopingspunten bieden om een afwegingskader of toepassingsladder vorm te geven.

In de evaluatie zijn een aantal hiaten en verbeterpunten in het normeringskader geconstateerd. Hierbij gaat het om:

- Signalering van opkomende niet-genormeerde stoffen (zoals PFAS) in bouwstoffen;
- Beoordeling toxiciteit stoffenmengsels uit bouwstoffen;

- Beoordeling bouwstoffen voor (her)gebruik in meerdere levenscycli;
- Beoordeling zichtbare verontreinigingen (zoals batterijen en plastics) in bouwstoffen;
- Mogelijke toepassing van bouwstoffen aan het maaiveld en als gevolg daarvan direct contact met bouwstoffen.

### **Aanbevelingen**

Het wordt aanbevolen om in het normenkader voor het (her)gebruik van bouwstoffen meer oog te hebben voor de specifieke eigenschappen die sommige bouwstoffen hebben in relatie tot de beoogde toepassing en locatie. Hiermee wordt bedoeld dat voorafgaand aan een toepassing een meer zorgvuldige afweging wordt gemaakt of een bouwstof geschikt is voor een specifieke toepassing. Als dit niet het geval is, kan onderzocht worden of deze door nabehandeling alsnog geschikt kan worden gemaakt, danwel onder bepaalde randvoorwaarden kan worden toegepast.

Op basis van de evaluatie wordt aanbevolen om op de korte termijn prioriteit te geven aan:

- *Onderzoek naar oplossingen voor de problematiek rondom het pH effect en het pH verouderingseffect voor alkalische bouwstoffen.*
- *Ontwikkeling van een werkwijze voor de signalering van niet-genormeerde stoffen.* Voor bodem is de Algemene Methodiek Niet-genormeerde Stoffen (AMNS) in ontwikkeling. Het wordt aanbevolen om hierbij zo veel mogelijk aansluiting te zoeken voor bouwstoffen.
- *Monitoring van de generieke kwaliteit van bouwstoffen in het bijzonder bouwstoffen die een heterogene samenstelling kunnen hebben.* In het bijzonder bouwstoffen die een heterogene samenstelling kunnen hebben zoals AEC-bodemassen en recyclingsgranulaten. In de monitoring wordt ook aandacht gevraagd voor niet-genormeerde en opkomende stoffen. Vervolgens kan blijken of aanvullende normstelling nodig is.
- *Het ontwikkelen van een methodiek of handelingskader om het gebruik van bouwstoffen in meerdere levenscycli te kunnen beoordelen.* Dit om toekomstige problemen met het (her)gebruik te voorkomen. Ook kan overwogen worden om eisen te stellen aan de kwaliteit van bouwstoffen die geïmmobiliseerd worden of in beton worden verwerkt.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doelstelling

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het voornemen om de komende jaren een herijking uit te voeren van de regelgeving voor de toepassing van grond, bagger en bouwstoffen. De herijking moet resulteren in een vernieuwing en verbetering van het stelsel. Het hele traject zal enkele jaren beslaan en wordt opgesplitst in twee fasen. Op de korte termijn (fase 1) is een actualisatie van het geldend normeringskader gewenst vanwege in de praktijk geconstateerde knelpunten bij het (her)gebruik van grond, bagger en bouwstoffen. Het doel voor de langere termijn (fase 2) is om tot een solide toekomstbestendig bodemstelsel te komen, waarin bodem en grondwater beschermd zijn, en waar een goede balans tussen beschermen en benutten bereikt wordt. Hiertoe wordt een normeringskader gevraagd waarmee men naast de chemische kwaliteit ook de toestand van ecosysteemdiensten en biodiversiteit kan meewegen in besluitvorming ten behoeve van belangrijke maatschappelijke opgaven.

Daarnaast streeft Nederland naar de vermindering van de hoeveelheid afval en een circulaire economie in 2050. Er is daarom steeds meer aandacht voor nieuwe en duurzame vormen van (her)gebruik van bouwstoffen die in of op de bodem worden toegepast. We onderscheiden primaire bouwstoffen die in de natuur worden gewonnen, zoals zand en grind, en secundaire bouwstoffen, zoals puingranulaat, staalslakken, AEC-bodemassen<sup>1</sup> en diverse immobilisaten<sup>2</sup>. Secundaire bouwstoffen zijn restproducten die ontstaan bij productieprocessen zoals de productie van staal, de verbranding van huishoudelijk afval en bedrijfsafval of het slopen van oude gebouwen. Onder bepaalde voorwaarden kunnen deze worden toegepast als bouwstof van met name infrastructurele werken. Binnen het normeringskader voor (her)gebruik van bouwstoffen wordt geen onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire bouwstoffen. Beide moeten aan hetzelfde normeringskader voldoen.

Het (her)gebruik van bouwstoffen wordt binnen de Omgevingswet geregeld in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal) met een verwijzing naar het Besluit bodemkwaliteit (Bbk, 2022) en de Regeling bodemkwaliteit (Rbk, 2022) geldend vanaf 1 januari 2024. Het Besluit bodemkwaliteit en de Regeling bodemkwaliteit 2022 stellen regels aan de kwaliteitsborging bij bodembeheer, de milieuverklaringen bodemkwaliteit en regels voor het verhandelen van bouwstoffen. De regels voor (her)gebruik van bouwstoffen, grond en baggerspecie staan deels in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal, 2024) en deels in het Besluit bodemkwaliteit. De huidige normen zijn in 2007 vastgesteld.

<sup>1</sup> Verbrandingsassen die over blijven bij de verbranding van huishoudelijk en bedrijfsafval. De installaties worden afvalenergiecentrales (AEC) genoemd.

<sup>2</sup> Immobilisaat is een mengsel van een of meerdere (afval)stoffen (bijvoorbeeld AEC-bodemassen of verontreinigde grond en bagger) met toevoeging van een bindmiddel en overige additieven (bijvoorbeeld cement). Door toevoeging van het bindmiddel worden de verontreinigingen in de verschillende (afval)stoffen fysisch en/of chemisch gebonden (website Bodem+).

Sinds 2007 is de normstelling voor bouwstoffen nagenoeg ongewijzigd. In de tussenliggende periode zijn er in de toepassingspraktijk wel nieuwe soorten bouwstoffen ontwikkeld en zijn productieprocessen aangepast waardoor ook de resulterende bouwstoffen kunnen veranderen. Deels worden bouwstoffen ook op een andere wijze toegepast dan vroeger en krijgt ook het (her)gebruik van bouwstoffen in meerdere levenscycli<sup>3</sup> steeds meer aandacht.

Mede hierdoor is in het recente verleden bij het (her)gebruik van bouwstoffen en hierbij waargenomen milieueffecten, discussie ontstaan over de milieuhygiënische kwaliteit. Voorbeelden zijn het (her)gebruik van thermische gereinigde grond in grootschalige toepassingen, staalslakken of AEC-bodemassen. Het gebruik hiervan leek te voldoen aan de normen maar in de praktijk werden bij of na de toepassing ongewenste (milieu)effecten geconstateerd. Een toenemende zorg is de uitlozing van stoffen en de effecten van deze stoffen op de lokale kwaliteit van grondwater, oppervlaktewater en de gezondheid van mensen en ecologie. Hierdoor is het maatschappelijk draagvlak voor de toepassing van bouwstoffen afgenomen en worden er in toenemende mate vragen gesteld door (lokale) overheden, ontwikkelaars en bedrijven die zich bezighouden met grondverzet. Het is dan ook de vraag of het bestaande normeringskader nog voldoende is toegerust om de verschillende (nieuwe) producten en toepassingsvormen te beoordelen.

## 1.2 Doelstelling en afbakening rapportage

De recente aandacht voor het (her)gebruik van grond en bouwstoffen leidt tot de behoefte om de milieueffecten van (her)gebruik opnieuw in beeld te brengen. Een noodzakelijk onderdeel hiervan is het structureel versterken van kennis over uitlooggedrag (de kennisbasis). Ook moet duidelijk worden of normstelling voor niet-genormeerde stoffen (zoals PFAS en zouten) noodzakelijk is en hoe deze het beste kan worden ingevuld. Daarom is binnen fase 1 van de herijking bodemregelgeving deze evaluatie van het normenkader voor de toepassing van bouwstoffen uitgevoerd en zijn knelpunten bij (her)gebruik in de praktijk gesignaleerd.

Hiermee moet duidelijk worden welke maatregelen mogelijk zijn om de kwaliteit en het (her)gebruik van grond en bouwstoffen beter te kunnen beoordelen. Op termijn kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving.

### 1.2.1 Afbakening

In deze rapportage wordt alleen gekeken naar het (her)gebruik van secundaire bouwstoffen. Dit zijn alle soorten bouwstoffen die gewonnen worden als restproduct van een productieproces of de sloop van eerdere werken. Het toepassen van bouwstoffen in of op de bodem is het voorlopige eindpunt van een keten die voor sommige bouwstoffen al begint bij de productie of verwerking van gebruiksproducten zoals staal. Er wordt hier gesproken van een voorlopig eindpunt, omdat bouwstoffen

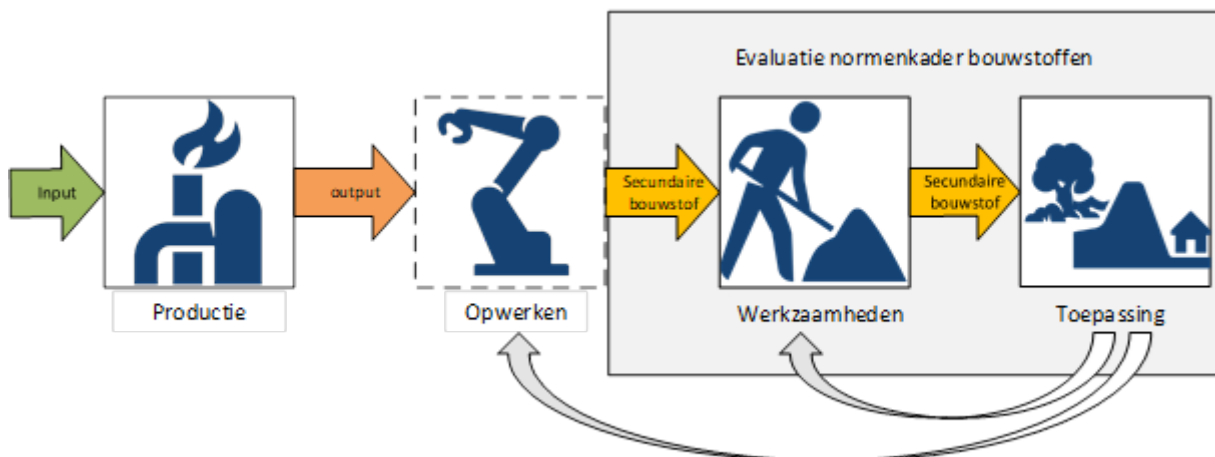
<sup>3</sup> Met meerdere levenscycli wordt bedoeld dat de bouwstof na een eerste gebruik opnieuw wordt (her)gebruikt. Dit kan in dezelfde vorm zijn maar kan ook in een andere toepassing zijn. Bijvoorbeeld AEC- bodemas dat eerst als toeslagmiddel in beton wordt gebruikt, maar na de eerste levensfase van het beton als granulaat in een wegfundering wordt gebruikt.



tijdelijk (beleidsmatig is aangenomen voor maximaal 100 jaar) in een werk kunnen verblijven, maar uiteindelijk terugneembaar moeten zijn. Daarna worden bouwstoffen steeds vaker (deels) opnieuw gebruikt in een tweede of derde leven.

Dit rapport beschrijft de resultaten van een evaluatie van het normeringskader voor de toepassing van bouwstoffen (grijze blok figuur 1.1). Daarnaast zijn knelpunten en verbeterpunten bij het (her)gebruik van bouwstoffen in de praktijk gesignaleerd. Hierbij ligt de nadruk op ervaren ongewenste milieueffecten als gevolg van deze toepassing. Onderdeel van de evaluatie zijn:

- Het normeringskader voor bouwstoffen bestaande uit de maximale uitloog- en samenstellingswaarden;
- De hieraan ten grondslag liggende (uitloog)modellering, wetenschappelijke kennis en beleidsmatige keuzes;
- De toepassing van bouwstoffen in de praktijk;
- Het normeringskader voor de kwaliteit van bouwstoffen middels uitloogproeven (kolom- en diffusieproeven).



*Figuur 1.1 keten van productie, opwerking en toepassing van secundaire bouwstoffen. Het grijze blok geeft de kaders van het huidige onderzoek aan.*

De keten van productie tot toepassing kent verschillende keuzes en werkwijzen die van invloed zijn op de productkwaliteit. Daarmee speelt de productieketen een belangrijke rol bij de uiteindelijke toepassingsmogelijkheden van bouwstoffen. Ook de wijze van toepassing is direct van invloed op eventuele milieueffecten. Denk aan gebruikte hoeveelheden en laagdiktes of de toepassing in de nabijheid van grond- en oppervlaktewater. Daarnaast kan er behoefte zijn om de normen en toepassingsregels te actualiseren op basis van nieuwe wetenschappelijk kennis.

De invloed van het productieproces, de marktwerking, het transport en handhaving van de toepassing evenals de beoordelingsrichtlijnen (BRL's) vallen buiten de kaders van dit onderzoek. Deels worden deze onderwerpen opgepakt binnen een onderzoek dat door Drift en TAuw in opdracht van het ministerie van IenW is uitgevoerd. In deze studie worden de financieel-economische, regulerings- en informatieprikkels geïnventariseerd die van invloed zijn op een drietal secundaire bouwstoffenketens (Van Raak et al. 2023).

### 1.2.2 *Thermisch gereinigde grond*

Bij de toepassing van Thermisch Gereinigde Grond (TGG) zijn maatschappelijke zorgen ontstaan over mogelijke gezondheidsrisico's en schadelijke effecten voor natuur en milieu, in het bijzonder de kwaliteit van de bodem en het (grond)water. In de periode 2018 – 2023 zijn diverse casussen waar TGG is toegepast uitvoerig onderzocht. In 2021 is ook het normeringskader voor het (her)gebruik van TGG geëvalueerd door Brand et al. (2021). Uit de diverse onderzoeken bleek dat de geconstateerde knelpunten in zijn algemeenheid voortkomen uit een onvoldoende kwaliteit van het product, een onzorgvuldige toepassing en het tekortschieten van de voorgeschreven toetsing middels de Emissietoetswaarde (ETW) als voorspeller van mogelijke uitloging van metalen (Brand et al. 2018; 2020; 2021 en 2022 en Römken et al. 2019).

Binnen het bodembeleid wordt TGG geclassificeerd als grond en niet als bouwstof. Daardoor wordt de toepassing getoetst aan een ander normeringskader dan bouwstoffen. Toch kennen met name de uitloogproblematiek en het alkalische karakter (pH van 9-11,5) van TGG veel overeenkomsten met de milieueffecten zoals geconstateerd bij enkele niet-vormgegeven alkalische bouwstoffen zoals staalslakken en bodemassen.

In de evaluatie van het normeringskader voor TGG is onder andere geconstateerd dat de toetsing aan de Emissietoetswaarden uit de Regeling bodemkwaliteit geen zekerheid biedt dat de uitloogemissie voldoet aan de Maximale emissiewaarde voor grond. Hierop wordt de regelgeving aangepast zodat TGG altijd getoetst moet worden aan de Maximale emissiewaarde voor grond (Verzamelbrief bodem en ondergrond, Ministerie van IenW (2023)). De uitloging van metalen uit TGG wordt in de toekomst daadwerkelijk gemeten middels uitloogproeven. Hiermee wordt de uitloogproblematiek als gevolg van de hoge pH en met name de verandering van uitloging door een pH verandering na toepassing in de praktijk nog niet ondervangen.

Daarom is in 2021 aanbevolen om een aangescherpt normeringskader te ontwikkelen waarbij rekening kan worden gehouden met de afwijkende eigenschappen van TGG. In Brand et al. (2021) is een eerste aanzet gegeven middels een toepassingsladder met aandacht voor de fysische en biologische kwaliteit van de toe te passen TGG in relatie tot de kwaliteit en functie van de omliggende (ontvangende) bodem. Vanwege de fysische-chemische vergelijkbaarheid van TGG met enkele niet-vormgegeven alkalische bouwstoffen en de hieruit voortvloeiende problematiek van uitloging, wordt de inhoudelijke uitwerking van TGG in samenhang met bouwstoffen binnen deze rapportage opgepakt.

## 1.3 **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 is een reconstructie gemaakt van de totstandkoming van normeringskader voor het (her)gebruik van bouwstoffen. Als aanvulling hierop wordt in hoofdstuk 3 de onderliggende uitloogmodellering besproken. Hierbij is specifiek aandacht voor de invloed van de beleidsmatige en inhoudelijke invoerparameters op de berekende kritische emissiewaarden. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de in de

praktijk ervaren knelpunten en verbeterpunten bij het (her)gebruik van bouwstoffen. Daarnaast worden onderzoeksrichtingen gegeven die kunnen bijdragen tot een oplossing van de gesignaleerde knelpunten. In hoofdstuk 5 wordt afgesloten met de voornaamste conclusies en aanbevelingen.



## 2 Normeringskader voor (her)gebruik van bouwstoffen

De regels voor (her)gebruik van bouwstoffen, grond en baggerspecie staan deels in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal, 2024) en deels in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk, 2022). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen materiaal dat geclassificeerd is als grond en materiaal dat geclassificeerd is als een bouwstof. Afhankelijk van de classificatie van het materiaal gelden andere milieukwaliteitsnormen.

De volgende definities worden voor grond en bouwstoffen gehanteerd:

*Grond: "Vast materiaal dat bestaat uit minerale delen met een maximale korrelgrootte van 2 mm en organische stof in een verhouding en met een structuur zoals deze in de bodem van nature wordt aangetroffen. Alsmede van nature in de bodem voorkomende schelpen en grind met een korrelgrootte van 2 tot 63 mm, met uitzondering van baggerspecie"* (Bbk, 2022).

*Bouwstof: "Materiaal dat is bestemd om te worden toegepast, waarin de totaalgehalten aan silicium, calcium en aluminium tezamen meer dan 10 gewichtsprocent van dat materiaal bedragen, met uitzondering van vlakglas, metallisch aluminium, grond of baggerspecie."* (Bbk, 2022).

Bouwstoffen werden tot einde 2023 nog opgesplitst naar drie typen:

- Niet-vormgegeven bouwstoffen, bijvoorbeeld puingranulaat of AEC-bodemassen;
- Vormgegeven bouwstoffen met een duurzame vormvastheid en een minimaal volume per kleinste eenheid van 50 cm<sup>3</sup>, bijvoorbeeld betonblokken of bakstenen;
- IBC-bouwstoffen die vanwege de mate van emissie alleen met isolatie-, beheers-, en controlemaatregelen mochten worden toegepast, voornamelijk ongewassen AEC-bodemassen.

Met het in werking treden van de Omgevingswet wordt toepassing van bouwstoffen onder IBC-maatregelen afgeschaft. De voorheen IBC-bouwstoffen dienen via een kwaliteitsverbetering van het uitgangsmateriaal te voldoen aan de eisen voor niet-vormgegeven bouwstoffen.

Bouwstoffen zijn vrij toepasbaar in of op de bodem als deze voldoen aan de maximale emissie- en samenstellingswaarden voor bouwstoffen zoals opgenomen in tabellen 1 en 2 van bijlage A van het Regeling bodemkwaliteit 2022. De maximale emissiewaarden voor bouwstoffen (opgedeeld naar vormgegeven en niet-vormgegeven bouwstof) gelden voor anorganische stoffen zoals metalen en zouten. De samenstellingswaarden gelden voor organische stoffen zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

### 2.1 Zorgplicht

Voor de toepassing van grond, baggerspecie en bouwstoffen wordt in wetgeving een zogenoemde 'specifieke zorgplicht' geformuleerd. Deze

specifieke zorgplicht is in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal, 2024 artikel 2.11) opgenomen en is van toepassing op alle milieubelastende activiteiten (en de lozingsactiviteiten die daarbij worden verricht). Hieronder vallen ook het opslaan, graven, saneren en toepassen van grond en bouwstoffen.

*"Degene die een milieubelastende activiteit, of een lozingsactiviteit op een oppervlaktewaterlichaam of een lozingsactiviteit op een zuiveringstechnisch werk verricht en weet of redelijkerwijs kan vermoeden dat die activiteit nadelige gevolgen kan hebben voor de belangen, bedoeld in artikel 2.2, is verplicht:*

1. *Alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van diegene kunnen worden gevraagd om die gevolgen te voorkomen.*
2. *Voor zover die gevolgen niet kunnen worden voorkomen: die gevolgen zoveel mogelijk te beperken of ongedaan te maken.*
3. *Als die gevolgen onvoldoende kunnen worden beperkt: die activiteit achterwege te laten voor zover dat redelijkerwijs van diegene kan worden gevraagd (Bal 2024, artikel 2.11 eerste lid).*

Als er toch ongewenste milieueffecten ontstaan door een calamiteit of onzorgvuldig gebruik, moeten de gevolgen worden beperkt en de verontreiniging zo veel mogelijk ongedaan worden gemaakt.

De zorgplicht is dus tweeledig:

- Men dient alle maatregelen te nemen om verontreiniging van de bodem te voorkomen;
- Indien er toch sprake is van een verontreiniging, dient men zorg te dragen voor herstel (de herstelplicht).

Aan de zorgplicht kan als volgt invulling worden gegeven:

- Inzicht geven in de verontreinigingssituatie, bron en emissie;
- De risico's voor mens en milieu en ten gevolge van verspreiding in grondwater in kaart brengen;
- Indien nodig: aanpak voor herstel formuleren en uitvoeren.

## **2.2 Maximale emissiewaarden bouwstoffen (anorganische stoffen)**

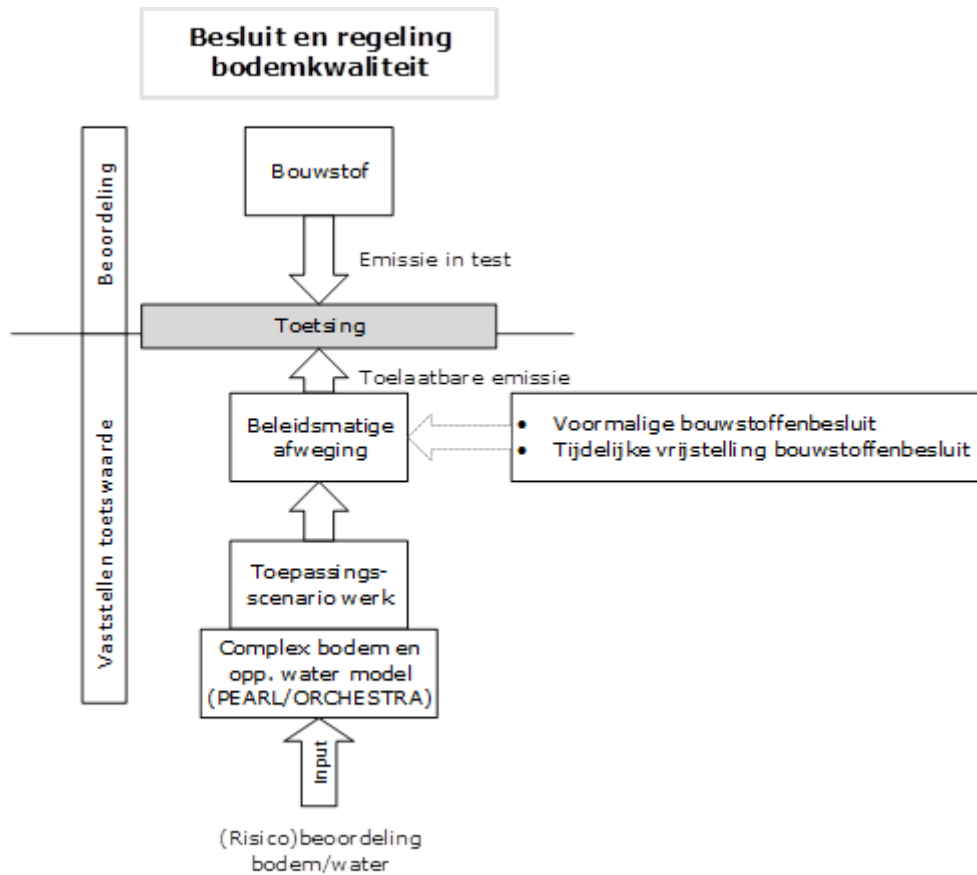
De maximale emissiewaarden voor bouwstoffen zijn zogenoemde uitloognormen. De maximale emissiewaarden voor bouwstoffen gelden voor anorganische stoffen zoals metalen en zouten en geven een toegestane maximale emissie die uit een bouwstof mag komen zonder de vastgestelde milieukwaliteitscriteria in bodem en grondwater te overschrijden. Afhankelijk van het bepalende uitloogmechanisme worden de maximale emissiewaarden voor bouwstoffen uitgedrukt in mg/kg bij uitloging middels oplossing (voor niet-vormgegeven bouwstoffen) of mg/m<sup>2</sup> bij uitloging middels diffusie (voor vormgegeven bouwstoffen). De bouwstoffen worden hieraan getoetst middels voorgeschreven uitloogproeven waarmee de emissie uit de bouwstof wordt bepaald (zie figuur 2.1 en onderstaand kader). In paragraaf 2.4 wordt het principe en doel van de uitloogproeven nader toegelicht en in Dijkstra (2024) is een uitgebreide beschrijving gegeven.

### Kader: kolomproef of diffusieproef

De emissie uit een bouwstof wordt bepaald met een kolom- of een diffusieproef. Welke proef wordt uitgevoerd hangt af van het type bouwstof. Bij vormgegeven bouwstoffen (en monolitische bouwstoffen of bouwstoffen met een grovere korrelgrootte) is diffusie limiterend en wordt de uitloging middels een diffusieproef bepaald. Deze wordt beschreven in de NEN7375. Bij niet-vormgegeven bouwstoffen wordt de uitloging bepaald door het oplossen van stoffen in het percolatiewater. De uitloging wordt dan middels een kolomproef uitgevoerd volgens de NEN7373 of de vereenvoudigde kolomproef volgens de NEN7383. In Dijkstra (2024) is het verschil tussen diffusie- en percolatiegecontroleerde uitloging simpel weergegeven middels onderstaande figuur.



Figuur kader: het onderscheid tussen percolatie gecontroleerde uitloging (links) en diffusie gecontroleerde uitloging (rechts) (respectievelijk dominant bij niet-vormgegeven en vormgegeven bouwstoffen) is te vergelijken met het zetten van koffie of thee (overgenomen uit Dijkstra, (2024)).



Figuur 2.1 schematische weergave van de oorsprong van de maximale emissiewaarden en het beoordelen van bouwstoffen hieraan (overgenomen uit Verschoor et al. (2006)).

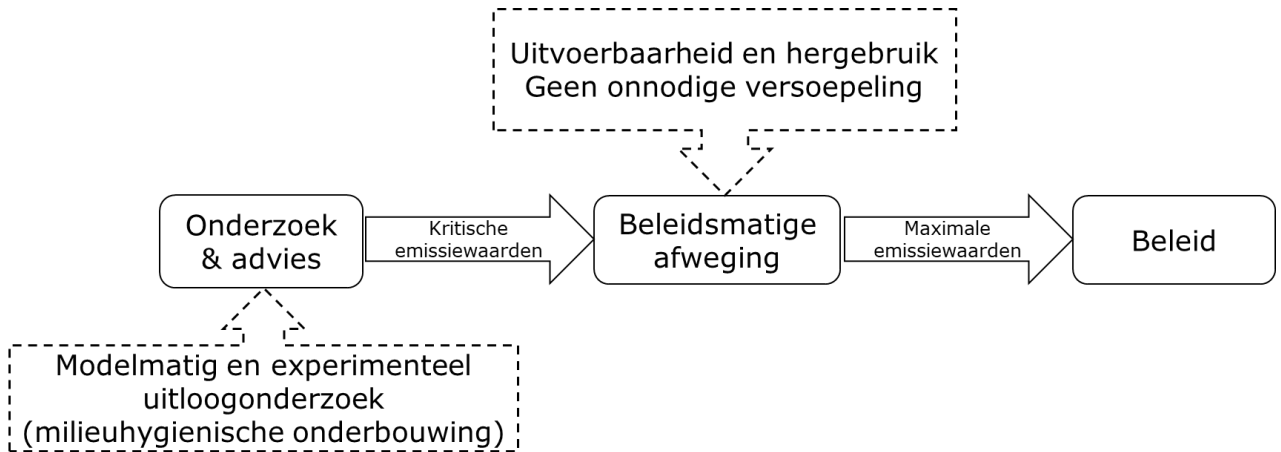
### 2.2.1 Totstandkoming en oorsprong

In 2006 zijn op basis van wetenschappelijk onderzoek en uitlogmodellering voorstellen voor kritische emissiewaarden gedaan. Dit onderzoek is beschreven in Verschoor et al. (2006). Beleidsmatig is hierover nog een afweging gemaakt alvorens de voorgestelde kritische emissiewaarden als maximale emissiewaarden voor bouwstoffen in beleid vast te stellen. Bij een beleidsmatige afweging wordt een afweging gemaakt tussen milieubescherming en andere belangen (zoals marktwerking en stimulering van een circulaire economie). Zo moet er een balans worden gevonden tussen nuttig en duurzaam (her)gebruik zonder dat er ongewenste milieueffecten ontstaan. Als gevolg van deze afwegingen zijn de voorgestelde kritische emissiewaarden overgenomen uit Verschoor et al. (2006), of is er sprake van beleidsmatige keuze om de normwaarden te verruimen of aan te scherpen. In figuur 2.2 is schematisch de totstandkoming van de maximale emissiewaarden voor bouwstoffen weergegeven.

Welke afwegingen ten grondslag lagen aan een beleidsmatig besluit om de kritische emissiewaarden te verruimen of aan te scherpen is wegens het ontbreken van documentatie hierover niet meer te achterhalen. Wel is bekend op welke waarden de maximale emissiewaarden uiteindelijk gebaseerd zijn. Daar waar beleidsmatig is afgeweken van de



voorgestelde kritische emissiewaarden, is veelal teruggevallen op normwaarden uit andere wet- en regelgeving zoals het voormalige bouwstoffenbesluit. In de tabellen B2.1 en B2.2 van bijlage 2 zijn de maximale emissiewaarden voor bouwstoffen beschreven voor respectievelijk de niet-vormgegeven en niet vormgegeven bouwstoffen. Tevens is aangegeven welke oorsprong de emissiewaarden hebben.



Figuur 2.2 globaal proces van totstandkoming van de normen voor bouwstoffen.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de voorgestelde kritische emissiewaarde voor:

Niet-vormgegeven bouwstoffen

- Zijn overgenomen voor chroom, kobalt, nikkel en selenium;
- Beleidsmatig zijn aangescherpt voor cadmium, koper, kwik, lood molybdeen, tin, zink en bromide;
- Beleidsmatig zijn verruimd voor arseen, antimoon, barium, vanadium, chloride, fluoride en sulfaat.

Vormgegeven bouwstoffen

- Zijn overgenomen voor arseen, antimoon, chroom, nikkel, vanadium, chloride, fluoride en sulfaat;
- Beleidsmatig zijn aangescherpt voor cadmium, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, selenium, tin, zink en bromide;
- Beleidsmatig zijn verruimd voor barium.

### 2.2.2 Voormalig bouwstoffenbesluit

Voor een aantal metalen zijn de maximale emissiewaarden overgenomen uit het voormalige bouwstoffenbesluit (zie ook tabellen B2.1 en B2.2 van bijlage 2). Het bouwstoffenbesluit was voor het (her)gebruik van grond en bouwstoffen de voorganger van het Besluit bodemkwaliteit. Het bouwstoffenbesluit was geldig van 1995 tot en met juli 2008. De doelstelling van het bouwstoffenbesluit was de vaststelling van de milieueisen waardoor steenachtige restproducten van de industrie konden worden toegepast als secundaire bouwstoffen. Daarnaast was de doelstelling om primaire steenachtige bouwstoffen zoals zand, grind, mergel, kalk, bakstenen, et cetera te vervangen door secundaire bouwstoffen. Het belangrijkste aandachtspunt hierbij was het gehalte en de mate van uitloging van metalen en soms ook van organische stoffen, met het oog op risico's voor mens en ecosystemen.

Het uitgangspunt van de normering was dat een langzame en geringe toename van metalen door uitloging naar de bodem en het ecosysteem daarin kon worden geaccepteerd. Over lange perioden kunnen ecosystemen zich langzaam (binnen bepaalde grenzen) zonder veel schade aanpassen. Het aangepaste ecosysteem is echter niet altijd identiek aan het oorspronkelijke ecosysteem. Dit is het principe van de marginale bodembelasting. Een marginale bodembelasting maakte het stellen van grenzen aan uitloogemissies bij het (her)gebruik van bouwstoffen mogelijk. De marginale bodembelasting werd gedefinieerd als:

*"Een belasting ten gevolge van uitloging uit een bouw materiaal die leidt tot toename van een stof in de vaste fase van de bodem van 1% ten opzichte van de streefwaarde bodemkwaliteit in 100 jaar gemiddeld over de eerste meter van een als homogeen te beschouwen bodem".*

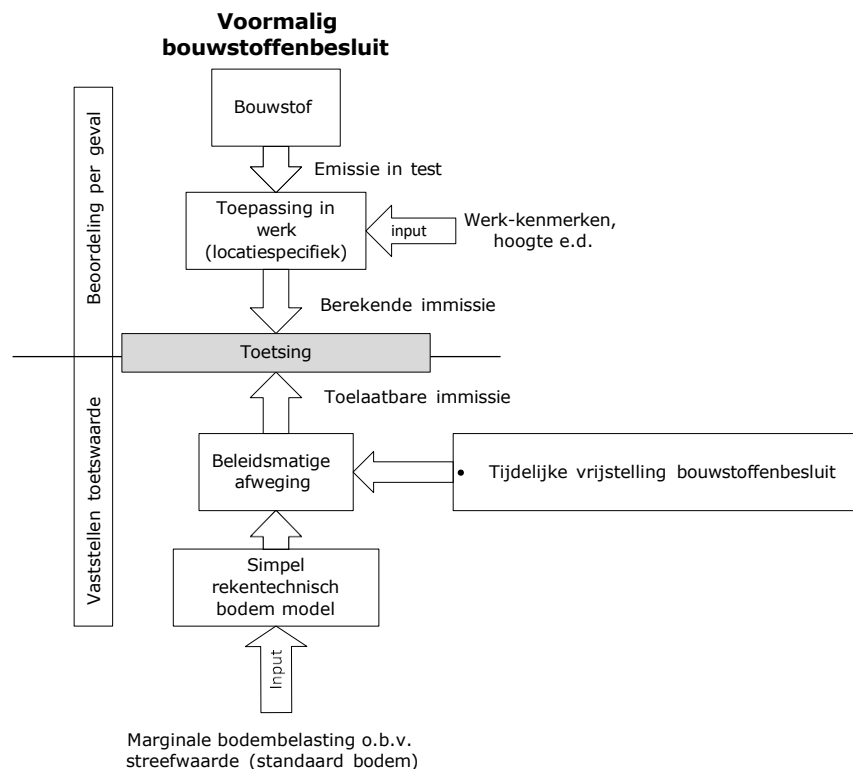
Het principe van marginale bodembelasting berust dus op een vrachtbenadering welke is gekoppeld aan een bepaalde diepte waarover het effect plaats vindt. Hiermee is een maximale emissie door uitloging naar de bodem gedefinieerd. In het bouwstoffenbesluit werd dit vormgegeven middels de *immissiewaarden* en samenstellingswaarden (SW) uit bijlage 2 van het normeringskader. Sinds de introductie van het besluit bodemkwaliteit in 2006 zijn de normen uitgedrukt als *emissiewaarden*. Zie het onderstaande kader voor een toelichting op de verschillen tussen immissie en emissie.

De hierboven gehanteerde definitie van marginale bodembelasting heeft geen relatie met risico's. De streefwaarde bodemkwaliteit vertegenwoordigt namelijk de grens van belaste en onbelaste grond en is een beleidsmatig vastgestelde waarde en geen risico-onderbouwde effectgrens. In Brand et al. (2021) wordt een nadere toelichting gegeven op het bouwstoffenbesluit en het principe van marginale bodembelasting binnen het kader van de evaluatie van het normeringskader voor TGG. Deze toelichting kan als aanvulling op bovenstaande tekst worden gezien.

#### **Kader: immissie en emissie**

In het voormalige bouwstoffenbesluit werden *immissienormen* gehanteerd voor de uitloging van metalen. Immissie wordt gedefinieerd als de massa verontreinigende stof die uitloopt uit een bouwstof en per vierkante meter grond infiltreert gedurende 100 jaar ( $\text{mg}/\text{m}^2$  per 100 jaar). Bij toepassing van een bouwstof moesten de resultaten van een uitloogproef (uitgedrukt als emissie) middels een scenario omgerekend worden tot een immissie voordat er getoetst kon worden aan de immissiewaarden. Om deze werkwijze eenvoudiger te maken wordt nu gebruik gemaakt van *emissiewaarden*. Om deze vereenvoudiging mogelijk te maken is één generiek scenario vastgesteld met een vaste toepassingshoogte en dichtheid van de bouwstof. De emissiewaarde is uitgedrukt als de hoeveelheid van een anorganische stof die vrijkomt (mg per kg bouwstof). Daarmee kan de emissiewaarde direct vergeleken worden met de uitkomsten van een uitloogproef in het laboratorium.

Het principe van de marginale bodembelasting is bij inwerkingtreding van het besluit bodemkwaliteit in 2007 verlaten en vervangen door de tegenwoordig nog steeds gebruikte risicobenadering welke ook is toegepast in de uitloogmodellering voor bouwstoffen. Figuur 2.3 geeft een schematische weergave van de vaststelling van immissiewaarden en het beoordelen van bouwstoffen hieraan volgens het voormalige bouwstoffenbesluit.



Figuur 2.3 schematische weergave van de vaststelling van immissiewaarden en het beoordelen van bouwstoffen hieraan volgens het voormalige bouwstoffenbesluit (overgenomen uit Verschoor et al. 2006).

### 2.2.3

#### *Tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffenbesluit (TVR, 2004)*

Voor een aantal metalen (zie ook tabellen B2.1 en B2.2 van bijlage 2) zijn de maximale emissiewaarden overgenomen uit het voormalige tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffenbesluit. Uit een evaluatie van het bouwstoffenbesluit bleek dat deze als streng, gecompliceerd en gedetailleerd werd ervaren door de diverse vrijstellingen, een uitgebreide uitvoeringsregeling en gedoogbrieven. Dit was aanleiding om het bouwstoffenbesluit te herzien. Vanwege de tijd die hiervoor nodig was, werd de tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffenbesluit (TVR, 2004) opgesteld om de benodigde tijd te overbruggen en op de korte termijn de onzekerheid, en als gevolg daarvan belemmeringen van het (her)gebruik van de betrokken bouwstoffen, tegen te gaan. Uitgangspunt hierbij was dat de bodemkwaliteit niet mocht verslechteren (TCB, 2003). Ook de kwaliteit van de bouwstoffen mocht niet verminderen en er mochten geen structureel nieuwe bouwstoffen worden toegepast die een grotere bodembelasting gaven. Daarnaast moesten de producenten van bouwstoffen zich inspannen de oorzaken

van de overschrijdingen te traceren en verdere kwaliteitsverbetering voort te zetten of in gang te zetten, en hierbij steeds uitgaan van de beste stand der techniek (TVR, 2004).

De tijdelijke vrijstellingsregeling gold van 2004 tot begin 2006 en regelde voor een aantal stoffen en bouwmaterialen een vrijstelling aan het toetsen van immissiewaarden voor metalen en samenstellingswaarden voor organische stoffen. De vrijstellingsregeling was niet van toepassing op bouwstoffen die in of op de bodem van oppervlaktewater werden toegepast. Met name de metalen en zouten antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, bromide, fluoride en sulfaat gaven problemen bij de reguliere beoordeling van de uitloging. Voor deze stoffen werd de immissiewaarde uit het voormalige bouwstoffenbesluit met een factor 3 verhoogd ongeacht het type bouwstof. Voor enkele specifieke bouwstoffen (zoals teerhoudend asfalt granulaat of sorteerzeefzand) en uitlogende metalen (zoals antimoon en koper) werd een vrijstelling gegeven. Deze vrijstelling is per stof en bouwstof vastgelegd in de regeling. Veelal werd vrijstelling verkregen als de immissie van een bouwstof niet hoger was dan 2 of 3 keer de toen geldende immissiewaarde. Voor een volledig overzicht van de aanpassingen wordt verwezen naar de tabel in de toelichting behorende bij de tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffen 2004 (TVR, 2004).

### **2.3 Samenstellingswaarden (organische stoffen)**

Voor organische stoffen bestond rond de inwerkingtreding van het besluit bodemkwaliteit nog geen consensus over de bestaande uitloogproeven. Daarom is ervoor gekozen om de organische stoffen op basis van samenstelling in plaats van uitloging te beoordelen. De samenstellingseisen van organische stoffen in bouwstoffen zoals opgenomen in het besluit bodemkwaliteit zijn grotendeels gelijk aan de samenstellingswaarden zoals die in het voormalige bouwstoffenbesluit gebruikt werden.

In het bouwstoffenbesluit zijn de grenswaarden van de samenstelling organische stoffen te vinden in bijlage 1 (schone grond) en bijlage 2 (bouwstoffen en grond - niet zijnde schone grond). De samenstellingswaarden van schone grond kwamen overeen met de destijds vastgestelde streefwaarden. De samenstellingswaarden van - niet schone grond - kwamen grotendeels overeen met de 1e tranche interventiewaarden afgeleid begin jaren negentig en gerapporteerd in Van den Berg, (1995).

Slechts voor een selectie van organische stoffen in bouwstoffen waren samenstellingswaarden vastgesteld. Dit waren de aromaten benzeen, ethylbenzeen, toluen en (de som van drie) xylenen afgekort als BTEX, fenol, de som van 10 VROM-PAK en hun individuele PAK-componenten, extraheerbaar organisch gebonden chloor (EOCL), de som van 7 indicator polychloorbifenylen (PCB), som van organochloor bestrijdingsmiddelen (OCB), som van niet chloorhoudende bestrijdingsmiddelen en minerale olie.

In tabel 2 van bijlage A in de regeling bodemkwaliteit 2022, staan de vigerende maximale samenstellingswaarden voor organische stoffen in

bouwstoffen. De samenstellingswaarden komen grotendeels overeen met de maximale waarden bodemfunctieklassen industrie.

Wijzigingen van de samenstellingswaarden bij de overgang van het voormalige Bouwstoffenbesluit naar de Regeling bodemkwaliteit zijn:

- De aanscherping van de maximale samenstellingswaarde van benzeen van 1,25 naar 1,00 mg/kg ds;
- Het ontbreken van de maximale samenstellingswaarden voor EOCL, de som van OCB en de som van niet gechloreerde bestrijdingsmiddelen;
- De toevoeging van asbest in tabel 2 van bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit;
- De benoeming van de maximale samenstellingswaarden van de individuele PAK componenten en tenslotte;
- De aanscherping van de somwaarde van de 10 VROM-PAK van 75 naar 50 mg/kg ds. Alleen voor bitumenproducten en asfaltproducten blijft de maximale samenstellingswaarde 75 mg/kg ds.

Net als bij de beleidsmatige afweging rondom de maximale emissiewaarden is wegens het ontbreken van documentatie niet meer te achterhalen waarom en op basis waarvan de samenstellingswaarden zijn aangepast.

## 2.4 Toetsing van uitloging

### 2.4.1 *Standaard uitloogproeven*

In Dijkstra (2024) is uitleg gegeven over het doel en de werking van uitloogproeven zoals deze zijn voorgeschreven voor de toetsing van bouwstoffen. In deze paragraaf worden de uitloogproeven op hoofdlijnen besproken uitgaande van de notitie van Dijkstra (2024).

In het verleden is onderzoek uitgevoerd door onder meer kennisinstellingen zoals ECN (nu onderdeel TNO) en RIVM naar de ontwikkeling, validatie en standaardisatie van uitloogtesten. Dit heeft geresulteerd in standaard uitloogproeven zoals de standaard kolomproef (NEN7373), de vereenvoudigde kolomproef (NEN7383) en de diffusieproef (NEN 7375) ter beoordeling van de uitloging van milieuschadelijke stoffen uit bouwstoffen. De uitloogproeven worden in het normeringskader verplicht voorgeschreven voor respectievelijk korrelvormige ofwel niet-vormgegeven bouwstoffen en monolithische of vormgegeven bouwstoffen. Welke proef wordt voorgeschreven hangt af van het dominante uitloogmechanisme van een bouwstof. Dit kan gebaseerd op oplossing gestuurde uitloging of diffusie gestuurde uitloging zijn (zie ook het kader kolomproef of diffusieproef in paragraaf 2.2 voor een toelichting). De proeven worden veelal uitgevoerd op zogenoemd 'vers product'. Dat wil zeggen bouwstoffen die net geproduceerd zijn en nog niet op natuurlijke wijze zijn verouderd omdat ze bijvoorbeeld in depot of in het veld hebben gelegen. Sommige bouwstoffen ondergaan wel een nabehandeling om kunstmatig te verouderen (zoals AEC-bodemmassen en staalslakken) maar dat is niet altijd gebruikelijk. De resultaten van de proeven worden vervolgens vergeleken met maximale emissiewaarden om te beoordelen of de bouwstoffen voldoen aan de gestelde norm.

De uitloogproeven zijn geen directe simulatie van het (her)gebruik van bouwstoffen in de praktijk. Daarvoor is de variatie van omstandigheden die uitloging beïnvloeden in de praktijk te groot, zoals de wijze van toepassing (toepassingsdikte, afgedekt of niet, op land of in oppervlaktewater) en het bodemtype. Zouden de uitloogtesten voor elk product in een 'representatief' praktijkscenario moeten worden uitgevoerd, dan leidt dat tot een groot aantal verschillende testen. Hierdoor zouden de resultaten onderling niet vergelijkbaar zijn en het maakt regelgeving ingewikkeld. In Nederland en veel andere landen is daarom een generieke systematiek ontwikkeld, gebaseerd op de belangrijkste uitloogmechanismen. Wanneer die mechanismen bekend zijn en de belangrijkste factoren die dat mechanisme beïnvloeden, kan een algemeen geldend normeringskader worden opgesteld die beschermend is voor een veelheid van locatiespecifieke omstandigheden.

Het aantal factoren dat uitloging beïnvloedt, is overzichtelijk, en bestaat vooral uit: verhouding<sup>4</sup> tussen de vaste en vloeibare fase, tijd (diffusie), en de pH (die de onderliggende chemie beïnvloedt). Dit maakt dat vergaande standaardisatie en harmonisatie van uitloogproeven mogelijk is. De in Nederland gebruikte methoden hebben dan ook model gestaan voor de internationaal (Europees en mondiaal) gestandaardiseerde en geaccepteerde uitloogtesten voor een brede range aan materialen (bouwproducten, afval, grond en bagger).

In het algemeen zijn er drie soorten uitloogproeven te onderscheiden:

- Karakteriseringsproeven: zijn het meest uitgebreid en gericht op 'inzicht' in uitloogprocessen en de mogelijkheid om een relatie te leggen tussen praktijkomstandigheden;
- 'Compliance' proeven: zijn van de karakteriseringsproef afgeleid, en zijn gericht op het (binnen korte tijd) verkrijgen van een eindresultaat om te vergelijken met bijvoorbeeld een maximale emissiewaarde;
- 'Verificatie' proeven: zijn nog eenvoudiger en kunnen indicatief worden gebruikt.

De in Nederland voorgeschreven kolomproef (NEN7373) en diffusie proef (NEN7375) zijn karakteriseringsproeven. In de toepassingspraktijk van bouwstoffen worden de proeven vrijwel alleen gebruikt voor het keuren van bouwstoffen door de gemeten eindconcentratie te toetsen aan normstelling. Op die manier worden karakteriseringsproeven dus eigenlijk als een compliance proef gebruikt. De eveneens voorgeschreven vereenvoudigde kolomproef (NEN7383) geeft hetzelfde eindresultaat als de NEN7373 maar dan met minder meetfracties en kan worden geclassificeerd als een compliance proef.

De in Nederland voorgeschreven uitloogproeven zijn ontwikkeld om de uitloging onder gestandaardiseerde omstandigheden te bepalen. Doordat de proeven zijn gestandaardiseerd, is het resultaat reproduceerbaar. De proeven zijn zo ontworpen, dat kleine

<sup>4</sup> Ook wel L/S ratio en staat voor liquid / solid ratio en beschrijft de verhouding tussen de hoeveelheid water dat door een vast materiaal stroomt. In een uitloogproef is deze ratio gestandaardiseerd. Er zijn meerdere standaarden mogelijk maar voor bouwstoffen wordt L/S10 aangehouden. Bij een L/S 10 stroomt er 10 liter water door 1 kg vast materiaal.

afwijkingen van de uitvoeringsomstandigheden weinig effect hebben op de uitkomst, om zo de reproduceerbaarheid te vergroten. Bovendien zijn de proeven ontwikkeld om toepasbaar te zijn voor een zeer brede range van bouwstoffen. Dat heeft als voordeel dat de uitloging van stoffen uit bouwstoffen onderling kunnen worden vergeleken. Ondanks de gestandaardiseerde testomstandigheden geven de proeven, mits volledig uitgevoerd, een redelijk goede inschatting van wat men in de praktijk kan verwachten aan uitloging.

#### 2.4.2 *pH-afhankelijkheidsproef*

De pH is de belangrijkste (chemische) factor die de uitloging van stoffen uit bouwstoffen beïnvloedt. Door een verandering in pH kan de uitloging van verschillende stoffen toe of juist afnemen. Het pH verouderingseffect (zie ook hoofdstuk 4 voor een ander toelichting) dat op den duur in de praktijk kan plaatsvinden wordt in de gestandaardiseerde kolom- en diffusieproeven niet meegenomen. Deze proeven worden voor één vaste pH uitgevoerd.

De in de praktijk geconstateerde uitloging kan in veel gevallen verklaard worden door naar de pH-afhankelijkheid van de uitloging te kijken. Middels een pH-afhankelijkheidsproef (eveneens een karakteriseringsproef) kan het effect van de pH op de uitloging van metalen worden onderzocht.

Deze proef is niet in de Nederlandse wet- en regelgeving opgenomen, maar is wetenschappelijk en internationaal volledig geaccepteerd. De proef bestaat uit een serie schudproeven die worden uitgevoerd bij een kunstmatige aangehouden constante pH waarde, doorgaans tussen pH 2 en 12. Na 48 uur worden de suspensies gefiltreerd en de uitgelogde hoeveelheden gemeten.

Het pH-afhankelijke uitlooggedrag wordt veroorzaakt door chemische processen zoals oplos- en neerslagreacties en adsorptie. Deze processen spelen in alle bouwstoffen, maar de intensiteit waarmee ze voorkomen, verschilt per stof en per bouwstof. De pH-afhankelijkheidsproef kan een belangrijke proef zijn indien men een verschil tussen de waargenomen uitloging in de praktijk en laboratoriumproeven wil begrijpen. Dit is met name relevant in relatie tot de in Hoofdstuk 4 gesignaleerde knelpunten rond het pH verouderingseffect. Hoe de pH-afhankelijkheidsproef een rol kan spelen binnen het vraagstuk van bouwstoffen is eveneens beschreven in Dijkstra (2024).





## 3 Evaluatie parameters uitloogmodellering

### 3.1 Inleiding

Verschoor et al. (2006) hebben modelmatig kritische emissiewaarden voor bouwstoffen afgeleid als referentiekader voor de wettelijke geldende maximale emissiewaarden. Het is daarom belangrijk de modelinput in de vorm van invoerparameters en de keuzes binnen deze modellering te evalueren. Dit is gedaan door een gevoeligheidsanalyse op de parameters uit te voeren en daarmee het effect ervan op de kritische emissiewaarden inzichtelijk te maken. Daarnaast zijn ook de keuzes rondom de standaardisatie van parameters onderzocht.

In 2006 zijn de kritische emissiewaarden berekend met de modellen PEARL en ORCHESTRA. Met deze modellen is het mogelijk het transport van uitloegende stoffen in de ondergrond te berekenen nadat deze zijn vrijkomen uit bouwstoffen. Sinds 2006 zijn er al een aantal gevoeligheidsanalyses gedaan. Zo hebben Verschoor et al. (2006) met PEARL een aantal parameters onderzocht, hebben Comans et al. (2014) een uitgebreide gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met ORCHESTRA en hebben Negash en Verschoor, (2022) de uitloogmodellering volgens PEARL deels gereconstrueerd met het model HYDRUS-1D en daarbij een aantal parameters onderzocht op gevoeligheid. Deze rapportage is een aanvulling op de voorgaande onderzoeken. In deze analyse is onderzocht in hoeverre de invloed van de gemaakte keuzes in modelleringsparameters een verklaring of oplossing kunnen zijn voor ervaren knelpunten in de praktijk.

Door de Technische Commissie Bodem (TCB) is in 2006 al geconstateerd dat de keuze tussen de modellen PEARL en ORCHESTRA van minder doorslaggevende invloed is op de berekende kritische emissiewaarden. De hiervoor gegeven verklaring is dat de kwaliteit van diverse invoerparameters van grotere invloed is (TCB, 2006). Daarom ligt in deze gevoeligheidsanalyse de focus op het effect van de parameters en niet op de gehanteerde onderliggende modellen. In deze rapportage worden de parameters geëvalueerd aan de hand van HYDRUS-1D (Šimůnek et al. 2008), zoals ook in Negash en Verschoor, (2022) is gedaan. Daarnaast is uitgegaan van het scenario voor niet-vormgegeven bouwstoffen. In tabel B2.1 en B2.2 van bijlage 2 van dit rapport is een overzicht gegeven van de kritische emissiewaarden berekend met PEARL en ORCHESTRA. Voor een uitgebreide beschrijving van de modellering wordt naar de hierboven genoemde rapportages verwezen.

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse. Een gedetailleerde beschrijving van de bevindingen en de achterliggende berekeningen uit dit hoofdstuk worden apart gerapporteerd in Van Genuchten en Vis, (in prep).

### 3.2 Standaardscenario en parameters

Voor het toepassen van een uitloogmodel is informatie nodig over het gedrag van stoffen uit bouwstoffen, het bodemprofiel en het klimaat. Bouwstoffen vertonen een grote variatie aan eigenschappen, en in de

loop der jaren zijn nieuwe materialen met deels andere eigenschappen ontwikkeld. Het tot 2007 geldende bouwstoffenbesluit hield met veel van deze verschillende kenmerken rekening en was daarom complexer (zie ook paragraaf 2.2.2). Een wens, bij de intrede van het besluit bodemkwaliteit, was om een vereenvoudiging door te voeren door de kritische emissiewaarden te baseren op een consistente set normwaarden voor de uitloging van stoffen uit bouwstoffen. Ten grondslag aan de berekening van de kritische emissiewaarden ligt daarom een scenario dat gestandaardiseerd is ten behoeve van de gewenste versimpeling van het normeringskader.

Uit de verschillende scenario's die in 2006 zijn berekend door Verschoor et al. is één standaardscenario geselecteerd door het ministerie van VROM (voormalig Ministerie Infrastructuur en Waterstaat). Dit scenario wordt voor de beoordeling van alle niet-vormgegeven bouwstoffen en toepassingen in Nederland gebruikt. De parameters van dit standaardscenario voor niet-vormgegeven bouwstoffen zijn:

- Voor de *bouwstof* is uitgegaan van niet-vormgegeven bouwstoffen met een vaste dichtheid van  $1.550 \text{ kg m}^{-3}$ , gebaseerd op het gemiddelde van een reeks niet-vormgegeven bouwstoffen. Daarbij wordt uitgegaan van een standaard uitlogingscoëfficiënt ( $\kappa$ ) per stof en een vaste toepassingshoogte van 0,5 m.
- Voor de *bodem* is uitgegaan van een standaard bodemprofiel verkregen uit PEARL. Het gemodelleerde bodemprofiel heeft een diepte van 2 m met een grondwaterspiegel op een diepte van 1 m-mv. Voor de bindingseigenschappen is uitgegaan van de data uit Verschoor et al. (2006).
- Voor het *klimaat* is aangenomen dat de neerslag overeenkomt met de neerslagoverschot van circa 300 mm/jaar. Dit klimaat wordt herhaald om de bepaalde beoordelingsperiode te omvatten.
- Voor de *overige parameters* binnen het standaard scenario is voor de beoordelingsperiode 100 jaar gehanteerd. Voor het milieubeschermingscriterium is de toegevoegde risicobenadering gebruikt. Dit is de maximaal toelaatbare toevoeging ( $\text{MTT}_{\text{eco}}$ ) waarbij 95% van de organismen en natuurlijke processen beschermd zijn.

De gekozen standaardisering is per definitie een versimpeling van de omstandigheden in de praktijk. Het is niet mogelijk om alle verschillende vormen van bouwstoffen, toepassingen en bodemtypes middels een generieke norm te ondervangen.

### 3.2.1 *Inhoudelijke versus beleidsmatig bepaalde parameters*

Bij de invoerparameters kan onderscheid worden gemaakt in een tweetal categorieën:

- *Inhoudelijk onderbouwde parameters*. Deze zijn meetbaar, kunnen experimenteel worden vastgesteld en zijn veelal wetenschappelijk onderbouwd. De parameters zijn een vereenvoudiging van de realiteit om scheikundige of natuurkundige processen te kunnen modelleren.
- *Beleidsmatig gekozen parameters*: Deze kunnen niet worden gemeten maar worden mede bepaald door het beschermingsdoel

dat men wenst te bereiken. Beleidsmatige parameters zijn daarom (noodzakelijk) subjectief. Dit zijn aannames en daardoor een vereenvoudiging van het gebruik van bouwstoffen in realiteit. De parameters zijn in 2006 beleidsmatig gekozen door het voormalige ministerie van VROM om tot een generiek normeringskader te kunnen komen.

### 3.2.2 *Toelichting inhoudelijke parameters*

Enkele parameters binnen de modellering zijn gebaseerd op een inhoudelijke onderbouwing. Hieronder worden deze parameters nader toegelicht.

#### Bindingseigenschappen van de bodem

Het constante evenwicht tussen een metaal in opgeloste toestand vergeleken met de geadsorbeerde toestand wordt aangegeven met de partiticoëfficiënt. Voor de modellen HYDRUS en PEARL, waar lineaire adsorptie is toegepast, is dit een vaste waarde ongeacht de concentratie waarin het metaal voorkomt. De partiticoëfficiënten, gebruikt zoals in Verschoor et al. (2006), zijn gebaseerd op meerdere onderzoeken die de relatie tussen de adsorptie van verschillende stoffen in relatie tot verschillende bodems hebben bestudeerd (De Groot et al. 1998; Buchter et al. 1989; Ambrose, 1999; Bockting et al. 1992; Sauvé et al. 2000; Baes et al. 1984). Deze parameter kent een grote spreiding en oefent daarmee een groot effect uit op de kritische emissiewaarden. Het effect van de bindingseigenschappen op de kritische emissiewaarden, dat per stof verschilt, is beoordeeld op basis van de uitgevoerde analyses door Verschoor et al. (2006) en Comans et al. (2014).

#### Uitloogconstante ( $\kappa$ )

De uitloogconstante geeft de mate aan waarin de emissie van een chemische stof afneemt over tijd. In realiteit is de uitloogconstante stof en bouwstof specifiek, echter wordt voor de generieke benadering enkel rekening gehouden met de stof specifieke uitloogconstante en wordt verondersteld dat deze voor iedere bouwstof hetzelfde is. Er wordt uitgegaan van een standaard  $\kappa$  gebaseerd op het gemiddelde gedrag van een reeks bouwstoffen voor elke stof. De waarde van  $\kappa$  is gebaseerd op een dataset uit Verschoor et al. (2006). Het effect van de  $\kappa$  is per stof geanalyseerd op basis van de variaties in  $\kappa$  over de verschillende bouwstoffen in de dataset.

#### Grondwaterspiegel

In het model is een totale diepte van de ondergrond van 2 m gesimuleerd met een aangenomen grondwaterspiegel op een diepte van 1 m-mv. Het effect van de grondwaterspiegel, is geanalyseerd op basis van de mediaan van de Nederlandse grondwaterstanden. Het effect van de aangenomen grondwaterspiegel verschilt per stof.

#### Neerslag en verdamping

Voor het klimaat is het neerslagoverschot van 300 mm/jaar genomen. Dit is gebaseerd op een gemiddeld gekozen jaar (1985) over de klimaatdata van het KNMI over de periode 1981-2000 voor de gemeten neerslag en verdamping. Het effect van het klimaat is geanalyseerd met behulp van toekomstige klimaatprojecties van het KNMI. De mate van het effect verschilt per stof.

### 3.2.3 *Toelichting beleidsmatige keuzes*

Enkele parameters binnen de modellering zijn gebaseerd op beleidsmatige keuzes. Hieronder worden deze parameters nader toegelicht.

#### Tijdraam

De cumulatieve emissie is bepaald over een periode van 100 jaar. De laagste van een gemiddelde concentratie in bodem of het maximum in grondwaterconcentratie, die binnen dit tijdsraam vallen, zijn leidend in het berekenen van de kritische emissiewaarden. Beleidsmatig is aangenomen dat bouwstoffen voor maximaal 100 in een werk aanwezig zijn, dit uitgangspunt werd ook gehanteerd binnen het voormalige Bsb. Het effect van het tijdraam op de kritische emissiewaarden is geanalyseerd voor een periode van 1000 jaar. De mate van effect verschilt per stof.

#### Milieucriterium

Voor zowel bodem en grondwater is de Maximaal Toelaatbare Toevoeging voor ecologie gekozen als geaccepteerde risicogrenswaarde ( $MTT_{eco}$ ). De gemodelleerde uitloging mag het  $MTT_{eco}$  voor bodem en grondwater niet overschrijden. De  $MTT_{eco}$  zijn bepaald voor verschillende metalen en metalloïden door Verbruggen et al. (2001). Sinds 2001 zijn voor een aantal stoffen de  $MTT_{eco}$  herzien. Het effect van de  $MTT_{eco}$  op de kritische emissiewaarden is aan de hand van deze herziene waarden geanalyseerd.

#### Toepassingshoogte

In het standaard scenario is gekozen voor een toepassing van 0,5 m. Er is beleidsmatig gekozen om een toepassingshoogte van 0,5 m aan te houden in de uitloogmodellering, maar in wetgeving is er geen beperking gesteld op de daadwerkelijk toepassingshoogte. In de praktijk is er sprake van toepassingshoogtes van meer dan 0,5 m. Het effect van de toepassingshoogte op het kritische emissiewaarden is onderzocht voor 0,5 tot 15,0 m. De toepassingshoogte kan in de praktijk kleiner zijn dan 0,5 m maar dit is in deze rapportage niet verder onderzocht.

#### Bouwstof dichtheid

Binnen het standaardscenario voor niet-vormgegeven bouwstoffen wordt een vaste dichtheid van  $1.550 \text{ kg m}^{-3}$  aangehouden. Deze waarde is gebaseerd op het gemiddelde van een reeks niet-vormgegeven bouwstoffen. Dit verschilt ten opzichte van de vormgegeven bouwstoffen, omdat deze wordt bepaald aan de hand van het volume van de kleinste eenheid en de duurzame vormvastheid van de bouwstof. Het effect van de dichtheid op de kritische emissiewaarden is onderzocht op een bereik van 200 (schuimglas) tot en met  $2200 \text{ kg m}^{-3}$  (staalslak).

## 3.3 **Resultaten**

### 3.3.1 *Voorgaande evaluaties*

In deze paragraaf worden de voornaamste uitkomsten uit de gevoeligheidsanalyse van Verschoor et al. (2006), Comans et al. (2014) en Negash en Verschoor, (2022) samengevat. Voor een gedetailleerde beschrijving van de gevoeligheidsanalyse wordt verwezen naar de desbetreffende rapporten.

Naast het afleiden van de modelmatige emissiewaarden heeft Verschoor et al. in 2006 ook een gevoeligheidsanalyse gedaan voor een aantal keuzes en aannames. Hiervoor is het model PEARL gebruikt. De onderzochte parameters waren:

- De invloed van de keuze van toetsdiepte (het eindpunt van de modelberekening is een concentratie in bodem of grondwater) en tijdraam (het moment van toetsing);
- De invloed van de toepassingshoogte van de bouwstof;
- De invloed van de uitloogconstante (kappa);
- De invloed van bindingseigenschappen, uitgedrukt als adsorptiecoëfficiënten of speciatie.

Het toetsmoment kan niet los gezien worden van de toetsdiepte omdat ze samenhangen met beschermingsdoelen die men wenst te bereiken. Verschoor et al. (2006) concludeert dat de gekozen tijdsperiode (100 jaar of langer) in sterke mate de uiteindelijke kritische emissiewaarde bepalen. In de meeste gevallen zou de keuze voor een langere tijdsperiode leiden tot strengere kritische emissiewaarden. De uitloogconstante (kappa) en de toepassingshoogte van een bouwstof bepalen de immissie en dus de uitloogsnelheid en de uitputting van de bouwstof. Volgens Verschoor et al. (2006) kan in het algemeen gesteld worden dat een hogere kappa leidt tot snellere uitputting van de bouwstof, dus meer emissie in de beginfase. Bij een lagere toepassingshoogte en een hogere kappa zijn de uitloogconcentraties in het grondwater hoger en worden de hiervan afgeleide kritische emissiewaarden lager. Voor bodem is het effect van de gekozen kappa en toepassingshoogte zeer gering. Voor de bindingseigenschappen is een range aan adsorptiecoëfficiënten berekend waarvan de emissie enkele ordes van grootte kan verschillen.

Binnen het onderzoek van Comans et al. (2014) is gewerkt met het (geochemisch) model ORCHESTRA. In deze gevoeligheidsanalyse van zijn de volgende parameters onderzocht:

- Het gekozen tijdraam (100 versus 1000 jaar);
- De veronderstelling van een preferente stroming in de bodem<sup>5</sup>;
- De invloed van het geselecteerde bodemtype (bepalend zijn voor de mobiliteit van stoffen).

Uit het werk van Comans et al. (2014) blijkt dat het gekozen tijdraam en de selectie van een standaard bodemtype zeer bepalend kunnen zijn voor de uitkomsten van de modellering met ORCHESTRA. Hierbij kan het verschil zowel verruimend of aanscherpend werken. Het meenemen van de preferente stroming in de modellering heeft in relatie tot de voorgaande parameters een kleiner effect op de uitkomsten.

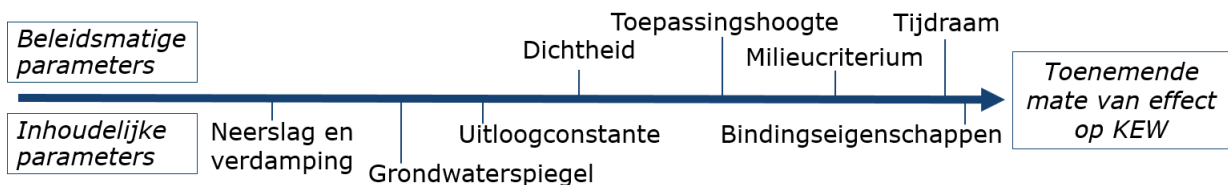
In het onderzoek van Negash en Verschoor, (2022) zijn de resultaten van Verschoor gereproduceerd met het model HYDRUS-1D. Ook is een beknopte gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op een aantal gebruikte modelparameters. Hierin wordt het belang van een accurate adsorptie coëfficiënt benadrukt, omdat dit zeer bepalend kan zijn voor het uiteindelijke kritische compartiment (i.e. bodem of grondwater). Daarnaast

<sup>5</sup> Bij een preferentie stroming is er sprake van een voorkeursroute van het percolaat in de bodem. Het percolaat verspreidt zich dan niet homogeen in de bodem waardoor de uitloging kan toenemen of afnemen.

wordt net als in Verschoor et al. (2006) en Comans et al. (2014) geconcludeerd dat het gekozen tijdraam een groot effect kan hebben op de kritische emissiewaarden.

### 3.3.2 Huidige evaluatie

In Figuur 3.1 zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse gevisualiseerd voor de beleidsmatige (boven) en inhoudelijke (onder) parameters. Van links naar rechts neemt de mate van effect op de berekende kritische emissiewaarden toe. Dit effect kan een aanscherping of verruiming van de kritische emissiewaarde zijn. Uit het figuur kan worden afgeleid dat de potentiële variatie in de beleidsmatig parameters meer invloed heeft op de kritische emissiewaarden dan de potentiële variatie in inhoudelijk parameters. Voor de achterliggende methode en absolute effecten die zijn berekend met het model HYDRUS-1D (PEARL-benadering) wordt verwezen naar het onderzoek van Van Genuchten en Vis, (in prep).



Figuur 3.1 schematische weergave van het relatieve effect van parameters op de kritische emissiewaarde (KEW).

## 3.4 Conclusie

Uit de evaluatie kan worden geconcludeerd dat, uitgaande van het standaardscenario, de beleidsmatige parameters een grotere impact hebben dan de inhoudelijke parameters bij het berekenen van de kritische emissiewaarden. Daarnaast is de invloed van de parameterkeuze meer bepalend dan de keuze voor een bepaald model. Een gedetailleerde beschrijving van de bevindingen en de achterliggende berekeningen uit dit hoofdstuk worden apart gerapporteerd in Van Genuchten en Vis, (in prep).

Bij een eventuele actualisatie van de modellering is een goede afweging van de beleidsmatig gekozen parameters dus het meest bepalend voor de uitkomsten. Alleen een actualisatie op basis van de inhoudelijke parameters naar de laatste wetenschappelijke stand der techniek heeft een beperkt effect op de kritische emissiewaarden. Het komen tot nieuwe (beleidsmatige) keuzes met betrekking tot de parameters en het doorrekenen van verschillende scenario's, vraagt een zorgvuldige afweging en aanzienlijke doorlooptijd. Een aanpassing van het generieke modelscenario met als doel om tot nieuwe normwaarden voor het (her)gebruik van bouwstoffen te komen, kan dan ook niet op korte termijn worden bewerkstelligd. De parameters binnen de modellering kunnen wel mogelijkheden bieden voor een verkenning van een meer locatie of bouwstofspectifieke benadering.

Een aanpassing van de beleidsmatig gekozen invoerparameters binnen de modellering en daarmee de ontwikkeling van 'nieuwe' kritische emissiewaarden, is een beleidsmatige afweging. Mogelijk kunnen ervaren knelpunten in de praktijk ook middels andere aanpassingen bijvoorbeeld in de toepassingsfeer worden geadresseerd.

## 4 Knelpuntenanalyse en onderzoeksrichtingen

### 4.1 Werkwijze

Onderdeel van de evaluatie van het normeringskader voor bouwstoffen is een analyse van ervaren knelpunten in de praktijk met als doel om tot onderzoeksvoorstellen voor verbetering te komen van wet- en regelgeving. In deze analyse zijn de overeenkomstige eigenschappen van bouwstoffen of toepassingen die kunnen leiden tot ongewenste milieueffecten zoveel mogelijk gegroepeerd.

Als startpunt van de analyse is contact gezocht met diverse omgevingsdiensten, de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT), het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Rijkswaterstaat. Zij moeten de toepassing van bouwstoffen beoordelen, goedkeuren of handhaven en hebben daarmee goed zicht op de actuele problematiek. In 2022 zijn in een workshop de gesignaleerde knelpunten van het ILT en enkele omgevingsdiensten opgehaald. Het verslag van deze bijeenkomst is opgenomen in bijlage 3 van deze rapportage. De resultaten van de workshop zijn aangevuld met de bevindingen van een aantal casestudies zoals het (her)gebruik van staalslakken (zowel droge toepassing als natte toepassing), thermische gereinigde grond (in verband met overeenkomstige problematiek rond alkalische bouwstoffen) en AEC-bodemassen in infrastructurele projecten. Studies die hiervoor zijn geraadpleegd zijn onder andere, het ketenonderzoek van Drift en TAUW (Raak et al. 2023), de notitie van de Omgevingsdienst Nederland getiteld Circulaire bouwstoffen in de praktijk (ODNL, 2022) en het feitenonderzoek immobilisaat van RHDHV (van Dijk, 2021). De analyse is verder aangevuld met de resultaten van eerder door RIVM uitgevoerde onderzoeken zoals de uitloogmodellering van Verschoor et al. (2006), advisering over batterijen in AEC-bodemassen (Negash, 2022), second opinion op het gebruik van schuimglas (Negash, 2021a), de stand van zaken met betrekking tot uitloging antimoon uit AEC-bodemassen (Negash, 2021b) en de risicobeoordeling van vanadium onder fietspaden in Drenthe waarbij bouwstoffen zijn gebruikt (Brand en Janssen, 2019). Het hieruit volgende overzicht is voor een opinie voorgelegd aan TNO geologische dienst, vanwege hun inhoudelijke betrokkenheid bij de modellering van uitloging en de beoordeling van bouwstoffen ten behoeve van het bouwstoffenbesluit (1995) en het besluit en de regeling bodemkwaliteit 2008.

In deze rapportage worden gesignaleerde knelpunten en verbeterpunten als volgt ingedeeld:

- Milieueffecten – waargenomen effecten bij het (her)gebruik van bouwstoffen in de praktijk of een analyse hiervan;
- Normeren en beoordelen – beleidsmatig voorgeschreven normwaarden of beoordelingsmethoden om bouwstoffen te toetsen;
- Toepassing en randvoorwaarden – het gebruik en toepassing van bouwstoffen in de praktijk en eventuele randvoorwaarden die hieraan verbonden zijn.

Onderwerpen die buiten de scope deze opdracht vallen (zoals ervaren knelpunten als gevolg van de productieketen, marktwerking en handhaving) worden binnen deze rapportage niet verder uitgewerkt. Deels zijn deze onderwerpen terug te vinden in het verslag van de workshop met het ILT (bijlage 3), het onderzoek van TAUW en Drift en de Notitie van ODNL.

## 4.2 Milieueffecten

### 4.2.1 *pH verouderingseffect op de uitloging van stoffen*

Een veelvoud aan factoren beïnvloedt de uitloging van metalen in de ondergrond. Bijvoorbeeld de hoeveelheid regenwater dat door het medium percoleert (uitgedrukt in de L/S ratio<sup>6</sup>), de saturatie, de temperatuur, de stroomsnelheid, de eigenschappen van de uitlogende stof, het bodemtype (grootte, vorm en porositeit van deeltjes) en tijd (Król et al. 2023). Naast deze fysische factoren wordt uitloging ook bepaald door chemische factoren zoals redox condities en sorptie processen (Quina et al. 2009). Ook de pH-waarde valt daaronder. De pH-waarde is een belangrijke factor van invloed op de uitloging van metalen (Król et al. 2020; Zhang et al. 2023; Li et al. 2024).

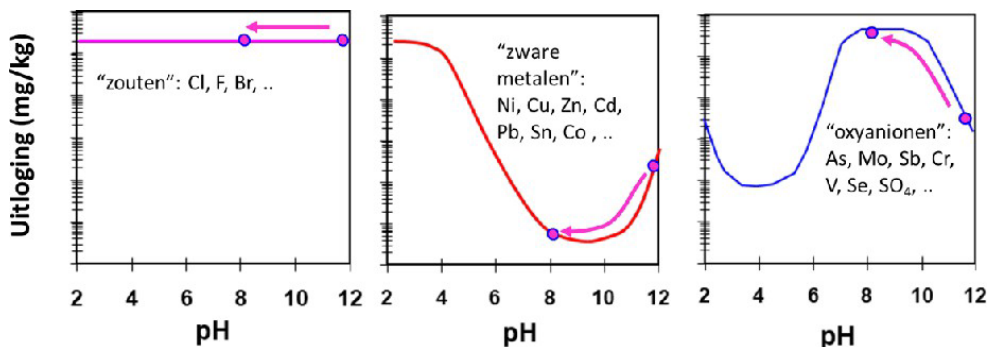
Welk effect de pH-waarde heeft is niet voor elke stof gelijk. Zo zijn er metalen waarvan de uitloging groter of juist kleiner wordt bij een verandering van de pH-waarde. Van der Sloot & Dijkstra, (2004) en Dijkstra (2024) hanteren grofweg drie groepen:

1. Stoffen die behoren bij de goed oplosbare zouten: zijn niet of weinig gevoelig voor een verandering van de pH-(i.e. chloride (Cl), fluoride (F) en bromide (Br));
2. Stoffen die vaak worden aangeduid als zware metalen: laten een maximale uitloging zien bij een lage pH-waarde en naarmate de pH-waarde stijgt neemt de uitloging in eerste instantie af. Vervolgens zal bij een zeer basisch milieu vanaf pH 10-12 de uitloging weer toenemen (i.e. nikkel (Ni), koper (Cu), zink (Zn), cadmium (Cd), lood (Pb), aluminium (Al), ijzer (Fe), tin (Sn), kobalt (Co));
3. Stoffen die vaak worden aangeduid als oxyanionen: kennen een omgekeerde trend ten opzichte van de vorige groep. De laagste uitloging wordt waargenomen rond pH 4 en naarmate de pH toeneemt ook de uitloging zal toenemen. De hoogste uitloging wordt gezien tussen een pH van 8-10 waarna de uitloging weer afneemt bij een verder stijgende pH. Hieronder vallen molybdeen (Mo), chroom VI (Cr(VI)), arseen (As), selenium (Se), antimoon (Sb) vanadium (V) en sulfaat (SO<sub>4</sub>).

In figuur 4.1 is het verschil in uitloggedrag voor de drie groepen in beeld gebracht.

<sup>6</sup> L/S ratio staat voor liquid / solid ratio en beschrijft de verhouding tussen de hoeveelheid water dat door een vast materiaal stroomt. In een uitloogproef is deze ratio gestandaardiseerd. Er zijn meerdere standaarden mogelijk maar voor bouwstoffen wordt L/S10 aangehouden. Bij een L/S 10 stroomt er 10 liter water door 1 kg vast materiaal.





Figuur 4.1 uitlooggedrag voor verschillende groepen stoffen en het effect als de pH verandert van ongeveer pH 12 naar pH 8 (weergegeven met een pijl) (overgenomen uit Dijkstra, (2024)).

Het verschil in uitlooggedrag bij een veranderende pH is niet verdisconteerd in wet- en regelgeving, maar speelt in de praktijk wel een rol. Na toepassing van bouwstoffen in de praktijk kan de pH-waarde veranderen over tijd als gevolg van natuurlijk optredende processen, zoals de reactie met  $\text{CO}_2$ , waarvoor zowel vocht als lucht nodig zijn. De in veel bouwstoffen aanwezige calciumoxides en -hydroxides kunnen bij blootstelling aan water en koolzuurgas worden omgezet tot calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ), dit proces wordt carbonatatie genoemd (Dijkstra et al. 2019). Met deze reactie zal de pH-waarde dalen tot een evenwicht (rond de  $\text{pH} = 8$ ) (Meima en Comans, 1999).

Als gevolg van deze pH verandering kan er in de praktijk een andere uitloging van metalen optreden dan op basis van de wettelijke toetsing middels uitloogproeven (uitgevoerd op moment van toepassen) wordt verwacht. Bij de toetsing van bouwstoffen wordt dit effect veelal niet gezien of onderzocht, omdat er op vers materiaal met een initieel hoge pH wordt getoetst in plaats van verouderd materiaal met een gestabiliseerde lagere pH. Dit laatste is ook niet opgenomen in de huidige regelgeving.

Met name de als alkalische bouwstoffen aangemerkte bouwstoffen, zoals staalslakken, AEC-bodemassen en vlieg- assen en cement houdende bouw- en reststoffen (Dijkstra et al. (2019) maar ook thermische gereinigde grond, worden gekenmerkt door deze uitloogproblematiek (Galvín et al. 2012; Zhang et al. 2016; Komonweeraket et al. 2015; Liu et al. 2022; Li et al. 2018; Król et al. 2020; Brand et al. 2021).

#### 4.2.2 Direct pH effect op omgeving

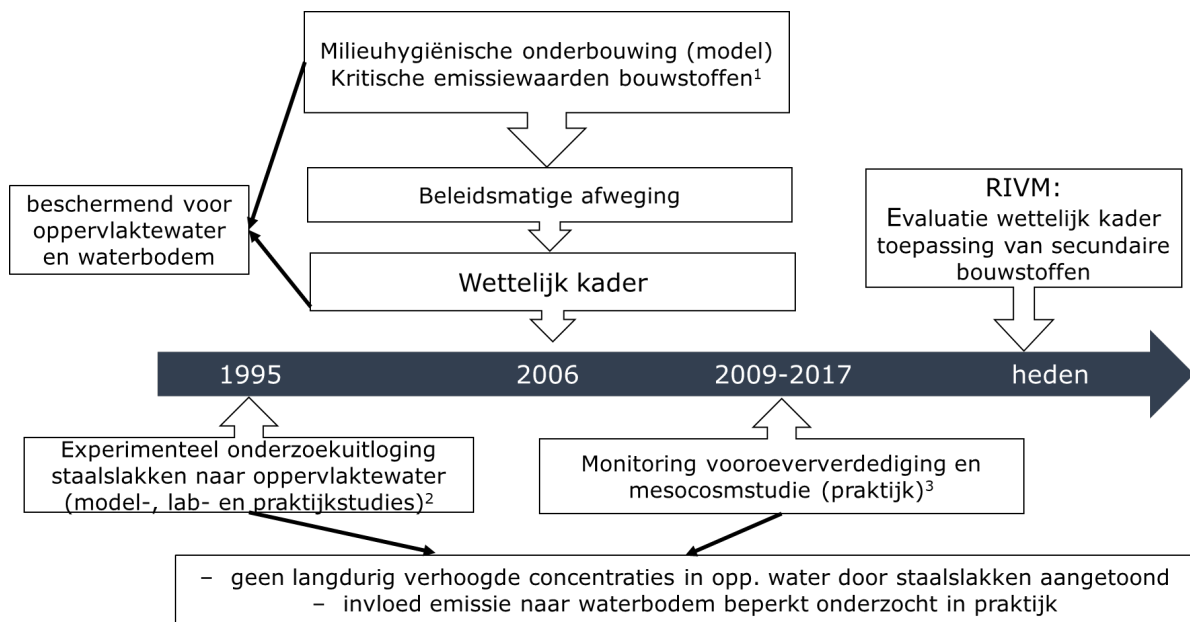
Hieronder wordt verstaan een verhoging van de pH in de bodem, het grondwater of oppervlaktewater in de nabijheid van een toegepaste alkalische bouwstof. Een hoge pH verstoort chemische, biologische en ecologische processen in de bodem en het oppervlaktewater. De pH verhoging van de omgeving is een tijdelijk effect omdat door natuurlijke neutralisatieprocessen zoals carbonatatie en buffering door bodembestanddelen de pH langzaam afneemt. De mate en snelheid van neutralisatie hangt echter af van onder andere toepassingswijze (met of zonder waterkerende afdekking) en toepassingshoogte. Hoe meer bouwstof wordt toegepast, hoe meer alkaliniteit de bodem in gaat, hoe langer en moeilijker het wordt om te neutraliseren. Ook de korrelgrootte

(in verband met porositeit) van een bouwstof, het vochtgehalte en de toetreding van lucht zijn belangrijk. Zandbodems zijn er het gevoeligst voor als de pH-waarde verandert, omdat dit bodemtype deze verandering minder goed kan neutraliseren.

Door de pH verandering in grond en grondwater kunnen ook reeds (van nature) aanwezige metalen in de ondergrond worden gemobiliseerd waardoor deze uitlogen en gaan bijdragen aan de totale milieubelasting na de toepassing van bouwstoffen. Dit is met name belangrijk als alkalische bouwstoffen in combinatie met andere (licht) verontreinigde materialen of grond worden gecombineerd. Bijvoorbeeld de combinatie van thermische gereinigde grond met hoge pH bovenop een verontreinigde grond met kwaliteitsklasse industrie. Het kan dan zo zijn dat de TGG voldoet aan de gestelde uitloogcriteria, maar de onderliggende klasse industrie grond niet getoetst is op de uitloogeigenschappen bij hogere pH dan de eigen pH waarde van de grond. Hierdoor bestaat de kans op ongewenste milieueffecten omdat de pH van de TGG de mobiliteit van metalen in de klasse industriegrond beïnvloedt.

#### 4.2.3 *Toepassing bouwstoffen in oppervlaktewater*

Onlangs is het gebruik van staalslakken in oppervlaktewater ter discussie gesteld vanwege zorgen over schadelijke effecten op de aquatische ecologie, specifiek in de Ooster- en Westerschelde. Als onderdeel van deze analyse is een reconstructie gemaakt van het beschikbare onderzoek naar de toepassing van staalslakken in oppervlaktewater. Daarnaast is nagegaan of de huidige normen voldoende bescherming bieden voor toepassing van staalslakken in oppervlaktewater. In figuur 4.2 is de reconstructie en de daaruit volgende conclusies schematisch weergegeven. De geraadpleegde studies en daaruit volgende conclusies zijn samengevat in daarop volgende paragrafen.



1: Verschoor et al. (2006)

2: Comans et al. (1995); Van de Sloot et al. (1995)

3: Tangelder et al. (2015; 2016 en 2017); Foekema et al., (2016)

Figuur 4.2 schematische weergave van de reconstructie en de daaruit volgende conclusies van onderzoek toepassing van bouwstoffen in oppervlaktewater.

#### Onderzoek voorafgaand aan het Besluit bodemkwaliteit

Bouwstoffen vinden in de praktijk toepassingen in infrastructurele grond-, weg- en waterbouwprojecten. Een bouwstof die in het verleden regelmatig met veldonderzoek op de milieuhygiënische kwaliteit voor een toepassing in de waterbouw is onderzocht zijn LD-staalslakken (zie kader).

#### Kader: LD-staalslakken

De productie van staal kan op verschillende manieren gebeuren (o.a. het Thomas-, het inductie- (electro-oven-), het Siemens-Martin- en het Linz-Donawitzproces). Tegenwoordig wordt in Nederland alleen nog staalslak aangeboden die vrijkomen bij het Linz-Donawitzproces (LD-staalslak) en het electro-ovenproces (ELO-staalslak). LD is de afkorting van Linz en Donawitz, vernoemd naar twee plaatsen in Oostenrijk waar het staal geproduceerd werd op basis van het oxystaalproces (ofwel het Linz-Donawitz proces). Tijdens de omzetting van het ruwijzer in staal bij een temperatuur tot circa 1600 graden Celsius ontstaan door toevoeging van kalksteen en dolomiet slakken waarin de onzuiverheden van het vloeibare staal worden gebonden. De bovendrijvende laag met slakken wordt vervolgens van het gesmolten gezuiverde staal afgescheiden, in slakputten gegoten en aan de buitenlucht gekoeld. Het resultaat zijn onbewerkte LD-staalslakken.

ECN heeft in de jaren negentig van de vorige eeuw tot 2007 diverse wetenschappelijke studies verricht naar het uitloggedrag van milieuschadelijke stoffen in LD-staalslakken naar het oppervlaktewater en de waterbodembeschermt. Daarbij is gebruik gemaakt van veld, semi-praktijk en laboratoriumonderzoeken (Comans et al. 1995; Van der Sloot et al.

1995; Van der Sloot et al. 2001). Ook is onderzocht of de uitkomsten uit de experimenten konden worden voorspeld middels een speciatiemodel.

In de experimentele studies is inzicht verkregen van de invloed van chemische en fysische eigenschappen van staalslakken en de omgevingskenmerken (tijd, plaats, golfslag en stroming) op de uitloging van milieuschadelijke metalen en hun verbindingen. De chemische eigenschappen zoals de redoxpotentiaal en de pH-waarde in de zone van het grensvlak van de staalslakken met het oppervlaktewater en die met de waterbodem zijn bestudeerd. Zo hebben ze effect op de bestudeerde adsorptie/desorptie processen, redoxreacties, neerslagvormingen, complexatie- en zuur/base reacties. Voorbeelden van neerslagvorming zijn calciumcarbonaat, bariumsulfaat en vanadium-ijzerhydroxide-complexen. Voorbeelden van complexatie – en zuur/base reacties zijn reacties van metalen en hun verbindingen met zouten en aanwezig DOC<sup>7</sup> en organisch materiaal zoals humuszuren in de (water)bodem.

In de kern van een staalslakkenlaag van een vooroeverbescherming heersen zeer stabiele reducerende condities bij een hoge pH-waarde tussen 11 en 13. Deze conditie verandert nauwelijks in de tijd en is de basis voor een diffusiegecontroleerde migratie en uitloging van metalen vanuit de kern naar het grensvlak met het oppervlaktewater of de waterbodem. Deze diffusiegecontroleerde uitloging kenmerkt zich als een traag proces. Op het grensvlak van een staalslakkenpakket met het oppervlaktewater ontstaat een overheersend oxiderende zone. Dit geldt ook voor het grensvlak van het staalslakkenpakket met de waterbodem mits er voldoende zuurstofrijk water toegang heeft. Omdat de snelheid van uitloging van metalen bepaald wordt door de snelheid van migratie van metalen door het slakkenpakket, hebben fysische factoren, zoals golfslag en stroming van het oppervlaktewater nauwelijks effect op de snelheid waarmee de metalen uitlogen. De fysische factoren hebben wel een verdunnend effect op het moment dat de metalen eenmaal uit het grensvlak van de staalslak vrijkomen in het oppervlaktewater Comans et al. (1995).

ECN heeft vastgesteld dat calcium, barium en vanadium kritische elementen zijn die in LD staalslakken uitlogen. Op basis van de beschikbaarheidsproef zijn ook de elementen chroom en fluor genoemd. Onder reducerende condities logen calcium en barium in hogere concentraties uit, terwijl vanadium in oxiderende condities in hogere concentraties uitloogt. De genoemde voorbeelden van neerslagvorming van calcium, barium en vanadium maken dat de emissie en verspreiding van deze metalen niet eenvoudig is te bepalen.

In de ECN studies is ook het carbonatatieproces onderzocht. Carbonatatie kan, zoals eerder in dit rapport is toegelicht, plaatsvinden door CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer en opgelost in het oppervlaktewater of CO<sub>2</sub> dat ontstaat door aerobe omzetting van organisch materiaal (DOC of OC in waterbodem).

<sup>7</sup> DOC staat voor dissolved organic carbon of opgelost organisch koolstof en omvat alle koolstof van organische oorsprong die in opgeloste vorm aanwezig is.

Verder is geconcludeerd dat de kolomproef geen goed beeld geeft van het uitlooggedrag van metalen in de staalslakkenlaag van een vooroeverbescherming. Dit heeft te maken met de invloed van de redoxpotentiaal die aan het grensvlak verandert van reducerend in een oxiderende conditie. Tijdens de kolomproef voltrekt de uitloging in een constante reducerende conditie. Dit effect en het verouderingseffect is relevant voor alkalische bouwstoffen zoals LD-staalslakken. ECN heeft aanbevelingen gedaan om de standaard uitloogproeven meer op deze invloeden aan te passen om tot een nauwkeuriger beoordeling van de emissie te komen.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat:

- De emissie van stoffen uit LD-staalslakken op basis van semi-praktijk (grote tank) experimenten en veldmetingen in staalslaktoepassingen zijn vergelijkbaar. Met beperkte aanpassingen in de methoden van de standaard uitloogproeven kan deze emissie ook op laboratoriumschaal naar verwachting met voldoende nauwkeurigheid worden bepaald. De aanpassingen betreffen de invloed van het verouderingseffect zoals carbonatatie en veranderingen in het redoxpotentiaal en de pH op de uitloogende stoffen in LD-staalslakken.
- De kolomproef is ongeschikt voor de beoordeling van slakken in oeverbescherming omdat de uitloging voornamelijk diffusie gedreven is. *Noot: Daarom worden staalslakken ten behoeve van de oeverbescherming, in de regeling bodemkwaliteit 2022 met de diffusieproef getoetst.*
- De resultaten van het ECN onderzoek leiden tot een zeer consistent beeld van het uitlooggedrag van staalslak, waarbij verschillen tussen verschillende partijen van een locatie of verschillende herkomst ondergeschikt lijken.
- De rol van oppervlaktereacties zoals neerslagvorming van water-oplosbare zouten (ijzer(hydr)oxiden, soms ook aangeduid als korstvorming) aan het oppervlak van de staalslak en carbonatatie zijn in het geval van slakken in oeverbescherming van belang voor de netto emissie.
- In de praktijk heersen in de kern van een staalslakpakket veelal reducerende omstandigheden waaronder vanadium slecht oplosbaar is. Aan de randen van het pakket waar, bij toepassing in stromend water, oxidatie plaatsvindt wordt vanadium mobieler. Echter, wanneer staalslak oxideert vormen zich aan het oppervlak ijzerhydroxides waar vanadium sterk aan bindt, zodat concentraties in de praktijk niet hoger (en veelal zelfs lager) liggen dan in de standaard diffusieproef.
- Met het speciatiemodel kunnen uitloogemissies uit de praktijk worden benaderd in dezelfde orde grootte. Verbetering van inputparameters met locatiespecifieke gegevens maakt het model nauwkeuriger.
- De onderliggende waterbodem wordt beïnvloed door staalslakken maar het effect van uitloging kon door verontreiniging van de waterbodem met staalslakdeeltjes niet worden gekwantificeerd.
- De onderliggende waterbodem wordt beïnvloed door een direct pH effect. Dit effect wordt door biologische afbraak gecompenseerd, waardoor het effect niet ver de bodem indringt.

- Het effect van inzijgend water op waterbodem is groter dan het effect van staalslakken op de waterbodem.

*Totstandkoming normen in relatie tot toepassing in oppervlaktewater*  
De uitloogmodellering en de daaruit volgende kritische emissiewaarden van Verschoor et al. (2006) fungeert als het wetenschappelijke referentiekader voor de, al dan niet beleidsmatige gekozen, maximale emissiewaarde voor bouwstoffen. Het is belangrijk om te realiseren dat de huidige normen gebaseerd zijn op een rekenscenario waarbij de toepassing van bouwstoffen op land plaatsvindt (zie hoofdstuk 3). Ook als de bouwstoffen, in dit geval staalslakken, in de praktijk worden toegepast in oppervlaktewater.

Ondanks het verschil in toepassing (droog versus nat) kan op basis van het uitgevoerde onderzoek door Verschoor et al. (2006) toch worden geconcludeerd dat de toetsing aan het bestaande wettelijke normen (voldoende) beschermend is voor het gebruik van bouwstoffen in oppervlaktewater en daarmee ook staalslakken. In 2006 is namelijk ook modelmatig onderzocht wat de kritische emissiewaarden zouden zijn, als werd uitgegaan van toepassing in oppervlaktewater. Hiervoor is als ecologische beschermingsgrens gerekend met 10% van de maximaal toelaatbare toevoeging voor oppervlaktewater ( $MTT_{eco}$  oppervlaktewater). Dit is conform de immissietoets CIW<sup>8</sup> die stelt dat er geen significant effect mag plaatsvinden op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Het significante effect is in Verschoor et al. vervolgens ingevuld als 10% van het  $MTT_{eco}$ . Hoewel de risicogrens daarmee strenger lijkt dan de gehanteerde risicogrens voor toepassing op land (100% van het  $MTT_{eco}$  voor grond) wordt dit deels te niet gedaan door het feit dat de  $MTT_{eco}$  voor oppervlaktewater hoger zijn dan de  $MTT_{eco}$  voor grond. Door Verschoor et al. (2006) zijn drie verschillende watersystemen onderzocht:

- Middelgrote rivier: 50 meter breed, 2,6 m diep en een debiet van 25 m<sup>3</sup>/s;
- Klein kanaal: 25 meter breed, 2 meter diep en een debiet van 2 m<sup>3</sup>/s;
- Polderwater: 5 meter breed, 1 meter diep en een debiet van 0,15 m<sup>3</sup>/s.

Tot slot wordt er in de modellering rekening gehouden met een initiële afspoeling van metalen tijdens het aanbrengen van bouwstoffen in oppervlaktewater en uitloging van metalen naar de waterbodem.

Uit de studie van Verschoor et al. (2006) bleek dat de berekende kritische emissiewaarden voor grote oppervlaktewateren (= middelgrote rivier) hoger (en dus minder streng) zijn dan de berekende kritische emissiewaarden voor toepassing op land. Voor een kanaal en polderwater zijn de berekende kritische emissiewaarden strenger dan de kritische emissiewaarden voor toepassing op land. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de berekende kritische emissiewaarden voor toepassing op land beschermend zijn voor het (her)gebruik van bouwstoffen in grote oppervlaktewateren maar niet voor toepassing in

<sup>8</sup> Zie voor een toelichting paragraaf 4.6.1 uit Verschoor et al. (2006)

kleine oppervlaktewateren. Om die reden wordt het (her)gebruik van staalslakken in kleine oppervlaktewateren niet wenselijk geacht.

Zoals eerder beschreven, is er een beleidsmatige afweging gemaakt om voor enkele stoffen de kritische emissiewaarden uit Verschoor et al. (2006) niet over te nemen in het normeringskader voor bouwstoffen. Ondanks dat voor enkele stoffen de kritische emissiewaarden beleidsmatig zijn verruimd, blijkt dat de hieruit volgende maximale emissiewaarden beschermend zijn voor toepassing van bouwstoffen in oppervlaktewater. De beleidsmatige vastgestelde maximale emissiewaarden zijn allen lager dan de door Verschoor et al. (2006) berekende kritische emissiewaarden voor grote oppervlaktewateren.

#### *Monitoring effecten na toepassing in oppervlaktewater*

LD-staalslakken zijn in Nederland in de waterbouw onder meer toegepast als vooroeverbescherming op een aantal locaties van de zeedijken van de Ooster- en Westerschelde. Ze zijn ook gebruikt in vaargeulen en ontgrondingskuilen in de bodem van de Oosterschelde. In de periode 2010 tot 2017 zijn in het kader van de monitoring van de flora en fauna in de Oosterschelde nabij enkele locaties van de vooroeverbescherming met staalslakken jaarlijks meetcampagnes uitgevoerd door Wageningen Marine Research (Tangelder et al. 2015; Tangelder et al. 2016; Tangelder et al. 2017; Foekema et al. 2016). In 2016 is ook een mesocosms studie naar de effecten van LD-staalslakken op het waterecosysteem van de Oosterschelde verricht door de Wageningen Universiteit (Foekema et al. 2016). In dit onderzoek zijn behalve staalslakken ook breuksteen en zeegrind (als referentie) in de studie meegenomen. Breuksteen is een natuurlijke bouwstof ofwel een primaire bouwstof die ook wordt toegepast voor de dijkverzwaring en oeverbescherming. In het mesocosms semi-praktijk onderzoek zijn twee verversingssnelheden toegepast om het effect van de getijdestroming van de Oosterschelde op de uitlogende stoffen te kunnen beoordelen. De onderzoeken van Wageningen Marine Research zijn destijds verricht in opdracht van Rijkswaterstaat.

Zowel op basis van de monitoring als de mesocosms studie is geconcludeerd dat geen langdurige onaanvaardbare effecten op de flora en fauna van de Oosterschelde nabij de vooroeverbescherming met LD-staalslakken en breuksteen zijn aangetoond. De flora en fauna worden niet negatief beïnvloed door uitlogende stoffen afkomstig van de staalslakken en breuksteen. Het verdunningseffect van de waterconcentraties van uitlogende stoffen door de getijdestroming van de Oosterschelde blijkt op grond van de studie een belangrijke invloed te hebben op het behoud van de waterkwaliteit. In de experimenten met hoge verversingssnelheid overeenkomend met de getijdestroom van de Oosterschelde vindt alleen voor de pH en vanadium een tijdelijke (circa 2 weken) verhoging plaats, waarna de pH van het ecosysteem normaliseert. Bioaccumulatie van uitlogende stoffen in de onderzochte aquatische organismen is niet aangetoond (Tangelder et al. 2015; Tangelder et al. 2016; Tangelder et al. 2017; Foekema et al. 2016).

Resumerend, op basis van de nu beschikbare kennis en uitgaande van de chemische kwaliteit, is er geen negatief effect voorzien bij de

toepassing van bouwstoffen in grote oppervlaktewateren, mits deze voldoen aan de gestelde normen.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt, dat in het kader van deze studie niet is gekeken naar het ruimtelijke effect van staalslakken op de omgeving. Hierbij valt te denken aan de verandering van de natuurlijke omgeving van waterorganismen zoals de beschikbaarheid van schuil- of vestigingsplaatsen. Gezien de maatschappelijke zorg rondom het gebruik van staalslakken in en nabij natuurgebieden en kweekgebieden, kan overwogen worden om het besluit om een bouwstof te gebruiken, onderdeel te maken van de bredere afweging waarbij naast chemische kwaliteit ook fysische eigenschappen en biologische randvoorwaarden van de toepassingslocatie worden meegewogen. Een dergelijke beoordeling is met name relevant bij de toepassing van bouwstoffen in of nabij natuurgebieden en kweekgebieden.

#### 4.2.4 *Onderzoeksrichtingen*

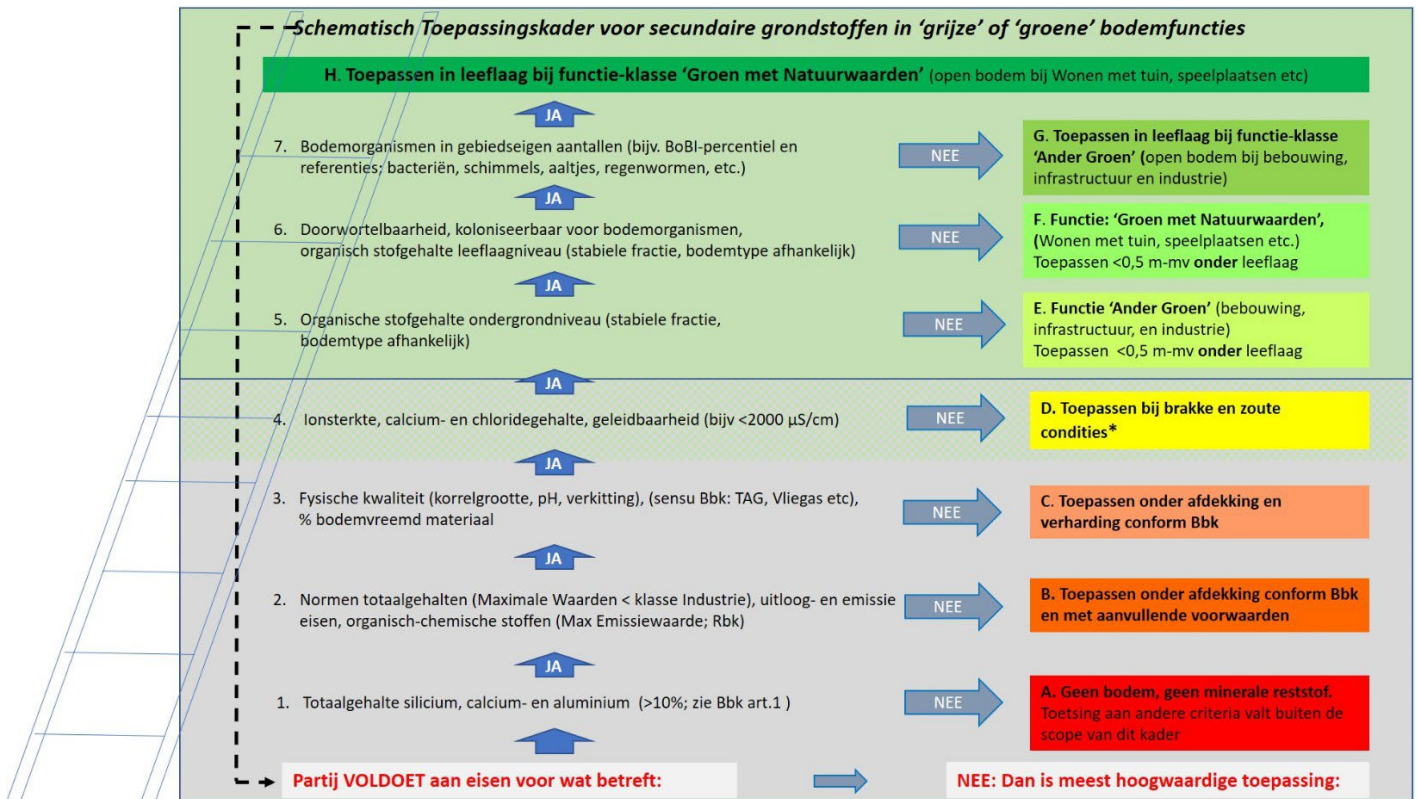
##### *Ontwikkeling toepassingsladder*

Voor bouwstoffen met (sterk) afwijkende eigenschappen (zoals een hoge pH) of toepassingen die afwijken van de generieke uitgangspunten in het normeringskader, wordt geadviseerd om naast de toetsing van chemische kwaliteit, rekening te houden met de fysische eigenschappen, de wijze van toepassing en de locatiespecifieke (biologische) randvoorwaarden. Dit handelingsperspectief kan, als aanvulling op het generieke beleid, de lokale overheden ondersteunen bij de afweging om een bouwstof op een bepaalde locatie te gebruiken en onder welke randvoorwaarden.

In 2021 is door Brand et al. een aanzet voor een 'toepassingsladder' gegeven geënt op de problematiek rond het gebruik van thermische gereinigde grond. In de toepassingsladder wordt rekening gehouden met de fysische en biologische kenmerken van thermisch gereinigde grond en de ontvangende bodem, de functie, de locatie et cetera (zie figuur 4.3). Omdat de uitloogproblematiek van thermisch gereinigde grond als gevolg van pH dezelfde vragen omvat als enkele alkalische bouwstoffen, zoals staalslakken en AEC-bodemassen, valt een doorontwikkeling van de ladder voor meerdere bouwstoffen te overwegen.

De uitwerking van een toepassingsladder biedt mogelijkheden om het effect van pH op de uitloging van bouwstoffen en het directe effect de omgeving middels een gelijkwaardige benadering te adresseren. Dit in tegenstelling tot het nemen van ad hoc maatregelen per bouwstof die meer liggen in het stellen van grenzen en randvoorwaarden voor toepassing van alkalische bouwstoffen (zoals afdekken).





Figuur 4.3 eerste aanzet tot een toepassingsladder voor toepassing van een secundaire grond- of bouwstof in of op de bodem (Brand et al. 2021).

Het doorontwikkelen van de toepassingsladder vraagt een verdere verkenning van het uitloggedrag, het vaststellen van criteria (zoals voor pH, korrelgrootte, toepassingsdiktes et cetera) en test- en beoordelingsmethoden. Deels kan dit op basis van bestaande literatuur en deels is nader onderzoek nodig.

Middels uitloogproeven kan het uitloggedrag van metalen gekarakteriseerd worden, wat als input kan dienen voor de toepassingsladder. Hierbij kan gedacht worden aan een (volledige) uitloogproef waarbij de uitloogfracties op verschillende tijdstippen worden gemeten of het testen van 'vers' en 'verouderd' product om de invloed van het pH-verouderingseffect mee te nemen. De invloed van de pH op de uitloging is ook te testen door een pH-afhankelijkheidsproef waarbij bijvoorbeeld 6 tot 8 parallelle uitloogproeven met water van een verschillende pH-waarde in een voldoende breed pH traject worden verricht (zie paragraaf 2.4.2). De invloed van het redoxpotentiaal op de uitloging kan ondervangen worden door uitloogtesten tevens onder reducerende condities uit te voeren door uitsluiting van zuurstof.

#### Stimulering verouderingseffect

Het pH-verouderingseffect kan een oorzaak zijn van ongewenste milieueffecten in de praktijk, maar het kan potentieel ook kansen bieden als aangrijpingspunt in het milieuchemisch geschikt maken van een toepassing. Door de bouwstof te behandelen met lucht en water kan een stabielere eindsituatie worden verkregen voordat de bouwstof wordt toegepast.

Carbonatatie werkt alleen in voldoende mate als de bouwstof in dunne lagen en met voldoende toegang van lucht en water wordt toegepast. Onder natuurlijke omstandigheden is carbonatatie een traag proces dat over zeer lange tijd kan plaatsvinden. Dit hangt af van de toegankelijkheid van CO<sub>2</sub> (uit de lucht of via water/bodem) enerzijds en de tortuositeit<sup>9</sup> en porositeit van de bouwstof. Het optreden van natuurlijke carbonatatie door het gehele werk waarin de bouwstoffen zijn toegepast is geen gegeven en dus afhankelijk van de lokale omstandigheden.

Actieve beluchting van alkalische bouwstoffen met CO<sub>2</sub> kan de carbonatatie onder de juiste omstandigheden versnellen en daarmee de pH verlagen. Tijdens deze spontane chemische reactie verschuiven de mineralen naar een thermodynamisch stabielere situatie, waardoor wordt verwacht dat deze pH verlaging blijvend is (Dijkstra, 2022). Het is belangrijk dat een gelijkmatige carbonatatie over het gehele volume van de bouwstof wordt behaald. Een goede illustratie is de uitkomst van een literatuurstudie over de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken uitgevoerd door het RIVM (Broekman, 2023). In deze studie zijn aanwijzingen gevonden dat een natuurlijke volledige carbonatatie een zeer lange periode (> 100 jaar) kan vergen. Dit geldt zeker bij grootschalige toepassingen van LD-staalslakken. Of stimulering van het carbonatatie proces voor grote partijen bouwstoffen in de praktijk haalbaar is en tot de gewenste resultaten leidt, is in dit onderzoek niet onderzocht.

Door het carbonatatie proces en de bijbehorende verlaging van de pH kan een stabielere eindsituatie ontstaan voor de uitloging van sommige metalen. Gelijktijdig moet ook rekening worden gehouden met een hogere uitloging van onder andere vanadium, antimoon en molybdeen omdat deze stoffen mobieler worden als de pH daalt (zie ook paragraaf 4.2.1). Van Zomeren et al. (2011) toont een verhoogde vanadium uitloging aan voor staalsakken na het versnelde carbonatatie proces. Ook het onderzoek van Steketee en Langevoort (2020) toont aan dat kunstmatig gecarbonateerde AEC-bodemassen verhoogde concentraties antimoon en sulfaat uitlogen. Deze werden ondervangen door het wassen van de AEC-bodemassen waarna het product voldeed aan de toepassingseisen. Het is dus noodzaak dat de kunstmatig verouderde bouwstof pas na behandeling getoetst wordt aan het normeringskader.

## **4.3 Normeren en beoordelen**

### **4.3.1 *Verkenning niet-genormeerde stoffen in bouwstoffen***

Het besluit bodemkwaliteit stelt dat de productkwaliteit van bouwstoffen aantoonbaar moeten voldoen aan samenstellings- en emissiewaarden. Omdat voor niet-genormeerde stoffen en parameters samenstellings- en emissiewaarden ontbreken, geldt voor deze stoffen de zorgplicht.

Er bestaan twee soorten niet-genormeerde stoffen of parameters. Ten eerste zijn er de stoffen waarvan we weten dat ze relevant zijn, maar waarvoor nog geen normstelling beschikbaar is (bijvoorbeeld PFAS). Ten tweede gaat het om stoffen waarvan we nu nog niet weten dat ze bestaan, relevant zijn en in bouwstoffen voorkomen. Voor beide soorten

<sup>9</sup> maat voor de kronkeligheid van de weg die het infiltrerende water door de bouwstof moet afleggen

niet-genormeerde stoffen is er vanuit de praktijk behoefte aan een handelingskader.

De United Nations Environmental Programme heeft een lijst met zeer zorgwekkende chemische stoffen voor bouwstoffen opgesteld (UNEP, 2021). Voor veel van deze stoffen zijn er in Nederland voor bouwstoffen normen vastgesteld, zoals bijvoorbeeld voor metalen, aromatische verbindingen, Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), Polychloorbifenylen (PCB's) en asbest. Daartegenover is een aantal van deze zeer zorgwekkende stoffen niet terug te vinden in het normeringskader met de daarbij horende afwezigheid van gestelde normen. Ook in de Europese Verordening (EU) 2019/1021 voor persistente organische verontreinigende stoffen (POP) zijn voorwaarden opgenomen voor gebruik en verhandeling van materialen die POP's kunnen bevatten. Deze voorwaarden en de gehanteerde stoflijsten zijn relevant voor de signalering van niet-genormeerde binnen het normeringskader voor de toepassing van bouwstoffen. De verordening is een uitwerking van het verdrag van Stockholm<sup>10</sup> (door de EU goedgekeurd in besluit 2006/507/EG) en wanneer nieuwe stoffen worden toegevoegd aan het verdrag, worden deze ook opgenomen in de POP Verordening opgenomen.

Hieronder worden de resultaten gegeven van een literatuurverkenning naar niet-genormeerde stoffen waarvan nu bekend is dat deze in bouwstoffen kunnen worden aangetroffen. Gelijktijdig met dit onderzoek, doet adviesbureau TAUW in opdracht van het ministerie van IenW onderzoek naar niet genormeerde stoffen in bouwstoffen die vallen in de categorieën 2-10 uit bijlage C van de Regeling bodemkwaliteit (2022).

#### *Per- en polyfluoralkylstoffen (PFAS)*

De groep PFAS bestaat uit een groot aantal stoffen met een zeer uiteenlopend gebruik. Sommige PFAS mogen niet meer worden geproduceerd, maar bevinden zich vanwege het persistente karakter nog voor langere tijd in het milieu. In een grote studie naar 1400 PFAS zijn meer dan 200 gebruiksdoeleinden geïdentificeerd waarbij bouw en constructie als één van de hoofd categorieën wordt beschouwd (Glüge et al. 2020). Onder PFAS worden PFOS, PFOA en PFHxS gekenmerkt als zeer zorgwekkende stoffen in bouwstoffen (UNEP, 2021). PFAS wordt onder andere toegepast als cement additieven, brandvertragers en waterafstotende materialen en kunnen worden aangetroffen in dakbekleding, gegalvaniseerd materiaal, metalen, plastics, rubbers, textiel, hout, coatings, lak, verf, vernissen, folies, vloerbekleding, glas, pijpen/leidingen (coatings en voeringen), en diverse soorten bedrading (Bečanová et al. 2016; Janousek et al. 2019; Glüge et al. 2020). Deze opsomming van bouwstoffen en toepassingen in de bouw en constructie kunnen van belang zijn bij (her)gebruik van onder andere puingranulaat.

<sup>10</sup> Het Verdrag van Stockholm heeft als doel bescherming van mens en milieu door het beperken van productie en gebruik van persistente organische verontreinigende stoffen (POP's). Het is een verdrag van de Verenigde Naties. Het verdrag richt zich ook op het zoveel mogelijk beperken van onbedoelde emissies (vrijkomen) van deze stoffen. Het verdrag bevat zowel industriële chemicaliën als pesticiden.

PFAS komen ook in huishoudelijke producten voor, zoals geneesmiddelen en medische hulpmiddelen, cosmetica, papier, plastics, leer, elektronica, bakpapier, pannen, verpakkingen of in de vorm van brandvertragers. Het huishoudelijk- en bedrijfsafval wordt verbrand in afvalenergiecentrales waarbij vlieg- en bodemas als reststromen overblijven. Deze assen kunnen worden (her)gebruikt als ophooglagen of worden toegevoegd als vulmiddel in de beton en cementindustrie (Kotthoff et al. 2015; Vo et al. 2020; Glüge et al. 2020). In de vlieg- en bodemassen zijn PFAS concentraties gemeten, waaronder ook in assen afkomstig uit Nederlandse afvalverbranding installaties (Bakker et al. 2021; Liu et al. 2021; Brunschwiler, 2023). De oorzaak van onvolledige verbranding kan worden gevonden in het niet behalen van de hoge temperaturen, de aanwezigheid van koudere zones door een niet toereikende menging tijdens verbranding of door een te korte blootstellingstijd (Brunschwiler, 2023). Hoewel PFAS ook in bouwstoffen aanwezig zijn, is er nog weinig informatie over de verschillende bronnen en over de specifieke risico's die dit met zich meebrengt (Janousek et al. 2019).

Het Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO), voert momenteel een studie uit naar de aanwezigheid van PFAS in puinmonsters aan de hand van totaalanalyses en schudtesten. Deze verkenning is nog niet afgerond maar op basis van een verkennend gesprek geeft de studie al inzicht in bouwstoffen die verdere aandacht vragen voor vervolgonderzoek naar het uitloggedrag van PFAS uit bouwstoffen. In de studie is PFAS aangetoond in menggranulaat, betongranulaat, asfaltgranulaat, sorteerzeefzand en betonzeefzand. Daarnaast benadrukt dit onderzoek ook het belang van uitlogonderzoek, omdat de gevonden totaal concentraties lager uitvielen ten opzichte van uitlogconcentraties. Naar een verklaring hiervoor werd nog gezocht. Met andere woorden, uitlogconcentraties zijn niet altijd gelijk aan die van de samenstelling.

### *Brandvertragers*

Brandvertragers worden in veel producten toegepast. Verbindingen als Polybroomdifenylether (PBDE's), Hexabroomcyclododecaan (HBCDD), Hexabroombifenyl (HBB) en gechloreerde parafines (SCCP's) zijn als zeer zorgwekkende stoffen in bouwstoffen geïdentificeerd (UNEP, 2021). Ook tris(2-chloorethyl)fosfaat wordt als toegepaste brandvertrager met bouwstoffen in relatie gebracht. In het verleden zijn deze zorgwekkende brandvertragers toegepast in bouwstof gerelateerde bouwstoffen en kunnen daarom bij (her)gebruik mogelijk aanwezig zijn. Naast metalen worden de brandvertragers HBCDD en PBDE geïdentificeerd als prominent aanwezige stoffen in bouw- en sloopafval (Gallen et al. 2016); Molla et al. 2021).

De volgende toepassingen van brandvertragende middelen zijn relevant voor (her)gebruik van bouwstoffen, zoals isolatiemateriaal (piepschuim), textiel, vloeren, daken, coatings, verf, primers en kabels (ECHA, 2023). Deze stoffen zijn door Europese Autoriteiten verboden wegens de eigenschappen van persistentie, bioaccumulatie, toxiciteit (UNEP, 2021). Gebromeerde brandvertragers breken af onder de juiste zuurstofgraad en temperatuur van 280-900°C (Altarawneh et al. (2019)). Bij onvolledige verbranding door een afvalverwerkingsinstallatie van

materialen die gebromeerde brandvertragers bevatten, kunnen onder meer dioxinen en furanen (PXDD/F's en PBDD/F's) en PBDE's gevormd worden die schadelijk zijn voor mens en milieu (Broekman, 2014); Altarawneh et al. 2019). Deze stoffen worden gevonden in assen van verbrand huishoudelijk afval en bedrijfsafval. Daarbij zijn in de verordening van het Europees Parlement maximale concentratiewaarden voor de genoemde brandvertragers opgelegd voor afval van thermische processen (waaronder stromen van slakken, vlieggas, zoutslakken), bouw- en sloopafval (waaronder beton, steen, tegels, overig bouw- en sloopafval) en afval van installaties voor afvalbeheer (waaronder afval van verbranding (AEC's of AVI's), zoals bodemassen, vlieggassen, ketelas) (ECHA, 2023).

Dat bovengenoemde brandvertragers niet meer worden toegepast in nieuwe producten, is geen garantie dat deze stoffen en schadelijke afbraakstoffen niet vrij kunnen komen bij het (her)gebruik van oude bouwstoffen. Met name bouwpuin bestaat uit materialen die in het verleden nog toegestaan waren en vragen voor dergelijke stoffen om aandacht. Daarnaast moet ook aandacht komen voor de mogelijke gevolgen van huidige brandvertragers, zoals chloorparaffines met een ketenlengte van C14 en langer (MCCP's). Voorbeelden van uitloging van brandvertragers uit zowel generiek huishoudelijk afval, als sloopafval zijn bekend (Weber et al. 2011; Nie et al. 2015). Dit onderstreept het belang van nader onderzoek naar de aanwezigheid brandvertragers in bouwstoffen.

#### *Ozon afbrekende stoffen*

Onder deze groep vallen chloor-fluor-koolstoffen (CFK's), chloor-fluor-koolwaterstoffen (HCFK's). Deze stoffen worden geïdentificeerd als zeer zorgwekkende stof in bouwmaterialen en worden vaak toegepast voor de productie van schuim en isolatiematerialen (UNEP, 2021). Voorbeelden zijn PUR schuim of polystyreen. Door de vluchtigheid van deze stoffen ligt het voornaamste risico bij echter de atmosfeer en de gevolgen voor de ozonlaag.

#### *Polychloornaftaleen (PCN)*

Polychloornaftaleen is persistent, bioaccumulatief en toxisch, daarnaast werd het toegepast in producten die voorkomen in de bouwsector. Hieronder vallen coatings, verf, lak, en kan het toegepast worden in de bewerking van hout (UNEP, 2021). PCN's zijn uitgefaseerd rond de jaren tachtig, daarmee kan worden verwacht dat deze stoffen in secundair bouw materiaal aanwezig kunnen zijn. Daarnaast kunnen PCN's ook onbedoeld geproduceerd worden bij thermische processen, zoals afvalverbranding, koolproductie, secundair metaal smelten en cement productie (Liu et al. 2014; Klimczak et al. 2023).

#### *Dioxine*

In Regeling bodemkwaliteit (Bijlage B) is de som van dioxine opgenomen als normwaarde voor grond en baggerspecie, maar voor bouwstoffen ontbreekt normering. Deze groep chemische stoffen wordt gekenmerkt door het toxische, persistente en bioaccumulerende karakter. Door industriële thermische processen en door afvalverbranding kunnen deze dioxines ontstaan (Zhao et al. 2022). Vlieg- en bodemassen worden geassocieerd met verhoogde

concentraties waarvoor ook verschillende saneringsmogelijkheden zijn ontwikkeld (Wei et al. 2021).

#### *Acrylamide*

Deze stof wordt gelinkt aan een toxisch effect voor milieu en gezondheid. Acrylamide wordt toegepast voor de productie van coatings, verf en grouts<sup>11</sup> (Bouwman, 2015). In 2012 is acrylamide onder restrictie geplaatst en moet het aandeel van de stof in een mengsel een kleiner percentage hebben dan 0,1 wt% voor grout toepassingen (European Union, 2011). In sloopafval en daarmee in secundaire bouwstoffen kunnen wellicht verhoogde acrylamide gehalten voorkomen.

#### *Nonylfenol en octylfenol ethoxylaate*

Nonylfenol en octylfenol kunnen schadelijk zijn voor de hormoonhuishouding (Van Vlaardingen, 2003). Voorbeelden van toepassingen in producten zijn verf, vernis, lijm, coating, emulgatoren en opschuimmiddel in beton (UNEP, 2021).

#### 4.3.2 *Mengsels van stoffen*

De huidige toetsing van bouwstoffen is gericht op een beoordeling per stof voor een beperkt aantal stoffen. Algemeen bekend is dat de blootstelling aan combinaties van stoffen tot een verhoogd risico leidt. Het effect van meerdere stoffen op de ecologie kan worden uitgedrukt met een zogenoemde msPAF (Meer-stoffen Potentieel Aangetaste Fractie). Deze toets berekent de totale toxische druk van het mengsel. Voor bijvoorbeeld baggerspecie geldt de vastgestelde grenswaarde van 50% voor de msPAF als maximale waarde voor het verspreiden van baggerspecie over aangrenzende percelen. Bij de beoordeling van de kwaliteit van oppervlaktewateren is een werkwijze ontwikkeld voor de praktijk van waterbeheerders, die de cumulatieve effecten van onbedoelde mengsels inzichtelijk maakt. Deze is via de website [www.sleutelfactortoxiciteit.nl](http://www.sleutelfactortoxiciteit.nl) beschikbaar. Ook voor bodem wordt momenteel geadviseerd om het principe van combinatietoxicologie vorm te geven (zie Otte et al. 2024).

#### 4.3.3 *Vertaling uitloogproeven naar de praktijk*

In de praktijk wordt soms een ongewenste uitloging van stoffen geconstateerd terwijl men dit op basis van toetsing aan wet- en regelgeving middels de voorgeschreven uitloogproeven niet had verwacht. Hiervoor zijn twee verklaringen te geven: Uitloging als gevolg van fysische processen en uitloging als gevolg van chemische processen.

De beoordeling op basis van de standaard uitloogproeven van de bouwstoffen vindt meestal kort na de productie plaats (vers product). Veelal wordt hierbij gebruikt gemaakt van de vereenvoudigde uitloogproef waarbij alleen een eindwaarde in mg/kg bij L/S10 wordt gerapporteerd en getoetst aan normstelling. Er is dus geen zicht op de uitloofracties op verschillende tijdstippen. Deze informatie is wel beschikbaar als een volledige uitloogproef wordt gedaan conform de NEN7373.

<sup>11</sup> Een mengsel van cement, water en eventueel ook gemengd met toeslagmateriaal en hulpstoffen. Grouts worden ook toegepast in de bodem door het te vermengen met grond.

De resultaten van de vereenvoudigde uitloogproeven kunnen worden vertaald naar de lange termijn uitloging in de praktijk, door gebruik te maken van de dichtheid van het bouwstof, de hoogte van de toepassing en de verwachte netto infiltratie van water. Daarbij wordt aangenomen dat het uitlooggedrag in de praktijk op de lange termijn zich net zo manifesteert als in de proef. In de praktijk zijn er echter zeer veel factoren die kunnen afwijken van ideale standaard laboratoriumomstandigheden. Praktijkgegevens, zoals monitoringsgegevens van grondwater, oppervlaktewater of drainagewater, zijn daardoor vaak moeilijk rechtstreeks te interpreteren als men alleen beschikt over gegevens van een enkele (vereenvoudigde) uitloogproef (Dijkstra, 2024). Het afleiden van uitloogmechanismen en daardoor begrijpen wat de uitloging in de praktijk door de jaren heen zou kunnen gaan doen, is alleen mogelijk wanneer men de volledige uitloogproef heeft uitgevoerd.

De standaard kolom- en diffusieproeven beschouwen de uitloging als een resultante van hoofdzakelijk fysische processen. De onderliggende chemische processen zijn echter net zo belangrijk en vaak zelfs doorslaggevend voor de concentraties die in de uitgeloopte oplossing gemeten worden. Zo is in paragrafen 2.4.2 en 4.2.1 al inzichtelijk gemaakt, welk effect een pH verandering kan hebben op het uitlooggedrag van verschillende stofgroepen en in het bijzonder metalen. Dit chemische proces is met name belangrijk bij alkalische bouwstoffen waarbij na toepassing op termijn veranderingen aan de oppervlakte optreden zoals neutralisatie en oxidatie die effecten hebben op de materiaaleigenschappen en daarmee de uitloging van metalen waaronder (oxy)anionen en hoofdelementen (calcium, natrium et cetera). Dit wordt ook in paragraaf 4.2.1 het toegelichte verouderingseffect genoemd. Voor specifieke situaties, zoals veroudering of afwijkende korrelgrootte zijn technische aanpassingen van de kolom- en diffusieproef voorgesteld door Van der Sloot et al. (2001). In sommige gevallen zijn ook standaarden ontwikkeld, bijvoorbeeld een anaerobe kolomproef zoals de NEN 7384 of de in paragraaf 2.4.2 beschreven pH-afhankelijkheidsproef.

In dit kader is het relevant om te noemen, dat er al langere tijd wordt gewerkt aan, vanuit de EU voorgeschreven, uitloogtesten voor bouwstoffen. Op termijn zullen de EN 16637-2 (diffusieproef) en 16637-3 (kolomproef) de huidige NEN 7373 en NEN 7375 vervangen. Naar verwachting zullen de uitkomsten van deze proeven niet veel verschillen van de huidige proeven, omdat de Nederlandse diffusieproef en kolomproef model hebben gestaan voor (onder andere) de Europese varianten voor bouwproducten (Dijkstra, 2024). In beide proeven wordt nog geen rekening gehouden met het pH verouderingseffect.

#### 4.3.4 *Uitloging van organische stoffen*

Voor organische stoffen zijn maximale samenstellingswaarden vastgesteld omdat er rond de inwerkingtreding van het besluit bodemkwaliteit nog geen consensus bestond over betrouwbare uitloogproeven.

Voor anorganische stoffen is bekend dat de (chemische) samenstelling van een bouwstof een beperkte voorspellende waarde heeft voor wat er

uit een bouwstof kan uitlogen. Deze problematiek is eerder inzichtelijk gemaakt voor het gebruik van thermische gereinigde grond, waarbij middels toetsing van de samenstelling (met behulp van de zogenoemde emissietoetswaarde, ETW) een voorspelling werd gedaan voor de te verwachten uitloging. In de praktijk bleek dat er toch sprake was van een te hoge uitloging waar dit op basis van de toetsing aan samenstelling dit niet werd verwacht (Brand et al. 2021).

Voor organische stoffen is minder bekend of de samenstelling een goed criterium is voor de beoordeling van bouwstoffen of dat emissiewaarden de voorkeur hebben. Vooral voor relatief mobiele organische stoffen (zoals PFAS) is het wenselijk om de uitloging uit bouwstoffen te kunnen beoordelen.

Onderzocht moet worden of er inmiddels voldoende consensus is rond het gebruik van de uitloogproeven voor de beoordeling van organische stoffen in bouwstoffen. Voor de Europese kolomproef EN16637-3 en de diffusieproef EN16637-2 geldt dat deze in principe toepasbaar zijn voor organische stoffen, maar de validatie heeft betrekking gehad op een beperkt aantal stoffen en dekt mogelijk niet alle stoffen/stofgroepen waarvoor beoordeling van uitloging overwogen kan worden. Met name voor PFAS geldt dat er nog veel onduidelijk is over uitlooggedrag en de wijze waarop dit gemeten kan worden. Dit zal nader moeten worden onderzocht, voordat beleidsmatig kan worden besloten of er ook voor organische stoffen uitloogcriteria kunnen worden vastgesteld.

#### 4.3.5 *Meerdere levenscycli*

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

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

Omdat de normering van vormgegeven en niet-vormgegeven bouwstoffen van elkaar verschillen, evenals het uitlooggedrag, kan het zijn dat een bouwstof in de eerste levensfase voldoet, maar bij (her)gebruik in een andere levensfase met een andere beoordelingsstrategie niet meer. Ook is er geen garantie dat een bouwstof, als gevolg van het pH- verouderingseffect door carbonatatie,



na de eerste levensfase nog steeds voldoet aan de kwaliteitseisen waaraan het in de initiële test nog wel voldeed. Hierdoor kan het dus gebeuren, dat een bouwstof op termijn of na meerdere levenscycli niet meer voldoet aan normstelling en in het uiterste geval moet worden gestort. Met name als het hierbij om grote hoeveelheden bouwstoffen gaat, kan dit in de toekomst tot problemen leiden met de afzet. In de volgende paragraaf wordt deze problematiek ook aangekaart specifiek voor het (her)gebruik van beton en immobilisaat met een laagwaardige kwaliteit.

#### 4.3.6 *Onvoldoende zicht op immobiliseren en (her)gebruik van producten met laagwaardige kwaliteit*

Bouwstoffen van een onvoldoende kwaliteit kunnen niet direct worden toegepast. Middels een nabehandeling kan de bouwstof worden opgewerkt waardoor deze alsnog vrij toepasbaar is. Deze nabehandeling kost geld en tijd. Een voorbeeld van een nabehandeling is het wassen van AEC-bodemassen waardoor een bouwstof met stabielere eigenschappen en betere chemische kwaliteit wordt verkregen.

Een goedkoper alternatief is het vastleggen of binden van verontreinigingen in de bouwstof om daarmee de uitloogbaarheid terug te dringen. Het vastleggen van de stoffen in een stabiele matrix wordt ook wel immobiliseren genoemd. Dit is een veelgebruikte werkwijze voor het toepassen van secundaire bouwstoffen waarvan verhoogde uitloogbare concentraties van stoffen het (her)gebruik als vrij toepasbare niet-vormgegeven bouwstoffen verhinderen.

In 2022 heeft het ILT in een signaalrapportage haar zorg uitgesproken omdat de kwaliteit van bodemas niet verbetert. Het gaat hierbij om ongewassen bodemassen die tot de invoering van de Omgevingswet als IBC-bouwstof mochten worden toegepast. Volgens het ILT is er een verschuiving ontstaan in de afzetmarkt voor bodemas. In plaats van extra inspanningen om de kwaliteit van bodemas te verbeteren, worden de bodemassen vaker verwerkt in immobilisaten (ILT, 2019 en 2022). Het toepassen als IBC-bouwstof is met ingang van de omgevingswet per 1 januari 2024 niet langer toegestaan.

In deze rapportage onderscheiden we twee vormen van immobiliseren, 1) het bijmengen van secundaire bouwstoffen in beton en cementproducten ter vervanging van primaire bouwstoffen en 2) de productie van immobilisaat. Het bijmengen van secundaire bouwstoffen (o.a. bodem- en vliegassen) als bind- en vulmiddel in beton en cement heeft naast (her)gebruik ook een civieltechnisch voordeel of zelfs noodzaak in verband met de gewenste binding en uitharding van het product. De productie van immobilisaat wordt voornamelijk toegepast om verontreinigingen te binden en zo het hieruit volgende product toepasbaar te maken. Bij immobilisaat en in mindere mate beton heerst er onduidelijkheid over welke secundaire bouwstoffen en met welke concentraties er precies worden gemengd. Immers wordt alleen het eindproduct (het beton of immobilisaat) getoetst aan wet- en regelgeving.

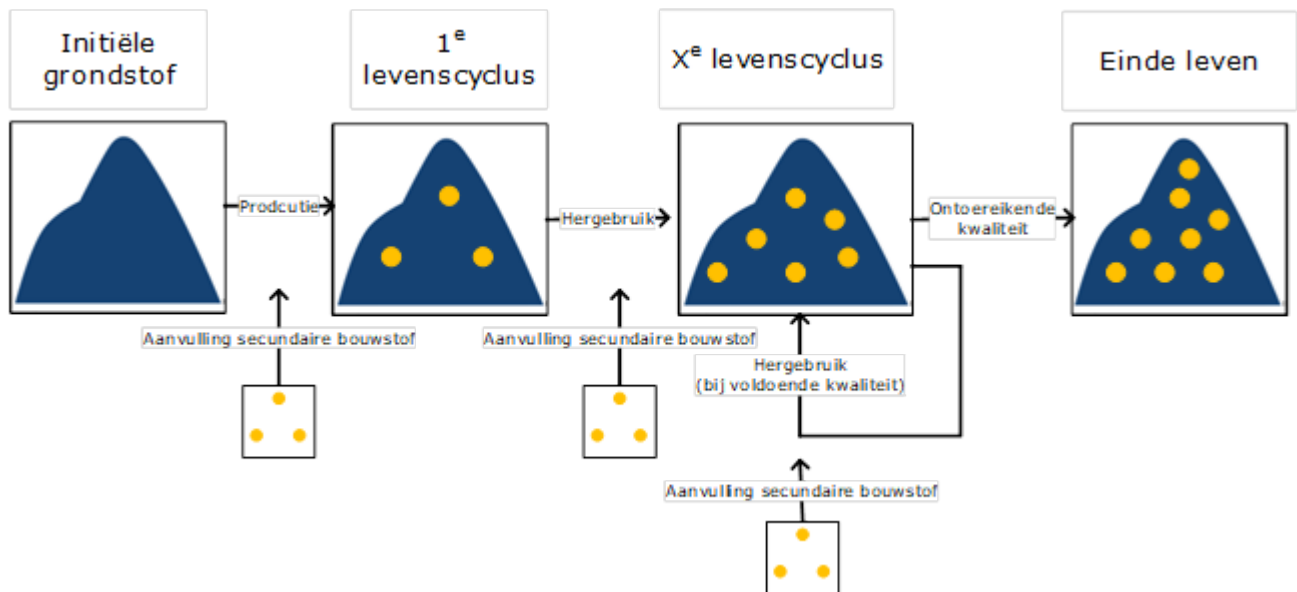
In het onderzoek van RHDHV uit 2021 bleek dat de volgende bouwstoffen worden geïmmobiliseerd:

- AVI/AEC-bodemas;
- Baggerspecie;
- Cellenbeton;
- Niet-reinigbaar straalgrit;
- Poederkoolvliegias;
- Recyclinggranulaat;
- Snijzand;
- Sorteerveefzand;
- Staalslak;
- Thermische gereinigde grond;
- Verontreinigde grond;
- Vormzand.

Hierbij worden alleen poederkoolvliegias, recyclinggranulaat en deels AVI/AEC bodemas toegepast in beton om primaire grondstoffen te vervangen. De overige bouwstoffen worden uitsluitend gebruikt voor de binding van verontreinigingen (Van Dijk, 2021).

Het risico van immobiliseren kan zich uiten op twee manieren. Allereerst zal de kwaliteit van de bouwstoffen niet verbeteren na het bijmengen; de stoffen worden enkel in een matrix vastgelegd. Wanneer de vormvastheid van het eindproduct door (her)gebruik als granulaat of verwerking over tijd wordt aangetast, kunnen scheuren, brokken en/of gruis ontstaan. Hierdoor kunnen eerder vastgelegde stoffen alsnog vrijkomen. Dit wordt in de praktijk voornamelijk bij onjuist toegepast immobilisaat gezien bijvoorbeeld als immobilisaat onvoldoende is aangetrild of uitgehard.

Ten tweede kan de algehele kwaliteit van het eindproduct (het beton of immobilisaat) over tijd en bij (her)gebruik in meerdere levenscycli verslechteren omdat er na de initiële toepassing geen zicht meer is op de exacte samenstelling en waar deze zijn toegepast. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.4. In het figuur is te zien dat secundaire bouwstoffen worden toegevoegd aan de initiële grondstof voor beton gedurende de eerste levenscyclus. Hierdoor neemt de concentratie in beton toe. Wanneer dit beton vervolgens opnieuw wordt gebruikt in beton worden er opnieuw secundaire bouwstoffen toegevoegd om de beoogde civieltechnische eigenschappen te behalen. Hierdoor nemen de concentraties verder toe. Per levenscyclus kunnen deze concentraties verder oplopen tot het eindproduct niet meer voldoet aan de gestelde normwaarden.



Figuur 4.4 schematisch scenario van een levenscyclus van toenemende verontreiniging binnen en bouwstofketen.

Met de ingang van de Omgevingswet op 1 januari 2024 geldt er voor AEC-bodemassen en immobilisaat een informatieplicht. Daarvoor hoefde een toepasser niet te melden waar bouwstoffen zijn toegepast. Bij deze werken is niet altijd bekend of er sprake is van een secundaire bouwstof en welke kwaliteit deze heeft. Wanneer een werk zijn functie verliest, komen de bouwstoffen vaak weer diffuus als granulaat terug in de grondstoffenketens. Tijdens het acceptatieproces van deze stroom is er onvoldoende inzicht in de herkomst en samenstelling van het materiaal. Hierdoor kunnen bouwstoffen die formeel uitgesloten zijn voor acceptatie toch in een deelstroom komen (ODNL, 2022). Hierbij valt te denken aan (her)gebruik van immobilisaat, beton en andere granulaten. Als gevolg hiervan kunnen relatief schone bouwstofstromen onnodig snel vergrijzen waardoor schadelijke stoffen die eerst bijvoorbeeld als immobilisaat of vormgegeven beton waren vastgelegd, alsnog uitlogen.

#### 4.3.7 Zichtbare verontreiniging en vrij toepasbaar

Bouwstoffen worden alleen beoordeeld aan de hand van de maximale emissiewaarden en samenstellingswaarden welke een geaccepteerde chemische kwaliteit moeten waarborgen. Als de bouwstoffen hieraan voldoen zijn deze vrij toepasbaar ongeacht de locatie. Wel is een producent of leverancier verplicht om eventuele randvoorwaarden en beperkingen bij het gebruik van een product te vermelden en moet de toepasser hier rekening mee houden.

Er zijn geen eisen gesteld aan zichtbare verontreiniging van een bouwstof, zoals de aanwezigheid van batterijen, plastics, piepschuim of een kleurverandering door verwerking (zoals roestvorming). Een uitzondering hierop is recyclingsgranulaat waarbij vanuit EU voor

overige verontreinigingen een grenswaarde<sup>12</sup> geldt en in de toekomst ook voor AEC-bodemassen waarschijnlijk een grenswaarde wordt ingevoerd voor batterijen. Voor klassieke toepassingen (als fundering onder wegen) en de meeste bouwstoffen is het ontbreken van een norm voor zichtbare verontreinigingen geen groot probleem. Voor AEC-bodemassen en recyclinggranulaat echter wel. In deze bouwstoffen blijven grotere hoeveelheden zichtbare verontreinigingen aanwezig ondanks normering. Dit kan verklaard worden door het lage gewicht van deze zichtbare verontreinigingen in relatie tot een grenswaarde gebaseerd op massa. Door het lage gewicht kan er toch een zichtbare hoeveelheid verontreiniging aanwezig zijn voordat de grenswaarde wordt overschreden. Zoals ook is gebleken het toepassen van recyclinggranulaat in natuurgebieden waarin plastics zichtbaar aanwezig zijn en bij de toepassing van AEC-bodemassen met daarin zichtbare aanwezigheid van batterijen in de gemeente Katwijk (Negash, 2022). Bij AEC-assen kan de aanwezigheid van zichtbare verontreinigingen deels gelinkt worden aan een onvolledige verbranding van het ingenomen huishoudelijk afval en bedrijfsafval. Metalen en daarmee ook batterijen verbranden echter helemaal niet en zullen ook bij langdurige verbranding in de AEC-assen achterblijven. Bij recyclinggranulaat blijven zichtbare verontreinigingen veelal achter omdat het product voldoet aan normstelling en er geen stimulans is om een schoner product te leveren dan volgens de wet noodzakelijk. De markt geeft geen hogere prijs voor een schonere bouwstof (Van Raak et al. 2023).

Zowel voor de zichtbare verontreinigingen, als de aanwezige klassieke chemische verontreinigingen geldt dat mensen en dieren hiermee in direct contact kunnen komen als er geen afdekking aanwezig is. Voor mensen moet gedacht worden aan de inhalatie door verwaaiing, huidcontact of ingestie (middels hand-mond contact) van bouwstofdeeltjes. Hierdoor kan bij alkalische bouwstoffen irritatie aan huid en slijmvliezen optreden. Met deze vorm van blootstelling is in het huidige normeringskader voor bouwstoffen geen rekening gehouden. Eventuele risico's als gevolg van direct contact zijn nu dan ook onvoldoende in beeld. Ook als de zichtbare verontreinigingen niet direct tot een ongewenst milieu of gezondheidseffect leiden, kan de zichtbare aanwezigheid de maatschappelijke acceptatie van (her)gebruikte bouwstoffen nadelig beïnvloeden.

#### 4.3.8 *Onderzoeksrichtingen*

##### *Monitoring kwaliteit bouwstoffen*

In 2007 heeft voor het laatst een grootschalige monitoring van de kwaliteit van bouwstoffen plaatsgevonden (De Wijs en Cleven, 2007). In de jaren daarna zijn er nieuwe bouwstoffen op de markt gekomen en zijn productieprocessen aangepast. Hierdoor kan ook de chemische kwaliteit van bouwstoffen veranderen. Er is momenteel onvoldoende zicht op de algehele kwaliteit van bouwstoffen die vandaag de dag worden gebruikt. Dit wordt verstrekt door het feit dat bouwstoffen alleen getoetst worden op de in het normeringskader voorgeschreven stoffenlijst. Daarmee is het onbekend welke relevante stoffen in deze bouwstoffen kunnen voorkomen.

<sup>12</sup> Het maximumgehalte aan verontreinigingen als bedoeld in artikel 5.6 in NEN-EN 13242:2003+A1:2008, in het recyclinggranulaat bedraagt maximaal: bij verontreinigingen met een soortgelijke massa van 1.000 kg/m<sup>3</sup> of minder < 10 cm<sup>3</sup>/kg

Voor sommige bouwstoffen is kennis over de chemische samenstelling relevanter dan voor andere. Middels een tweetal voorbeelden wordt dit geïllustreerd. Het productieproces van staalslakken is over de jaren nauwelijks veranderd, waardoor de chemische samenstelling van de staalslakken naar alle waarschijnlijkheid ook niet heel anders zal zijn. Echter, de chemische kwaliteit van AEC-bodemassen is afhankelijk van het soort afval dat verbrand wordt. Over jaren is de samenstelling van huishoudelijk afval en bedrijfsafval veranderd. Bovendien wordt ook huishoudelijk uit het buitenland in Nederland verwerkt. AEC-bodemassen worden sinds de Green Deal (2012) ook intensiever nabehandeld, zodat de kwaliteit van recente bodemassen vermoedelijk anders is dan de kwaliteit van voor 2012. Tegelijkertijd blijkt uit onderzoek van Dijkstra et al. (2019) dat de samenstelling van AEC-bodemassen verrassend uniform is in verschillende EU-lidstaten.

Ook de opkomst van met name persistente- en mobiele stoffen zoals PFAS maakt een kwaliteitsbepaling wenselijk. Daarom is het aan te bevelen om een generieke monitoring van de chemische kwaliteit van bouwstoffen uit te voeren en deze te vergelijken met de kennis uit 2007. Afhankelijk van de uitkomsten kan overwogen worden om de monitoring structureel te herhalen of alleen enkele bouwstoffen te selecteren die gevoelig zijn voor variatie. Een voorstel voor de stoffenlijst die hierbij gehanteerd moet worden en hoe om te gaan met (nieuwe) niet-genormeerde stoffen wordt in de volgende paragraaf uitgelegd.

#### *Methodiek toekomstige niet-genormeerde stoffen*

Het is een gegeven dat nieuwe stoffen zich zullen voordoen in de toekomst. Om ongewenste verspreiding en milieueffecten in de toekomst te ondervangen is het nodig om deze toekomstige niet-genormeerde stoffen vroegtijdig te signaleren om de risico's te kunnen inperken. Een gestandaardiseerde methodiek kan hierbij uitkomst bieden. Binnen het RIVM wordt een algemene methodiek voor niet-genormeerde stoffen (AMNS) in bodem ontwikkeld (Tabel 4.1). Deze methodiek heeft als doel een signaleringsstrategie op te zetten met het oog op bodembeheer bij (her)gebruik van grond en bagger. Een dergelijke methodiek kan aangepast worden voor bouwstoffen en zo houvast bieden om bekende en nog onbekende niet-genormeerde stoffen te signaleren en prioriteren. Vervolgens kunnen op basis van metingen tijdelijke of definitieve risicogrenzen gesteld worden voor het duurzaam (her)gebruik van bouwstoffen. In Tabel 4.1 is een aanzet gegeven hoe een AMNS voor bouwstoffen vormgegeven kan worden. De verdere uitwerking van deze stappen moet plaatsvinden in samenhang met het AMNS bodem en kan in een vervolgtraject verder worden uitgewerkt.

Tabel 4.1 stappen binnen de algemene methodiek niet-genormeerde stoffen bodem toegepast voor bouwstoffen.

<b>Stappen</b>	<b>AMNS Bodem</b>	<b>AMNS Bouwstoffen</b>
1. Signalering breed	Onderzoek op basis van 'Expert judgement' gevoed met bronnen zoals (p)ZZS lijsten, waarnemingen in andere compartimenten, wetenschappelijke literatuur. Daarnaast meldpunt/meldplicht bevoegde overheden o.b.v. signalen die voortkomen uit lokaal of regionaal bodemonderzoek	Onderzoek op basis van 'Expert judgement' gevoed met bronnen zoals (p)ZZS lijsten, waarnemingen in andere compartimenten, wetenschappelijke literatuur. Daarnaast meldpunt signalen vanuit Rijkswaterstaat, ILT, Omgevingsdiensten en lokale/regionale overheden. Indien van toepassing meldplicht voor kritische bouwstoffen.
2. Prioritering	Door werkgroep van signaleringsexperts wordt een shortlist voorgesteld van landelijk te meten stoffen op in land- en waterbodem	Door werkgroep van signaleringsexperts wordt een shortlist opgesteld. Hierin staat centraal welke stoffen worden gemeten en in welke bouwstoffen het meest waarschijnlijk wordt geacht dat deze stoffen voorkomen, opdat deze bouwstoffen kunnen worden onderzocht.
3. Meten	Stoffen op de shortlist worden landsdekkend gemeten	Terugkerende monitoringsronde voor verschillende bouwstoffen aan de hand van standaard pakket (reguliere monitoring). Gesignaleerde stoffen uit stappen 1 en 2 worden aan pakket toegevoegd voor geïdentificeerde bouwstoffen.

<b>Stappen</b>	<b>AMNS Bodem</b>	<b>AMNS Bouwstoffen</b>
4. (Indicatieve) risicogrenzen, achtergrondwaarden	Voor stoffen die diffuus worden aangetroffen worden achtergrondwaarden en Indicatieve Risicogrenzen (IRG) afgeleid. De beschermdoelen en -niveaus van de IRG zijn ontleend aan die van de Maximale Waarden uit de Regeling bodemkwaliteit. Streeftermijn afleiding is circa 6 maanden na afronden bodemonderzoeken	4.1) Voor stoffen die in vrijwel alle bouwstoffen worden aangetroffen wordt gekeken of reeds een achtergrondwaarde voor bodem beschikbaar is. 4.2) Verkenning IRG, zoals een samenstellingswaarde, bij concentraties in bouwstoffen hoger dan de achtergrondwaarden bodem. 4.3) Mogelijk afleiden van maximale emissiewaarden, indien de stof mobiel is.
5. Vastleggen in normering/ beleidsmatige opvolging	Diffuus aangetroffen stoffen kunnen op termijn worden toegevoegd aan de reguliere analysepakketten en -normering. Indien nodig worden er signalen afgegeven naar andere kaders (bijvoorbeeld grondwater, drinkwater)	Stoffen die in bouwstoffen worden aangetroffen over het merendeel van de productieketen en/of milieuhygiënische problemen veroorzaken, kunnen worden toegevoegd aan reguliere normeringskader bouwstoffen.

Binnen de reguliere normering van bouwstoffen kennen we de samenstellingswaarde voor organische stoffen (de maximaal toegestane concentraties in de bouwstof) en de maximale emissiewaarde voor anorganische stoffen. In het geval van niet-genormeerde stoffen kan het (tijdelijke) gebruik van een maximale samenstellingswaarde als eerste indicatieve risicogrens (IRG) bruikbaar zijn, omdat de samenstelling relatief eenvoudig kan worden gemeten. In de gevoerde gesprekken kwam naar voren dat enkele omgevingsdiensten al zelfstandig besloten hebben om samenstellingswaarden voor de beoordeling van PFAS in bouwstoffen te hanteren in afwachting van landelijke normen.

Bij het aanwijzen van een maximale samenstellingswaarde als IRG is verder onderzoek naar het uitloggedrag van deze stoffen wenselijk.

#### *Handelingskader PFAS*

In 2024 is door Wintersen et al. modelmatig onderzoek gedaan naar het uitloggedrag van PFAS uit grond en bagger met als doel om tot generieke risicogrenzen te komen voor uitloging. De verspreiding van PFAS naar het grondwater is onderzocht aan de hand van een uitlogmodel (HYDRUS-1D). De verdere verspreiding in grondwater is

onderzocht met een grondwatermodel (MODFLOW 6). Aan de hand van twee uitgangsscenario's (grond- en oppervlaktewater scenario) is voor zowel PFOS als PFOA een risicogrens voor het grondwater en het oppervlaktewater berekend.

De methodiek van de studie door Wintersen et al. (2024) kan een basis bieden voor de methodiek voor het modelmatig herleiden van normen voor PFAS en andere niet-genormeerde stoffen uit bouwstoffen. Wel is gebleken dat er nog relevante informatie ontbreekt om eenzelfde verkenningsslag te maken voor bouwstoffen. Zo ontbreekt kennis van het sorptiegedrag en uitloogsnelheden van PFAS uit bouwstoffen. De sorptie wordt sterk bepaald door het type PFAS en de bodemeigenschappen (Nguyen et al. 2020). Deze data biedt inzicht over de partitie van PFAS over bodem en grondwater. De in 2023 onderzochte sorptiecoëfficiënten van PFOS en PFOA zijn afkomstig uit Wintersen et al. (2020) en zijn enkel bruikbaar voor bodem en niet voor bouwstoffen.

Deze ontbrekende informatie voor de modellering kan worden ondervangen door het uitlooggedrag van de bouwstof te gebruiken als vertaling van de hydrologische en chemische eigenschappen. Dit uitlooggedrag dient aan de hand van uitloogproeven (i.e. kolomproeven) te worden onderzocht. In Verschoor et al. (2006) zijn de uitloog eigenschappen van bouwstoffen voor de verschillende metalen vertaald aan de hand dergelijke uitloogproeven. Met de uitloogproeven wordt onder andere de parameter kappa bepaald, oftewel de mate waarin de immissie over tijd afneemt. Deze waarde ligt ten grondslag aan de uitloogsnelheidsconstante. Of de aanpak middels kappa ook voor PFAS werkt is op voorhand lastig te zeggen en vraagt nader onderzoek. Voor PFAS zijn er namelijk meerdere processen die de kappa kunnen beïnvloeden, zoals mate van verzadiging. Ook moeten relevante bouwstoffen worden geïdentificeerd, omdat niet alle bouwstoffen verhoogde PFAS concentraties bevatten.

#### *Mengsels van stoffen*

In lijn met de adviezen die ook voor het normeringskader voor grond en bagger zijn gegeven (Otte et al. 2024), wordt voorgesteld om een operationalisering van msPAF-methode of toxische druk-benadering voor bouwstoffen te verkennen. Voor oppervlaktewater bestaat al een werkwijze en verkend moet worden of deze ook bruikbaar is voor de beoordeling van bouwstoffen.

#### *Normering voor uitloging organische stoffen verder verkennen*

Geadviseerd wordt om nader onderzoek te doen naar de beschikbaarheid van gestandaardiseerde uitloogproeven voor organische stoffen. Op basis van de uitkomsten kan beleidsmatig een afweging worden gemaakt of uitloognormering voor organische stoffen wenselijk is. In dat geval zullen ook maximale emissiewaarden moeten worden vastgesteld voor organische stoffen.



### *Inbedding beoordeling voor meerdere levenscycli*

De regelgeving voorziet alleen in de initiële beoordeling van de bouwstof als het op de markt komt. Voor het beoordelen van meerdere levensfasen kan het van belang zijn om alle fasen integraal te beoordelen. Dat geldt met name voor producten die gemaakt zijn van een secundair materiaal waarvan bekend is dat dit soms kritisch is ten aanzien van uitloging (zoals bijvoorbeeld ongewassen AEC-bodemas). Naast de toepassingsvorm moet hierbij ook rekening worden gehouden met het pH-verouderingseffect en als gevolg daarvan de veranderende uitloging van bouwmaterialen gedurende de verschillende levenscycli.

In Dijkstra (2024) wordt een teststrategie voorgesteld waarmee vormgegeven bouwstoffen getest kunnen worden op hun kwaliteit en levenscycli. Hierin wordt een combinatie voorgesteld waarbij het verse product middels een kolom- of diffusieproef wordt getest. Om de verdere levensfase te beoordelen wordt een pH-afhankelijkheidsproef op het gebroken puin voorgesteld. Het verse materiaal met een pH 12 en het verouderde materiaal met een pH 8. Een variatie op deze strategie, zonder een pH-afhankelijkheidsproef, is het uitvoeren van twee kolomproeven met vers en verouderd materiaal. Deze strategie is meermaals succesvol gebleken bij de beoordeling van AEC-bodemas en vliegias, biomassa-as en kolenassen ter waarborging van de milieuchemische kwaliteit in meerdere levenscycli (Keulen et al. 2016 en 2018; Tosti et al. 2019; Kosson et al. 2014).

Naast uitgebreider testen kan een uitgebreide vorm van verantwoordelijkheid voor de producent ook gunstig uitpakken bij meerdere levenscycli van een bouwstof. De producent kan gedeeltelijk verantwoordelijk blijven bij de specifieke toepassing van het product. Hierdoor is er een doorwerkende prikkel voor het waarborgen van de milieuchemische kwaliteit van een bouwstof in toekomstige levensfasen. Door de uitgebreide verantwoordelijkheid kan de producent baat hebben bij het naleven van het uitgebreider testen zoals hiervoor beschreven. Hierdoor kan zowel het milieu waarin de bouwstof wordt toegepast, als de toekomstige afzet van secundaire bouwstoffen positief worden beïnvloed.

### *Overwegen randvoorwaarden toepassing in beton en immobilisaat*

Het bijmengen van bepaalde bouwstoffen in beton of cement kan de producteigenschappen zoals binding en uitharding van het beton verbeteren en het gebruik van primaire grondstoffen verminderen. Het blijft dan ook wenselijk om bepaalde secundaire bouwstoffen te kunnen verwerken bij de productie van beton en cement. Wel kunnen er randvoorwaarden worden gesteld voor het bijmengen van secundaire bouwstoffen in beton of cement om de algehele kwaliteit te verbeteren en het 'wegmengen' van bouwstoffen met een mindere kwaliteit te voorkomen. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van een minimum kwaliteitseis. Een voorbeeld hiervan is om alleen gewassen AEC-bodemassen bij te mengen in beton en de bijmenging van ongewassen bodemassen uit te faseren. Hierdoor wordt de productieketen minder zwaar belast, worden producenten gestimuleerd om een product van verbeterde kwaliteit te produceren en wordt een gelijk speelveld voor de productie van bouwstoffen gecreëerd. Op termijn resulteert dit in een verhoging van het (her)gebruik in

verschillende levenscycli en (her)gebruik van bouwstoffen. Een andere voorwaarde die overwogen kan worden is om alleen producten bij te mengen die noodzakelijk zijn en civiel technische voordelen opleveren voor het eindproduct bijvoorbeeld een verbeterde uitharding of binding.

#### *Immobiliseren als laatste keuze*

Het immobiliseren van verontreinigingen zou als laatste keuze moeten worden gezien. Alleen producten die redelijkerwijze met de best beschikbare technieken niet kunnen worden opgewerkt of anderszins kunnen worden (her)gebruikt zouden in aanmerking kunnen komen voor immobilisatie als dit de voorkeur heeft boven gericht storten. Hieraan zou ook een registratiesysteem gekoppeld kunnen worden, zodat bekend is waar het is toegepast en welke kwaliteit het heeft.

#### *Normstelling zichtbare verontreinigingen*

Vanuit de praktijk wordt de behoefte uitgesproken tot het opnemen van normstelling voor zichtbare verontreinigingen in bouwstoffen (Van Raak et al. 2023). Hierbij gaat het om materialen als batterijen en plastics. Sommige bouwstoffen kunnen ook een kleur afgeven, denk aan de witte uitslag op staalslakken. In 2022 heeft Negash aandachtspunten en vragen meegegeven specifiek bij het opstellen van normstelling voor batterijen in AEC-bodemassen. Grotendeels zijn deze aandachtspunten en overwegingen ook door te trekken naar andere zichtbare verontreinigingen.

Voordat tot vaststelling van een grenswaarde wordt overgegaan wordt geadviseerd de volgende aandachtspunten en vragen mede in beschouwing te nemen:

- 1) Kan de vaststelling van een norm leiden tot opvulling van die norm en is dit niet strijdig met de doelstelling om zichtbare verontreinigingen zoveel mogelijk te weren middels verbetering van het productieproces? Specifiek voor batterijen kan een norm in bouwstoffen de inspanningen die worden gedaan voor een aparte inzameling en recycling van batterijen frustreren.
- 2) Een norm van bijvoorbeeld 1 massaprocent batterijresten resulteert nog steeds in de aanwezigheid van enkele honderden tot wel duizend batterijen per kuub AEC-bodemassen vanwege het lage gewicht van de batterijen. Dit geldt ook voor andere met name lichte zichtbare verontreinigingen zoals plastics of piepschuim. Hierdoor is het risico op direct contact door mens en dier en verdere verspreiding in het milieu nog steeds aanwezig.
- 3) Is het, bij de toetsing aan een grenswaarde voor batterijresten in bouwstoffen, mogelijk onderscheid te maken tussen batterijresten en ander metallische restproducten? Bij een normwaarde voor metallische restproducten kunnen ook de restanten van bijvoorbeeld spuitbussen vallen.
- 4) De normen (maximale emissiewaarden) voor metalen zijn afgeleid voor stoffen die, chemisch/fysisch gezien, onderdeel uitmaken van een bouwstof. Daarmee wordt bedoeld dat ze niet meer te onderscheiden zijn van de andere bestanddelen. Dit verschilt met de aanwezige batterijresten in bijvoorbeeld AEC-bodemassen.

- 5) In geval men streeft naar normering van zichtbare verontreinigingen dan moet dit gelden voor alle vormen van zichtbare verontreinigingen en voor alle soorten bouwstoffen. .
- 6) Mogelijk conflicteert de vaststelling van een normwaarde met doelen voor afvalstoffen. Zo is het EU-beleid gericht op het weren van batterijen in het milieu (een norm mag daar dus niet mee conflicteren). Het mede in beschouwing nemen van relevante Europese afvalstoffenregelgeving en doelstellingen is nodig.
- 7) Mogelijk conflicteert de vaststelling van een normwaarde met het ZZS stoffenbeleid dat gericht is op het voorkomen van ZZS in het milieu (waaronder een minimalisatie verplichting van emissies). Batterijen kunnen lood, cadmium, kwik bevatten (en mogelijk andere schadelijke stoffen), dit zijn ZZS. Deze komen op een zeker moment vrij beschikbaar en kunnen dan leiden tot bodemverontreiniging. Bij de mogelijke vaststelling van een norm wordt geadviseerd na te gaan of dit conform het ZZS beleid is om te komen tot een minimalisatie van de emissies en of de zorgplicht in voldoende mate wordt ingevuld.
- 8) Met betrekking tot circulariteit kan afgevraagd worden of er voldoende zicht is op de productieketen van een secundaire bouwstof. De omvang van de verwerking van restafval (hoeveelheden, nationaal- en importstromen), en de hoeveelheid zichtbare verontreinigingen in het eindproduct, de hoeveelheid af te zetten bouwstof in Nederland en voor de export. Oftewel zitten er in de keten 'kranen' om deze problematiek op een andere wijze, dan via normering, aan te pakken.

*Onderzoek risico's bij vrije toepassing en direct contact*

Indien bouwstoffen zonder afdekking vrij mogen worden toegepast kunnen mensen en dieren in direct contact komen met de bouwstoffen en de daarin aanwezige (chemische) stoffen en zichtbare verontreinigingen. In de huidige normstelling is deze vorm van blootstelling niet beoordeeld en daarmee zijn eventuele risico's niet in beeld. Onderzocht moet worden hoe vaak toepassingen zonder afdekking in de praktijk voorkomen en welke potentiële risico's hieraan verbonden zijn. Naast toxische effecten zijn hierbij ook andere effecten relevant zoals irritatie-effecten door contact met alkalische pH bouwstoffen.

## **4.4 Toepassing en randvoorwaarden**

### *4.4.1 Uitgangspunten normstelling versus toepassing in praktijk*

Als de bouwstoffen voldoen aan de vastgestelde maximale emissiewaarden en samenstellingswaarden, zijn deze vrij toepasbaar ongeacht de locatie. Een toepassing moet functioneel zijn en er mag niet meer bouwstof worden toegepast dan noodzakelijk is voor het beoogde werk. De definitie van een functionele toepassing is niet nader ingevuld in het normeringskader. Een producent of leverancier van een bouwstof is verplicht om randvoorwaarden voor toepassing mee te geven waar een toepasser of gebruiker rekening mee moet houden. Doorgaans zijn dit gebruiksvoorwaarden zoals toepassing met een afdeklaag of toepassing boven het grondwaterniveau. Een toepasser of gebruiker kan zelf invulling geven aan deze gebruiksvoorwaarden. Voorts blijft ook de specifieke zorgplicht bestaan. Dus ook als een bouwstof voldoet aan de

gestelde normstelling moet rekening worden gehouden met relevante eigenschappen van een bouwstof die bepalend zijn voor de manier van toepassing.

Vanuit het normeringskader zijn er namelijk alleen algemene randvoorwaarden voorgeschreven voor de toepassing van bouwstoffen. Er zijn geen beperkingen zoals maximale hoeveelheden of toegepaste laagdiktes. Bij de modelmatige afleiding van de kritische emissiewaarden, die het referentiekader vormen voor de wettelijke maximale emissiewaarde, is echter wel uitgegaan van een standaard toepassingsscenario met een laagdikte van 0,5 m bouwstof. Hiermee is de bestaande normstelling dus deels gebaseerd op een standaard scenario met een toepassing van 0,5 meter. In de praktijk is er in toenemende mate sprake van grootschalige toepassingen in dikkere lagen dan de in de modellering gehanteerde 0,5 meter. Dit kan meer en langduriger uitloging van stoffen uit de bouwstoffen veroorzaken. Verschoor et al. (2006) heeft ook een gevoeligheidsanalyse gedaan met verschillende toepassingsdiktes variërend van 0,2 m – 2 m. Daarin concluderen zij dat de belasting van de bodem, en dientengevolge concentraties in bodem en grondwater binnen het beschouwde tijdraam direct samenhangen met de toepassingshoogte van het bouw materiaal. Voor het merendeel van de onderzochte stoffen leidt dit tot een lagere kritische emissiewaarden dan afgeleid met het standaard scenario.

Ook wordt binnen wet- en regelgeving geen rekening gehouden met het gecombineerd gebruik van bouwstoffen en grond. Hierbij valt de denken aan het gebruik van een alkalische bouwstof gecombineerd met klasse industrie grond. De beide materialen kunnen elkaar beïnvloeden wat tot ongewenste milieueffecten kan leiden.

#### 4.4.2 *Onduidelijkheid of ontbrekende toepassingsvoorwaarden*

In diverse gesprekken kwam naar voren, dat er onduidelijkheid of discussie kan bestaan over de door de leverancier meegegeven gebruiksvoorwaarden of dat deze voorschriften geheel ontbreken. Met name over de volgende drie punten bestond onduidelijkheid:

- Ontbreken van concrete richtlijnen/regels toepassingshoogte bij gebruik op land. Dit leidt in gevallen tot te dikke lagen bouwstof (al dan niet als 'sandwich' met lagen (verontreinigd) zand ertussen), waardoor de effecten van alkalisch percolaat sterk verergerd kan worden.
- Ontbreken van concrete richtlijnen/regels over hoe en de mate van afdekken (drooglegging) bij gebruik op land, zoals vermijden van contact met hemelwater en grondwater en hoe hier het beste invulling aan kan worden gegeven. In een aantal gevallen is het effect van alkalisch percolaat verergerd door contact met hemel- of grondwater. Voorbeelden hiervan zijn de casussen Eerbeek, Golfbaan Spijk, de Centrale as in Dokkum en de casussen beschreven in Van der Sloot et al. (2007).
- Ontbreken van concrete richtlijnen over toepassing boven grondwater en nabij kleine oppervlaktewateren, waardoor alsnog contact wordt gemaakt met het water.

Neem het voorbeeld van afdekking, dit kan op verschillende manieren worden opgevat. Er kan sprake zijn van een leeflaag van grond

variërend in dikte, het aanbrengen van een asfaltlaag of het aanbrengen van een waterkerende laag waarbij de bouwstof wordt afgedekt met folie om intrede van water te voorkomen. Bij het gebruik van een waterdoorlatende grond, is er nog steeds sprake van infiltratie van water, waardoor veroudering van de bouwstof kan optreden met een veranderende uitloging als gevolg. Bij het gebruik van asfalt is dit effect al veel minder mits de gehele bouwstof is afgedekt maar alleen een waterkerende afdeklaag (middels waterkerende folie, kleilaag of bentonietmatten) kan het effect nagenoeg beperken.

Het gaat in de praktijk ook wel eens fout met de navolging van gebruiksvoorwaarden. Zo heeft immobilisaat een voorgeschreven aantal dagen nodig om uit te harden en mag het niet doorboord worden. In gesprekken met het ILT en omgevingsdiensten werden voorbeelden aangedragen waarbij er bouwmaterieel over het nog uithardende immobilisaat was gereden, immobilisaat onvoldoende was verdicht of dat er heipalen geplaatst werden.

#### 4.4.3 *Onderzoeksrichtingen*

##### *Randvoorwaarden voor toepassing*

Een deel van de in de praktijk ervaren knelpunten zijn te herleiden naar het gebruik van grote hoeveelheden bouwstoffen. Vooral waar het bouwstoffen betreft die gevoelig zijn voor uitloging. Het eerder beschreven pH-verouderingseffect kan bij alkalische bouwstoffen het uitloogeffect van sommige metalen versterken. Overwogen kan worden om aanvullende randvoorwaarden te stellen bij het (her)gebruik van grote hoeveelheden bouwstoffen waarbij de toepassing afwijkt van het gehanteerde standaard scenario. Hoe hier het beste invulling aan gegeven kan worden vraagt nog verder onderzoek. Niet nader onderzochte voorbeelden van randvoorwaarden zijn: Aanvullende toetsing aan maximale emissiewaarden voor dikkere toepassingen, toepassingsvoorwaarden stellen zoals van een waterkerende afdekking zodat het werk droog blijft of een nadere afweging middels een handelingskader zoals de in paragraaf 4.2.4 beschreven toepassingsladder om tot een betere afweging te komen welke bouwstof het meest geschikt is voor de beoogde locatie.

Bij het verkennen van de oplossingsrichting, is aandacht nodig voor een werkbaar en realiseerbaar kader zonder verschuiving van de problematiek naar een andere afzetmarkt.

##### *Definitie functionele toepassing*

Er bestaat geen eenduidige definitie van wat een functionele toepassing is voor bouwstoffen. In de praktijk kan dit leiden tot discussie tussen toepasser en handhaving. Als voorbeeld kan de bouw van een laad- en losdock voor vrachtwagens worden gegeven. De verhoging van het dock kan worden gerealiseerd met behulp van dikkere lagen bouwstoffen. Gelijktijdig kan beargumenteerd worden dat alleen voor de fundering bouwstoffen noodzakelijk zijn en dat de rest van de verhoging met grond kan worden uitgevoerd. Het is wenselijk om te komen tot een nadere definitie van wat er in het algemeen onder een functionele toepassing wordt verstaan. Voor afwijkende werken kunnen dan nadere toepassingsvoorwaarden worden gesteld om ongewenste milieueffect te voorkomen.

*Verduidelijking toepassingsinstructies*

Toepassingsinstructies moeten eenduidig en duidelijk zijn. Omdat de plicht tot informeren bij de producenten ligt, is het wenselijk om in samenwerking de toepassingsvoorwaarden te evalueren, concretiseren en waar nodig te verduidelijken. Als bijgevolg hiervan wordt ook het toezicht en handhaving van een toepassing gefaciliteerd.

*Meld en/of registratieplicht*

Een meld- en registratieplicht in een (landelijk) register voor toepassing op of in de bodem van kritische bouwstoffen zou een deel van het risico wegnemen. Immers, dan is bekend waar de kritische bouwstoffen zijn toegepast en kunnen deze apart van andere gebruikstromen opnieuw en onder de juiste condities verwerkt worden. Deze separate verwerking, voorkomt een vergrijzing van relatief schonere bouwstofstromen en maakt het mogelijk om het eventuele milieueffect van kritische bouwstoffen te monitoren over tijd.

## 5 Conclusie en aanbevelingen

Het doel van deze rapportage is om een overzicht te geven in de totstandkoming van de normstelling, de onderliggende uitloogmodellering en in de praktijk ervaren knelpunten bij de toepassing van bouwstoffen. Op basis van deze informatie zijn onderzoeksrichtingen geïdentificeerd om de kwaliteit en het (her)gebruik van grond en bouwstoffen beter te kunnen beoordelen. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat kan op basis van deze rapportage een prioritering maken van de onderzoeksrichtingen die op de korte en langere termijn opgepakt moeten worden om tot een actualisatie van het normeringskader te komen.

### 5.1 Conclusies

#### 5.1.1 *Normeringskader*

Als onderdeel van deze evaluatie is een reconstructie gemaakt van de totstandkoming van het huidige normeringskader voor het (her)gebruik van bouwstoffen. Hieruit blijkt dat de wettelijke maximale emissiewaarden voor uitloging niet in alle gevallen gebaseerd zijn op de wetenschappelijk onderbouwde kritische emissiewaarden (Verschoor et al. 2006).

Geconcludeerd wordt dat de voorgestelde kritische emissiewaarde voor: Niet-vormgegeven bouwstoffen

- Zijn overgenomen voor chroom, kobalt, nikkel en selenium;
- Beleidsmatig zijn aangescherpt voor cadmium, koper, kwik, lood molybdeen, tin, zink en bromide;
- Beleidsmatig zijn verruimd voor arseen, antimoon, barium, vanadium, chloride, fluoride en sulfaat.

Vormgegeven bouwstoffen

- Zijn overgenomen voor arseen, antimoon, chroom, nikkel, vanadium, chloride, fluoride en sulfaat;
- Beleidsmatig zijn aangescherpt voor cadmium, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, selenium, tin, zink en bromide;
- Beleidsmatig zijn verruimd voor barium.

#### 5.1.2 *Modelmatige onderbouwing*

Uit een analyse van de invoerparameters van de modellen die gebruikt zijn om de kritische emissiewaarden af te leiden, blijkt dat de resultaten van de modellering afhangen van onder andere een aantal beleidsmatig gekozen parameters (zoals tijdraam, milieucriterium, dichtheid van de bouwstof en toepassingshoogte) en inhoudelijke onderbouwde parameters (partiticoëfficiënt, neerslag en verdamping, grondwaterspiegel en uitloogconstante). Geconstateerd wordt dat de beleidsmatig bepaalde invoerparameters een grotere invloed hebben op de berekende kritische emissiewaarden dan de inhoudelijk onderbouwde invoerparameters. De berekende kritische emissiewaarden zijn dus in belangrijke mate gebaseerd op beleidsmatige keuzes die voortkomen uit de wens voor een generiek beoordelingskader.

Uit het bovenstaande volgt, dat een actualisatie van maximale emissiewaarden en de onderliggende uitloogmodellering naar de laatste wetenschappelijke stand der techniek, een beperkte invloed heeft op de normwaarden. Bij een keuze tot het actualiseren van de normwaarden moet dan ook rekening worden gehouden met beleidsmatige aanpassingen uit het verleden, zoals de keuze voor een standaard scenario in de modellering en een beleidsmatig onderbouwde verruiming of aanscherping van de gemodelleerde emissiewaarden. Deze beleidsmatige keuzes waren in het verleden bepalend voor de uiteindelijk vastgestelde maximale emissiewaarden. Het komen tot nieuwe (beleidsmatige) keuzes met betrekking tot de modelparameters en het doorrekenen van verschillende scenario's, vraagt een zorgvuldige afweging en aanzienlijke doorlooptijd. Een aanpassing van het generieke modelscenario met als doel om tot nieuwe normwaarden voor het (her)gebruik van bouwstoffen te komen, kan dan ook niet op korte termijn worden bewerkstelligd.

### 5.1.3 *Milieueffecten*

Uit de knelpuntenanalyse blijkt dat een (groot) deel van de ervaren milieueffecten niet voortkomen uit een tekortkoming van de bestaande emissie- en samenstellingswaarden maar terug te voeren zijn op andere oorzaken. Er zijn grofweg drie oorzaken aan te wijzen voor de ervaren knelpunten bij het (her)gebruik van bouwstoffen.

1. Onjuiste toepassing
 

Deels komt de problematiek voort uit een onjuiste of niet vakkundige toepassing van bouwstoffen. Dit kan veroorzaakt worden door:

  - Onduidelijke toepassingsvoorwaarden of het niet voldoende nakomen van de toepassingsvoorwaarden;
  - Een generieke toepassing van bouwstoffen zonder nadere afweging of een bouwstof wel geschikt is voor de beoogde locatie
  - Onvoorziene omstandigheden zoals verzakkingen van werken of stijging van grondwaterspiegel.
2. Toepassing in grote hoeveelheden
 

Als uitgangspunt voor de wetenschappelijk voorgestelde kritische emissiewaarden is gekozen voor een generieke toepassingsdikte van 0,5 m bouwstof. Hoewel niet alle voorgestelde kritische emissiewaarden in normstelling zijn opgenomen, vormen deze wel een belangrijk referentiekader waartegen ook de beleidsmatige afweging is afgezet. In de praktijk worden bouwstoffen regelmatig in grote hoeveelheden en dikkere lagen toegepast dan het generiek veronderstelde toepassingsscenario. In het normeringskader zijn ook geen voorwaarden gesteld aan de hoeveelheid en toepassingsdikte van bouwstoffen. Alleen is de voorwaarde gesteld dat het een functionele toepassing betreft. Echter de betekenis van een 'functionele toepassing' wordt in de praktijk verschillend geïnterpreteerd. Het gebruik van grotere hoeveelheden en dikkere toepassingslagen zorgt ervoor dat bouwstoffen langer uitlogen dan op basis van de modelleringen wordt verondersteld. Uit de gevoeligheidsanalyse van Verschoor et al. (2006) blijkt dat bij dikkere lagen (tot 2 meter), de berekende kritische emissiewaarden voor sommige stoffen



aanzienlijk lager (strenger) uitvallen dan berekende kritische emissiewaarden voor 0,5 meter.

### 3. Afwijkende eigenschappen van bouwstoffen

Door het generiek toetsen van bouwstoffen aan normstelling en het toepassen in de praktijk, zonder rekening te houden met specifieke 'afwijkende' eigenschappen van bouwstoffen kan in de praktijk een ander uitlooggedrag worden gezien. Hierbij gaat het specifiek om afwijkingen van de generiek gekozen eigenschappen zoals de pH-waarde van een bouwstof. Met name het effect van de pH is bij het (her)gebruik van alkalische bouwstoffen een onderbelichte eigenschap met in potentie grote effecten. Bouwstoffen worden kort na de productiefase getoetst aan normstelling. In het geval van alkalische bouwstoffen is er dan sprake van een hoge pH (rond de pH 10-11,5). Een hoge pH heeft een direct effect op de bodem en het nabij gelegen (grond)water. Ook kan een hoge pH het reeds in de bodem aanwezige metalen mobiliseren. Naast het directe pH effect speelt het pH-verouderingseffect een belangrijke rol in de toekomstige uitloging van metalen. Na toepassing neemt de initiële (hoge) pH langzaam af als gevolg van natuurlijke verouderingsprocessen en stabiliseert rond een pH van 8. Als gevolg hiervan neemt de mobiliteit van enkele metalen af (zoals koper en lood) en van andere juist toe (zoals arseen en vanadium). Hierdoor kunnen op termijn andere metalen uitloggen in concentraties boven de maximale emissiewaarden dan bij de toetsing. Dit effect wordt verder versterkt als er grote hoeveelheden bouwstoffen in dikke lagen worden toegepast zonder afdekking om contact met regenwater te voorkomen.

Geconcludeerd wordt dat het huidige normeringskader onvoldoende rekening houdt met specifieke eigenschappen die verschillende soorten bouwstoffen kunnen hebben. Ook worden bouwstoffen op een andere manier toegepast dan waarmee rekening is gehouden in de normstelling. Hierdoor kan het voorkomen dat bouwstoffen bij de toetsing voldoen aan normstelling, maar er in de praktijk soms toch ongewenste milieueffecten ontstaan. Alleen een actualisatie van de maximale emissie- en samenstellingswaarden geeft geen garantie, dat de hiervoor beschreven problematiek in de praktijk wordt voorkomen.

#### 5.1.4 *Beoordeling van bouwstoffen*

Voordat bouwstoffen mogen worden toegepast worden deze middels uitlooproeven getoetst aan de maximale emissie- en samenstellingswaarden. Dit gebeurt middels de voorgeschreven standaard kolomproef of vereenvoudigde kolomproef (niet-vormgegeven bouwstoffen) en de diffusieproef (vormgegeven bouwstoffen). Bij verkorte proeven wordt de emissie gemeten op basis van minder en/of samengevoegde uitloogfracties en getoetst aan de maximale emissiewaarden (compliance). De beoordeling op basis van de standaard uitlooproeven van de bouwstoffen vindt meestal kort na de productie plaats op relatief vers product. De uitlooproeven zijn geen directe simulatie van de praktijk, maar uitgevoerd in hun volledige vorm (waarbij ook de verschillende tussenliggende uitloogfracties over tijd worden gemeten) geven de proeven meer inzicht van wat men in de praktijk aan uitloging kan verwachten.

De bestaande uitloogproeven zijn wetenschappelijk goed onderbouwd en ook internationaal goed ingebed. Toch kan in specifieke praktijksituaties die (sterk) afwijken van het generieke normeringskader (zoals bij bouwstoffen met hoge pH of dikke lagen bouwstof), de geconstateerde uitloging afwijken van de resultaten uit de uitloogproeven en de toetsing aan de maximale emissiewaarden. Hoe dit kan worden ondervangen in een algemene beoordeling van het (her)gebruik van bouwstoffen vraagt nog om een nadere uitwerking. Hierbij valt te denken aan de ontwikkeling van een afwegingskader of toepassingsladder voor afwijkende bouwstoffen of toepassingen. Het ontwikkelen van de toepassingsladder vraagt een verdere verkenning van het uitlooggedrag, het vaststellen van criteria (zoals voor pH, korrelgrootte, toepassingsdiktes et cetera) en test- en beoordelingsmethoden. De uitloogproeven (uitgevoerd in hun volledige vorm), eventueel in aanvulling met een (niet wettelijk voorgeschreven) pH afhankelijkheidstoets, kunnen aanknopingspunten bieden om een afwegingskader of toepassingsladder vorm te geven.

#### 5.1.5 *Hiaten en verbeterpunten in wet- en regelgeving*

Uit de evaluatie is een aantal hiaten en verbeterpunten in het normeringskader naar voren gekomen waarmee nog geen rekening wordt gehouden bij de toepassing van bouwstoffen.

Hierbij gaat het om:

- Signalering van opkomende niet-genormeerde stoffen in bouwstoffen;
- Beoordeling stoffenmengsels uit bouwstoffen;
- Beoordeling bouwstoffen (her)gebruik in meerdere levenscycli;
- Beoordeling zichtbare verontreinigingen in bouwstoffen;
- Mogelijke toepassing van bouwstoffen aan het maaiveld en als gevolg daarvan direct contact met bouwstoffen.

## 5.2 **Aanbevelingen**

Het huidige beleid is gericht op een toepassing op basis van algemene (generieke) regels. Een specifieke toepassing of lokale condities zijn bij de toetsing niet aan de orde. Dit heeft voordelen zoals eenduidige normstelling en een gelijke beoordeling van bouwstoffen. Tegelijkertijd blijkt dat het merendeel van de in de praktijk ervaren knelpunten terug te voeren zijn op afwijkende eigenschappen of kenmerken die verschillen van het generieke beleid.

Het wordt dan ook aanbevolen om bij de toetsing voor het (her)gebruik van bouwstoffen meer oog te hebben voor deze specifieke eigenschappen van bouwstoffen in relatie tot de beoogde toepassing. Hiermee wordt bedoeld dat voorafgaand aan een toepassing een meer zorgvuldige afweging wordt gemaakt of een bouwstof geschikt is gegeven de specifieke eigenschappen. Als een bouwstof niet geschikt wordt geacht, kan onderzocht worden of deze door nabehandeling alsnog geschikt kan worden gemaakt, danwel onder bepaalde randvoorwaarden kan worden toegepast, zoals afdekking met een waterkerende folie.

In hoofdstuk 4 van deze rapportage zijn onderzoeksvoorstellen gedaan. Dit onderzoek vraagt tijd alvorens concrete verbetervoorstellen kunnen

worden geïmplementeerd in het normeringskader. Het RIVM is van mening dat de voornaamste knelpunten het beste kunnen worden weggenomen middels een aanvullende beoordeling op het bestaande generieke beleid voor situaties die sterk afwijken van de generieke keuzes (zoals bouwstoffen met sterk afwijkende eigenschappen of toepassing in dikke lagen).

Het wordt aanbevolen om op de korte termijn prioriteit te geven aan:

- *Onderzoek naar oplossingen voor de problematiek rondom het pH effect en het pH verouderingseffect voor alkalische bouwstoffen.* Om een betere afweging te kunnen maken of een bouwstof passend is voor de beoogde toepassing, is het wenselijk om meer inzicht te krijgen in de mate van uitloging als effect van de veranderende pH. Dit kan bewerkstelligd worden door bouwstoffen niet alleen te toetsen op de chemische kwaliteit na productie, maar ook meer kennis te krijgen over het uitloggedrag als gevolg van verouderingseffecten. Bijvoorbeeld door de standaard uitloogproeven aan te vullen met een pH afhankelijkheidsproef of door naast vers product ook verouderd product te testen. Met de kennis die hiermee gegenereerd wordt kan een betere afweging worden gemaakt waar en onder welke voorwaarden een bouwstof het beste kan worden toegepast. Om de toepassers en lokale overheden hierbij te ondersteunen kan een toepassingsladder ontwikkeld worden. Eerder is hiervoor in Brand et al. (2021) een voorzet gedaan voor het (her)gebruik van thermisch gereinigde grond.
- *Ontwikkeling van een werkwijze voor de signalering van niet-genormeerde stoffen.* Hiermee kunnen toekomstige niet-genormeerde stoffen worden geïdentificeerd. Voor bodem is de Algemene Methodiek Niet-genormeerde Stoffen (AMNS) in ontwikkeling. Het wordt aanbevolen om hierbij zo veel mogelijk aansluiting te zoeken voor bouwstoffen.
- *Monitoring van de generieke kwaliteit van bouwstoffen in het bijzonder bouwstoffen die een heterogene samenstelling kunnen hebben.* In de monitoring wordt ook aandacht gevraagd voor de aanwezigheid van niet-genormeerde en opkomende stoffen en de uitloogkarakteristieken van deze stoffen. Hieruit moet blijken of aanvullende normstelling nodig is.
- *Het ontwikkelen van een methodiek om het (her)gebruik van bouwstoffen in meerdere levenscycli te kunnen beoordelen.* Dit om toekomstige problemen met het (her)gebruik te voorkomen. Ook kan overwogen worden om eisen te stellen aan de kwaliteit van bouwstoffen die geïmmobiliseerd worden of in beton worden verwerkt.

De voorstellen zoals beschreven in deze rapportage zijn onderzoeksvoorstellen. Onderdeel van een nadere uitwerking is een consequentieanalyse en haalbaarheidsstudie. Hiermee is in deze rapportage nog geen rekening gehouden. Daarnaast moet voorkomen worden dat er ongewenste verschuiving van het knelpunt naar andere markten plaatsvindt (het zogenoemde waterbedeffect). Dit vraagt afstemming en samenwerking met andere uitvoeringspartners, zoals producenten, het ILT en lokale overheden.

### 5.3 Tot slot

Binnen deze opdracht stond de wet- en regelgeving met betrekking tot toepassing van bouwstoffen in de praktijk centraal. Dit werd in diverse gesprekken de 'end-of-pipe' beoordeling genoemd. Het is belangrijk om te vermelden dat oplossingen ook gezocht kunnen worden in de productieketen van bouwstoffen dit wordt 'Safe and Sustainable by Design' genoemd. Hierbij valt te denken een kwaliteitsverbetering van het product, het nastreven van best beschikbare technieken of voorwaarden stellen aan de innamekwaliteit van stromen die bepalend zijn voor de eindkwaliteit van de secundaire bouwstoffen. Hoewel de productieketen geen onderdeel was van deze studie, werd er in gesprekken met diverse partijen wel vaak op gewezen. Bovendien vormt een kwaliteitsverbetering een logische eerste stap naar het beperken van ongewenste milieueffecten bij toepassing.

Dit sluit ook aan bij het binnen een circulaire economie centraal staande 'systeemdenken'. Bij systeemdenken worden processen zo ingericht dat het eindproduct een zo hoog mogelijke kwaliteit krijgt en daarmee de afzet kan worden verruimd. In plaats van het productieproces staat het eindproduct centraal. Dit zal niet voor alle bouwstoffen mogelijk zijn, omdat deze het restproduct zijn van een productieproces.

In het algemeen wordt opgeroepen om een bredere kijk op een circulaire economie te hanteren en productstromen met verschillende (chemische)kwaliteit zo min mogelijk met elkaar te vermengen. Waarbij ook aandacht is voor langdurig (her)gebruik. Het venijn zit hem soms in de staart en de oplossing aan het begin.

## Referenties

- Aalbers T.G., de Wilde P.G.M., Rood G.A., Vermij P.H.M, Saft R.J., van de Beek A.I.M., Broekman M.H., Masereeuw P., Kamphuis C., Dekker P.M., Valentijn E.A., (1993). Milieuhygienische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewaterenbescherming. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 771402006
- Altarawneh M., Saeed A., Al-Harashsheh M., Dlugogorski B.Z., (2019) Thermal decomposition of brominated flame retardants (BFRs): Products and mechanisms. Progress in Energy and Combustion Science. Volume 70. Pages 212-259
- Ambrose R.B., (1999) Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste. Draft, US-EPA, Office of Solid Waste, Washington, USA.
- Baes C.F., Sharp R.D., Sjoreen A.L., Shor R.W., (1984). A review and analysis of parameters for assessing transport and environmentally released radionuclides through agriculture, Oak Ridge National Laboratory, USA. Report no. ORNL-5786.
- Bakker J., Bokkers B., Broekman M.H., (2021). Per- and polyfluorinated substances in waste incinerator flue gases. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2021- 0143
- Bal, (2024). Besluit activiteiten leefomgeving. Geldend van 01-01-2024 t/m heden. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041330> (voor het laatst geraadpleegd op 12-04-2024)
- Bbk, (2022). Besluit bodemkwaliteit. Geldend van 01-01-2024 t/m heden. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0022929> (voor het laatst geraadpleegd op 12-04-2024)
- Bečanová J., Melymuk L., Vojta Š., Komprdová K., Klánová J. (2016). Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. Chemosphere. Volume 164. P 322-329
- Bockting G.J.M., Van de Plassche E.J., Struijs J., Canton J.H., (1992). Soil-water partition coefficients for some trace metals. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 679101003
- Bouwman C., (2015). Acrylamide in de bouw. Een verkenning van het gebruik en de blootstellingsniveaus. Stichting Arbouw Harderwijk, Nederland. Rapportnummer: 15-184.
- Bouwstoffenbesluit, (1995). Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterenbescherming. Geldend van 23-11-1995 t/m 30-06-2008. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0007667> (voor het laatst geraadpleegd op 12-04-2024)

Brand E., Bogte J., Baars B.J., Janssen P., Tiesjema G., van Herwijnen R., van Vlaardingen P., Verbruggen E., (2012). Proposal for Intervention Values soil and groundwater for the 2nd, 3rd and 4th series of compounds. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 607711006

Brand E., Otte P.F., Swartjes F.A., Wintersen A., Janssen P.J.C.M., Rutgers M., Hagens W.I., Brouwer M., (2018). Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond in Perkpolder (Zeeland). RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2018-0063

Brand E. en Janssen P.J.C.M., (2019). Risicobeoordeling vanadium in en onder fietspaden Drenthe. RIVM. Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2019-0012

Brand E., Schouten A.J., Rutgers M., (2020). Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond bij de Plas van Heenvliet (Zwartewaal). RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2020-0057

Brand E., Rutgers M., Schouten T., Versluijs K., Negash A., Dijkstra J., Comans R., Breure T., Otte P., (2021). Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2021-0168.

Brand E., Negash A., Schouten A.J., Römken P., Van Breemen P., (2022). Risicoschatting TGG voor de omgeving van de zeedijk Perkpolder (Zeeland). Evaluatie 2021. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2022-0079.

Broekman M.H., (2014). Gebromeerde brandvertragers in afgedankte elektrische apparatuur. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 609021125

Broekman M.H., (2023). Milieuhygiënische kwaliteit LD-staalslakken. Literatuurstudie. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2022-0180

Brunschwiler N., (2023). Tracing sources of diffuse PFAS contamination in soil near a waste incineration plant. TNO, Utrecht, Nederland. TNO rapport S11566.

Buchter B., Davidoff B., Amacher A.C., Hinz C., Iskander I.K., Selim H.M., (1989). Correlation of Freundlich  $K_d$  and  $n$  retention parameters with soils and elements, *Soil Science*, 148, 370-379.

Comans R.N.J., Van der Sloot H.A., Hoede D., Bonouvrie P., (1995). Milieuchemische effecten bij het gebruik van staalslak in oeverbescherming: laboratorium voorspellingen en praktijkwaarnemingen. ECN, Petten, Nederland. Rapportnr. ECN-CX-95-013

De Groot A.C., Peijnenburg W.J.G.M., Van den Hoop M.A.G.T., Van Veen R.P.M., (1998) Heavy metals in Dutch field soils: an experimental and theoretical study on equilibrium partitioning. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 607220001

De Wijs J.W.M. en Cleven R.F.M.J., (2007). Monitoring kwaliteit bouwstoffen 2006. Intron, Spijkenisse, Nederland en RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. INTRON: A825210/R20070220 of RIVM 711701062

De Wilde P.G.M., Keijzer J., Janssen G.L.J., Aalbers T.G., Zevenbergen C., (1992). Beoordeling van gereinigde grond; Uitloogkarakteristieken en chemische samenstelling van referentiegronden. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 216402001

De Wilde P.G.M., Peekel A.F., Buykx S.E.J., (2002). Monitoring milieuhygiënische kwaliteit van bouwstoffen. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 771402028

Dijkstra J.J., Comans R.N.J., Schokker J., Van der Meulen M.J., (2019). The geological significance of novel anthropogenic materials: Deposits of industrial waste and by-products and supporting information. Anthropocene 28, 100229

Dijkstra J.J., (2022). Notitie aan het ILT: Effect beluchten Thermisch Gereinigde Grond (TGG) op pH en uitloging van stoffen. TNO, Utrecht, Nederland. Kenmerk: 060.55345-02iv notitie

Dijkstra J.J., (2024). Uitloogproeven: verantwoording, toepasbaarheid en aansluiting met de praktijk. Notitie. TNO, Geologische Dienst, Utrecht, Nederland.

ECHA, (2023). Regulatory strategy for flame retardants. European Chemicals Agency, Helsinki, Finland. Reference: ECHA-23-R-03-EN. [https://echa.europa.eu/documents/10162/2082415/flame\\_retardants\\_strategy\\_en.pdf/](https://echa.europa.eu/documents/10162/2082415/flame_retardants_strategy_en.pdf/) (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

EU Besluit, (2006). 2006/507/EG: Besluit van de Raad van 14 oktober 2004 betreffende de sluiting namens de Europese Gemeenschap van het Verdrag van Stockholm inzake persistente organische verontreinigende stoffen. OJ L 209, 31.7.2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX:32006D0507> (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

EU verordening (2011). Regulation (EU) No 366/2011 of 14 April 2011 amending Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards Annex XVII (Acrylamide). Official Journal of the European Union, L 101, 12-13. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/366/oj> (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

EU verordening, (2019). Regulation (EU) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on persistent organic pollutants. PE/61/2019/REV/1. OJ L 169, 25.6.2019, p. 45-77. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1021/oj> (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

Foekema E.M., Van den Heuvel-Greve M., Sonneveld C., Hoornsman G., Blanco A., (2016). Uitloging en effecten van metalen uit staalslakken beoordeeld in mesocosms. Imares Wageningen UR, Wageningen, Nederland. Rapportnr. C063/16

Gallen C., Drage D., Kaserzon S., Baduel C., Gallen M., Banks A., Broomhall S., Mueller J.F., (2016). Occurrence and distribution of brominated flame retardants and perfluoroalkyl substances in Australian landfill leachate and biosolids. J. Hazard Mater., 312, page 55

Galvín A.P., Ayuso J., Jiménez J.R., Agrela F., (2012). Comparison of batch leaching tests and influence of pH on the release of metals from construction and demolition wastes. Waste Management. Volume 32, Issue 1. pages 88-95

Glüge J., Scheringer M., Cousins I.T., De Witt J.C., Goldenman G., Herzke R.L., Ng C.A., Trier X., Wang Z., (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environ. Sci.: Processes Impacts, 2020,22, 2345-2373

ILT, (2019). Signaalrapportage. Analyse risico's in de keten van bodemas. Inspectie Leefomgeving en transport, Den Haag, Nederland. <https://www.ilent.nl/onderwerpen/bodemtoezicht/documenten/signaalrapportages/2019/09/04/signaalrapportage-analyse-ricos-in-de-keten-van-bodemas> (geraadpleegd op 15-8-2023).

ILT, (2022). Signaalrapportage. Milieurisico's bodemas verschuiven naar een andere afzetmarkt. Inspectie Leefomgeving en transport, Den Haag, Nederland. <https://www.ilent.nl/documenten/leefomgeving-en-wonen/bodem/bodemtoezicht/signaalrapportages/milieurisicos-bodemas-verschuiven-naar-een-andere-afzetmarkt> (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

Janousek R.M., Lebertz S., Knepper T.P., (2019). Previously unidentified sources of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances from building materials and industrial fabrics. Environ. Sci.: Processes Impacts, 2019,21, 1936-1945

Keulen A., Van zomeren A., Harpe P., Aarink W., Simons H.A.E., Brouwers H.J.H., (2016). High performance of treated and washed MSWI bottom ash granulates as natural aggregate replacement within earth-moist concrete. Waste Manag. 49, pages 83-95

Keulen A., Van Zomeren A., Dijkstra J.J., (2018). Leaching of monolithic and granular alkali activated slag-fly ash materials, as a function of the mixture design. Waste Manag. 78, pages 497-508

Klimczak M., Liu G., Fernandes A.R., Kilanowicz A., Falandysz J. (2023). An updated global overview of the manufacture and unintentional formation of polychlorinated naphthalenes (PCNs). Journal of Hazardous Materials, 457, page 131786



Komonweeraket K., Cetin B., Aydilek A.H., Benson C.H., Edil T.B., (2015). Effects of pH on the leaching mechanisms of elements from fly ash mixed soils. *Fuel*. Volume 140. Pages 788-802

Kosson D.S., Garrabrants A.C., Delapp R., Van der Sloot H.A., (2014). pH-dependent leaching of constituents of potential concern from concrete materials containing coal combustion fly ash. *Chemosphere* 103, pages 140–147

Kotthoff M., Müller J., Jürling H., Schlummer M., Fiedler D., (2015). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22 (2015), pages 14546-14559.

Król A., Mizerna K., Bożym M., (2020). An assessment of pH-dependent release and mobility of heavy metals from metallurgical slag. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 384. 121502.

Kulkarni P.S., Crespo J.G., Afonso C.A.M., (2008). Dioxins sources and current remediation technologies — A review. *Environment International*, 34(1), pages 139-153

Li J., Zeng, M., Ji W., (2018). Characteristics of the cement-solidified municipal solid waste incineration fly ash. *Environ Sci Pollut Res* 25, 36736–36744

Li W., Deng Y., Wang H., Hu Y., Cheng H. (2024). Potential risk, leaching behavior and mechanism of heavy metals from mine tailings under acid rain. *Chemosphere*. Volume 350. 140995

Liu G., Cai Z., Zheng M., (2014). Sources of unintentionally produced polychlorinated naphthalenes. *Chemosphere*, 94, pages 1-12

Liu S., Zhao S., Liang Z., Wang F., Sun F., Chen D., (2021). Perfluoroalkyl substances (PFASs) in leachate, fly ash, and bottom ash from waste incineration plants: Implications for the environmental release of PFAS. *Science of The Total Environment*, 795, page 148468

Liu Q., Wang X., Gao M., Guan Y., Wu C., Wang Q., Rao Y., Liu S. (2022). Heavy metal leaching behaviour and long-term environmental risk assessment of cement-solidified municipal solid waste incineration fly ash in sanitary landfill. *Chemosphere*. Volume 300. 134571

Meima J.A. en Comans R.N.J., (1999). The leaching of trace elements from municipal solid waste incinerator bottom ash at different stages of weathering. *Applied Geochemistry* Volume 14, Issue 2, pages 159-171

Ministerie van IenW, (2023). Verzamelbrief bodemen ondergrond. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Den Haag Nederland. Kenmerk: IENW/BSK-2022/264899. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/01/19/verzamelbrief-bodem-en-ondergrond> (voor het laatst geraadpleegd op 26-4-2024)

Molla A.S., Tang P., Sher W., Bekele D.N., (2021) Chemicals of concern in construction and demolition waste fine residues: A systematic literature review. *Journal of Environmental Management*. Volume 299

Negash A., (2021a). Memo brandbrief toepassing schuimglas in Nederland. RIVM, Bilthoven, Nederland. Kenmerk DMG-2021-0013.

Negash A., (2021b). Memo Uitloging van antimoon uit AEC bodemas – Stand van zaken. RIVM, Bilthoven, Nederland. Kenmerk DMG-2021-0035

Negash A., (2022). Memo een review van onderzoek naar de risico's van batterijresten in AEC-bodemas. RIVM, Bilthoven, Nederland. Kenmerk DMG-2022-0048

Negash A., en Verschoor A.J., (2022). Critical emission limit values for building materials: technical background, interpretation and reconstruction. A contribution to the knowledge base for environmental standards of building material standards. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2022-0112

NEN 7373, (2004). Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

NEN 7375, (2001). Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de uitloging van anorganische componenten uit vormgegeven en monolitische materialen met een diffusieproef - Vaste grond- en steenachtige materialen. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

NEN 7383, (2001). Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de cumulatieve uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een vereenvoudigde procedure voor de kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

NEN 7384, (2006). Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de cumulatieve uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen onder anaërobe omstandigheden, met een vereenvoudigde procedure voor de kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

NEN-EN 16637-2, (2021). Construction products: Assessment of release of dangerous substances - Part 2: Horizontal dynamic surface leaching test. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

NEN-EN 16637-3, (2021). Construction products: Assessment of release of dangerous substances - Part 3: Horizontal up-flow percolation test. Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, Nederland.

Nie Z.Q., Yang Z.L., Fang Y.Y., Yang Y.F., Tang Z.W., Wang X.R., Die Q., Gao X., Zhang F., Wang Q., Huang Q., (2015) Environmental risks of HBCDD from construction and demolition waste: a contemporary and future issue. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 22 (21), pages 17249-17252

Nguyen T. M., Bräunig J., Thompson K., Thompson J., Kabiri S., Navarro D.A., Kookana R.S., Grimison C., Barnes C.M., Higgins C.P., McLaughlin M.J., Mueller J. F., (2020). Influences of chemical properties, soil properties, and solution pH on soil-water partitioning coefficients of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science & Technology*, 54(24), pages 15883-15892

ODNL, (2022). Notitie circulaire bouwstoffen in de praktijk, gericht aan het ministerie van Infrastructuur en waterstaat. Omgevingsdienst NL, Nederland.

Otte P.F., Posthuma L., Wintersen A., Swartjes F.A., (2024). Knelpuntenanalyse hergebruik grond en bagger. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2024-0081

Quina M.J., Bordado J.C.M., Quinta-Ferreira R.M., (2009). The influence of pH on the leaching behaviour of inorganic components from municipal solid waste APC residues. *Waste Management*. Volume 29, Issue 9. Pages 2483-2493

Rbk 2022, (2024). Regeling bodemkwaliteit 2022. Geldend vanaf 01-01-2024 t/m heden. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0047808> (voor het laatst geraadpleegd op 12-04-2024)

Römkens P., Lahr J., Brand E., (2019). Risico-evaluatie Bunschoten. Een evaluatie van ecologische en landbouwkundige risico's in de polder gelegen aan de Westdijk te Bunschoten. Wageningen Environmental Research, Wageningen, Nederland. Rapport 2955

Sauvé S., Hendershot W., Allen H.E., (2000). Critical review. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on pH, total metal burden and organic matter, *Environmental Science and Technology*, 34, 1125-1131

Šimůnek J., Šejna M., Saito H., Sakai M., Van Genuchten M.T., (2008). The Hydrus-1D software package for simulating the onedimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, version 4. Beta. ICGWMC-TPS-70, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado

Steketee J.J. en Langevoort M. (2020). Production of a Stable Building Material by Treatment of MSWI Bottom Ash with the Tauw EquiAsh® Process. *Waste and Biomass Valorization*, volume 11, pages 7109–7116

Stortbesluit, (2002). Regeling acceptatie geconditioneerde gevaarlijke afvalstoffen op stortplaatsen. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0013858/2002-07-18> (voor het laatste geraadpleegd op 25-04-2024)

Tangelder M., Van den Heuvel-Greve M., De Kluijver M., Glorius S., Jansen H., (2015). Monitoring vooroeververdediging Oosterschelde en Westerschelde 2014. Imares Wageningen UR, Wageningen, Nederland. Rapportnr. C102/15

Tangelder M., De Kluijver M., Van den Heuvel-Greve M.J., (2016). Monitoring vooroeververdediging Oosterschelde 2015. Locaties: Zeelandbrug en Lokkersnol. Wageningen Marine Research, Wageningen, Nederland. Rapportnr. C098/16

Tangelder M., De Kluijver M., Craeymeersch J., Brummelhuis E.B.M., Van den Heuvel-Greve M.J., (2017). Datarapport: Effect van vooroeververdediging op bodemorganismen in Oosterschelde in 2015. Wageningen Marine Research, Wageningen, Nederland. Rapportnr. C103/17

TCB, (2003). Advies vrijstelling parameters grond. Technische Commissie Bodem, Den Haag, Nederland. Kenmerk: TCB S25(2003)

TCB. (2006). Advies modellering uitloging bouwstoffen, Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag, Nederland. Kenmerk TCB S21(2006)

Tosti L., van Zomeren A., Pels J.R., Dijkstra J.J., Comans R.N.J., (2019). Assessment of biomass ash applications in soil and cement mortars. Chemosphere 223, pages 425–437

TVR, (2004). Tijdelijke vrijstellingsregeling Bouwstoffenbesluit 2004 en toelichting. Geldend van 31-10-2004 t/m 31-12-2005. Staatscourant 29 oktober 2004, nr. 209, blz 19. [stcrt-2004-209-p19-SC67156.pdf](https://stcrt-2004-209-p19-SC67156.pdf) ([officielebekendmakingen.nl](https://officielebekendmakingen.nl)) (geraadpleegd op 16-08-2023)

UNEP (2021). Report: Chemicals of Concern in the Building and Construction Sector. United Nations Environmental Programme, Geneva, Switzerland. Project ID 9771. <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-concern-building-and-construction-sector> (voor het laatst geraadpleegd op 17-04-2024)

Van den Berg R., (1995). Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging. Een kwalitatieve en kwantitatieve analyse leidend tot voorstellen voor humane toxicologische C-toetsingswaarden. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 725201006

Van der Sloot H.A., Sonneveldt H.L.A., De Rooij N.M., Hoede D., Geusebroek M., (1995). Staalslakuitloging bij toepassing als oeverbescherming. Laboratorium-, veld- en modelleringsgegevens. ECN, Petten, Nederland. Rapportnr. ECN-C-95-118

Van der Sloot H.A., Rietra R.P.J.J., Mulder E., Hage J.L.T., Brouwer J.P., (2001). Mogelijkheden tot verbetering van de voorspellende waarde van laboratoriumuitloopproeven voor de praktijk. ECN, Petten, Nederland. Rapportnr. ECN-C-01-027

Van der Sloot H. & Dijkstra J., (2004). Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: a material or release based approach? Identical leaching mechanisms for different materials. ECN, Petten Nederland. Rapportnr. ECN-C-04-060

Van der Sloot H.A., Van Zomeren A., De Nie D.S., Meeussen J.C.L., (2007). pH en redox effecten van bouwmaterialen. ECN, Petten, Nederland. Rapportnr. ECN-E-07-093

Van Dijk E., (2021). Feitenonderzoek "Immobilisaten". RHDHV, Nijmegen, Nederland. Referentie BH6552I&BRP002F01.

Van Genuchten J. en Vis R., (in prep). Voorlopige titel: modelmatige evaluatie van de kritische emissiewaarden: Parameterinvloed op hergebruik bouwstoffen. RIVM, Bilthoven. Nederland.

Van Raak R., Speelman T., Ooms J., Langevoort M., (2023). Analyse prikkels richting duurzaamheid in secundaire bouwstoffenketens. Drift, Rotterdam, Nederland.

Van Vlaardingen P.L.A., Posthumus R., Traas T.P., (2003). Environmental Risk Limits for Alkylphenols and Alkylphenol ethoxylates. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 601501019

Van Zomeren A., Van der Laan S.R., Kobesen J.B.A., Huijgen W.J.J., Comans R.N.J., Kobesen H.B.A., (2011). Changes in mineralogical and leaching properties of converter steel slag resulting from accelerated carbonation at low CO<sub>2</sub> pressure. Waste Manag. 31, 2236–2244

Verbruggen E., Posthumus R., van Wezel A., (2001). Ecotoxicological Serious Risk Concentrations for soil, sediment and (ground) water: updated proposals for first series of compounds. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701020

Verschoor A.J., Lijzen J.P.A., van den Broek H.H., Cleven R.F.M.J., Comans R.N.J., Dijkstra J.J., Vermij P.H.M., (2006). Kritische emissiewaarden voor bouwstoffen. Milieuhygiënische onderbouwing en consequenties voor bouwmaterialen. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701043

Vo H.N.P., Ngo H.H., Guo W., Nguyen T.M.H., Li J., Liang H., Deng L., Chen Z., Nguyen T.M.H., Li J., Liang H., Deng L., Chen Z., T.A.H., (2020). Poly- and perfluoroalkyl substances in water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation. J. Water Process. Eng., 36, Article 101393

Weber R., Watson A., Forter M., Oliaei F., (2011). Persistent organic pollutants and landfills a review of past experiences and future challenges. Waste Management & Research. 29(1). pages 107-21

Wei J., Li H., Liu J., (2021). Fate of dioxins in a municipal solid waste incinerator with state-of-the-art air pollution control devices in China. Environmental Pollution, 289, page 117798

Wintersen A., Osté L., Van der Meiracker R., Van Breemen P., Roskam G., Spijker J., (2020). Verschil in uitloging van PFAS uit grond en bagger. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 2020-0102

Wintersen A., Vis R., Negash A., Naus F., (2024). Rekening houden met uitloging van PFAS uit grond en bagger bij toepassen op de landbodem. RIVM, Bilthoven Nederland. Rapport nr. 2024-0077

Zhang F., Li C., Shi Y., Meng L., Zan F., Wu X., Wang L., Shen A., Crittenden J.C., Chen J., (2023). Evaluation on leachability of heavy metals from tailings: risk factor identification and cumulative influence. *Environ Sci Pollut Res* 30, 64565–64575

Zhang Y., Cetin B., Likos W.J., Edil T.B., (2016). Impacts of pH on leaching potential of elements from MSW incineration fly ash. *Fuel*. Volume 184. Pages 815-825

Zhao B., Hu X., Lu J., (2022). Analysis and discussion on formation and control of dioxins generated from municipal solid waste incineration process. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 72:10, pages 1063-1082

## Bijlage 1 Verschillende bouwstoffen en kritische stoffen

### B1.1 Soorten bouwstoffen

In dit rapport worden verschillende soorten bouwstoffen aangehaald. Hieronder wordt een toelichting gegeven van de gebruikte termen. Deze lijst dient als een handreiking voor de leesbaarheid van het rapport. Het aantal type secundaire bouwstoffen is zeer uiteenlopend, daarom wordt getracht zoveel mogelijk relevante bouwstoffen te definiëren die binnen dit onderzoek worden aangedragen.

#### AEC-bodemas / AVI-bodemas

Het materiaal dat overblijft na verbranding van (grof) huishoudelijk afval of bedrijfsafval door een afvalenergiecentrale (AEC). Het deel dat na verbranding met de rookgasstroom meegaat wordt gedefinieerd als vliegias.

#### AEC-vliegias / AVI-vliegias

Het restproduct dat na verbranding wordt afgevangen uit de afgasstroom na de verbranding van (grof) huishoudelijk afval of bedrijfsafval door een afvalenergiecentrale. AEC-vliegias dient te worden toegepast. In vormvaste toepassing dient het als vulstof in bijvoorbeeld cementbeton

#### Asfaltbeton

Het materiaal dat wordt samengesteld uit fijn en grove minerale aggregaten en bitumen. Andere componenten kunnen toeslagmateriaal (i.e. natuurlijk zand, brekerzand, grind, steenslag en groevesteen) vulstof (i.e. kalksteenmeel, kalkhydraat, minerale silicaten, AVI-vliegias), hulpstoffen, hechtverbeteraars en eventueel asfaltgranulaten zijn. Asfaltbeton wordt veelal gezien als ene primaire bouwstof, maar is hier opgenomen in verband met de mogelijke toevoeging van toeslagmateriaal en vulstof die het secundaire karakter geven aan de bouwstof.

#### Asfaltgranulaat

Ontstaat door het breken of frezen van asfaltbeton. Het oudere materiaal is vaak teerhoudend en staat daarom veelal bekend als teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Door middel van thermische reiniging worden deze teerverbindingen verbrand.

#### Beton

Is een uitgehard mengsel van toeslagmateriaal, cement, water en hulpen/of vulstoffen. Ook secundaire grondstoffen kunnen worden toegepast in beton, zoals vliegias, hoogovenslak, betongranulaat, menggranulaat en metselwerkgranulaat. Er zijn ook toepassingen bekend van slakken als grindvervanger in beton.

#### E-bodemas / poederkool bodemas / kolenbodemas

Is gesinterd en deels gesmolten vliegias dat wordt gevormd door kolenstook door elektriciteitscentrales. Onder hoge temperaturen kunnen deeltjes sinteren. Dit is het binden van de korrelachtig materiaal

zonder het volledig te laten smelten. Het deel dat na verbranding met de rookgasstroom meegaat wordt gedefinieerd als vliegas.

#### E-Vliegas / poederkool vliegas / kolenvliegas

Het poederachtige materiaal bestaat uit glasachtige deeltjes die vrijkomen met koolstook in elektriciteitscentrales en worden gefilterd uit de rookgasstroom. Het deel na verbranding dat niet met de rookgasstroom meegaat wordt gedefinieerd als bodemas. Vliegas wordt veelal toegevoegd als vulstof in bijvoorbeeld cementbeton. Vliegas kan naast steenkoolstook ook afkomstig zijn uit een biomassa-centrale.

#### ELO-slakken

Het product vrijkomend bij de verwerking van ongelegeerd en lichtgelegeerd schroot door middel van het electro-oven proces.

#### Fosforslakken

Het bijproduct afkomstig uit het productieproces van fosfor uit de fosforeerts. De calciumsilicaat vormt de basis van het bijproduct.

#### Grout

Bestaat uit een mengsel van zand, klei en hydraulisch bindmiddel, waarvoor cement in combinatie met water gebruikt wordt. Het bijmengen van vul- en/of hulpstoffen of grond is mogelijk voor groutmengsels. Afdichting van boorgaten of versteviging van funderingen zijn veelvoorkomende toepassing.

#### Hoogovenslak

Het restmateriaal afkomstig uit het productieproces van ruwijzer. IJzererts, cokes en kalksteen wordt in een hoogoven omgezet tot ruwijzer en slak. De hoogovenslak kan worden afgevangen en na koeling worden opgebroken in gegranuleerde hoogovenslak door een breekzeefinstallatie.

#### Immobilisaat

Een of meerdere (afval)stoffen vermengd met een bindmiddel. Een voorbeeld kan zijn bodemas gebruiken als vulmiddel in bijvoorbeeld beton of bakstenen. Deze bewerking zorgt voor het vastleggen van de verontreiniging op fysisch of chemisch niveau

#### Mijnsteen

Is een groep gesteente die bij de steenkool winning vrijkomt. Het gesteente kenmerkt zich als zand- en kleisteen in combinatie met kolengruis.

#### Recyclingsgranulaat/Puinggranulaat / menggranulaat / gebroken puin / repac

Veelal een combinatie van gebroken steen, metselwerk, grind- en steenslagbeton met overig werkpuin. In kleine volumes kan glas, slak, asfalt en lichtbeton voorkomen. Er bestaan verschillende korrelgrootte sorteringen. Er wordt van hydraulisch menggranulaat gesproken als er gegranuleerd hydraulische slak in het mengsel is toegevoegd.



**(LD)Staalslakken**

Het bijproduct afkomstig uit het productieproces bij de omzetting van schroot en ruwijzer naar staal. Tijdens dit proces oxideren aanwezige (zware) metalen en elementen, zoals fosfor, zwavel en silicium. De slakken nemen de metaaloxiden op.

**Schuimglas / glasschuim**

Vermalen glas dat door middel van een opschuimmiddel en hoge temperaturen zich tot een materiaal met luchtporiën vormt. De aanwezige bubbels typeren het materiaal met een lage dichtheid en een isolerend vermogen.

**Thermisch gereinigde grond (TGG)**

Door verhitting van de verontreinigde grond is het mogelijk de organische stoffen zoals olieresten terug te dringen. Daarnaast worden tijdens dit proces ook alle overige natuurlijke organische stoffen zoals humus- en plantenresten verbrand. TGG wordt gedefinieerd als grond, echter kenmerkt het zich niet met dezelfde natuurlijke eigenschappen om bodemleven en organismen te huisvesten.

**Vormzand**

Wordt veelal gemengd met een bindmiddel, zoals klei, chemische bindmiddelen of anorganische bindmiddelen ter productie van gietvormen en kernen.

**Zeefzand**

Wordt gewonnen uit de het breken en sorteren van steenachtige bouwstoffen. Na afzeving kunnen verschillende varianten worden vergaard, waaronder sorteerzeefzand (afgezeefd tijdens sortering en veelal verontreinigd), brekerzeefzand (fractie afgevangen vóór breking) en recycling brekerzeefzand (fractie afgevangen bij breking van beton- en metselwerkpuin).

**B1.2 Kritische stoffen in bouwstoffen**

Tabel B1.1 geeft de kritische metalen die in verschillende bouwstoffen kunnen worden aangetroffen (de Wilde et al. 2002; Verschoor et al. 2006; de Wijs en Cleve, 2007; Negash 2021a). Alleen de metingen waarbij ten minste 50% van de gemeten partijen de destijds geldende normen overschrijden zijn meegenomen. Het is belangrijk te benoemen dat de milieuhygiënische kwaliteitsmetingen voor het merendeel dateren uit 1998-2001, 2003/2004 en 2005. De zware metalen barium, koper, molybdeen, antimoon en vanadium zijn over het algemeen vaker een kritisch metaal voor een bouwstof. Een zekere overeenkomst valt te zien in kritische stoffen bij bouwstoffen die gevormd worden op hoge temperaturen. Hierbij valt te denken aan AEC-bodemassen, staalslakken en constructie en sloopafval. De chemische samenstelling van deze drie bouwstoffen is in Dijkstra et al. (2019) vergeleken met de gemiddelde samenstelling van de Nederlandse bovenste bodemlaag. In dit onderzoek wordt aangetoond dat veel metalen in verhoogde concentraties voorkomen in bouwstoffen ten opzichte van de gemiddelde Nederlandse bovenste bodemlaag. Deze aanrijking van metalen is voor AEC-bodemas en LD-staalslak hoger dan beton aggregaten uit sloopafval.

Tabel B1.1 overzicht van kritische stoffen bij emissie uit secundaire bouwstoffen. De grijs gemarkeerde rijen zijn gevormd uit thermische productieprocessen (De Wilde et al. 2002; Verschoor et al. 2006; De Wijs et al. (2007); Negash, 2021a en 2021b).

Bouwstof	As	Ba	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	V	Zn	SO <sub>4</sub>	Br	Cl	F	S	P
AEC-bodemas		X		X	X			X					X	X	X			
Asfaltgranulaat								X			X		X					
Betonggranulaat		X																
Brekerzeefzand													X					
E-bodemas		X			X						X		X					
ELO-slak		X	X	X	X	X					X						X	
E-vliegas		X	X		X				X				X			X		
Fosforslakken										X					X	X		X
Hoogovenslak-mengsel		X											X				X	
Hydraulisch menggranulaat		X																
Koperslak				X								X						
LD-mengsel		X																
LD-staalslakken		X	X	X							X					X		
Loodslak							X											
Menggranulaat													X					
Mijnsteen	X							X	X						X			
Schuimglas			X															
Sorteerzeefzand					X			X					X	X		X		
Teerhoudend asfalt granulaat								X										
Thermisch gereinigde grond								X			X		X	X		X		

## Bijlage 2 Overzicht herkomst maximale emissiewaarden niet-vormgegeven en vormgegeven bouwstoffen.

Tabel B2.1 overzicht emissiewaarden (mg/kg) voor niet-vormgegeven bouwstoffen. Bsb: bouwstoffenbesluit (1995), TVR: Tijdelijke vrijstellingsregeling Bsb (= drie keer de Maximale uitloging uit het Bsb 1995), KEW: Kritische emissiewaarden berekend met het model PEARL en het model ORCHESTRA (Verschoor et al. (2006), getallen zijn niet afgerond), Rbk 2006: maximale emissiewaarden bij inwerkingtreding Regeling bodemkwaliteit in 2008, Rbk 2022: Regeling bodemkwaliteit bij inwerkingtreding in 2024.

stof	Bsb 1995 <sup>1</sup>	TVR 2004	KEW <sub>PEARL</sub>	KEW <sub>ORCHESTRA</sub>	Rbk 2006	Rbk 2022	Toelichting	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>PEARL</sub>	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>ORCHESTRA</sub>
As	0,9	-	0,54	0,45	0,9	0,9	Beleidsmatig gekozen voor Bsb1999 niveau	1,7	2
Ba	7,2	22	293	1,6	22	22	Beleidsmatig gekozen voor TVR 2004 niveau	0,075	13,7
Cd	0,04	-	0,005	0,28	0,04	0,04	Beleidsmatig gekozen voor Bsb1999	8	0,14
Cr	1,7	-	0,69	0,63	0,63	0,63	Overgenomen KEW (PEARL≈Orchestra)	0,9	1
Co	0,5		0,06	0,54	0,54	0,54	Overgenomen KEW (ORCHESTRA)	9	1
Cu	0,90	2,70	0,03	3,4	0,9	0,9	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999	30	0,26
Hg	0,02	-	2,9	0,79	0,02	0,02	Beleidsmatige gekozen voor Bsb 1999	0,0067	0,025
Pb	2,3	-	91	77	2,3	2,3	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999	0,025	0,029
Mo	0,34	1,00	75	64	1	1	Beleidsmatig gekozen voor TVR 2004	0,013	0,016
Ni	1,3	-	0,07	0,44	0,44	0,44	Overgenomen KEW <sub>ORCHESTRA</sub>	6,3	1

stof	Bsb 1995 <sup>1</sup>	TVR 2004	KEW <sub>PEARL</sub>	KEW <sub>ORCHESTRA</sub>	Rbk 2006	Rbk 2022	Toelichting	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>PEARL</sub>	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>ORCHESTRA</sub>
Sb	0,05	0,16	0,08	0,03	0,16	0,32 <sup>3</sup>	Beleidsmatig gekozen voor TVR 2004 en in 2012 verdere verruiming tot niveau 4 x KEW <sub>PEARL</sub>	4	10,6
Se	0,05	0,15	0,18	0,15	0,15	0,15	Overgenomen KEW (PEARL≈Orchestra)	0,83	1
Sn	0,4	-	43	39	0,4	0,4	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999	0,0093	0,01
V	1,8	5,5	0,67	0,76	1,8 <sup>2</sup>	1,8	Beleidsmatige verruiming tot Bsb 1999	2,7	2,4
Zn	4,5	-	0,08	5,5	2	4,5	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999	56,2	0,81
Br	3,50	10	24	24	10	20 <sup>3</sup>	Beleidsmatig gekozen voor TVR 2004 en later verdere verruiming tot niveau 2x TVR 2004	0,83	0,83
Cl	616	-	484	470	616	616	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999	1,27	1,3
F	18	54	373	9,4	18	55 <sup>3</sup>	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 latere verruiming naar TVR 2004	0,15	5,9
SO <sub>4</sub>	1154	3463	635	640	1730	2430 <sup>3</sup>	Beleidsmatig gekozen voor 1,5 x Bsb 1999 en latere verruiming naar 2 x Bsb 1999	3,8	3,8
CN vrij	0,02		0,002	-	n.v.t	n.v.t	Nog geen normstelling vanwege analyseproblemen	n.v.t	n.v.t
CN compl.	0,09		0,001	-	n.v.t	N.v.t	Nog geen normstelling vanwege analyseproblemen	n.v.t	n.v.t

1 De immissiewaarden afkomstig uit het voormalige bouwstoffenbesluit en de tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffen besluit (2004) zijn ter vergelijking omgerekend tot emissiewaarden.

2 Voor staalslakken geldt voor vanadium een norm van 4,6 mg/kg in oppervlaktewater.

3 Tussentijdse aanpassing ten opzichte van Regeling bodemkwaliteit 2006.

Tabel B2.2 Overzicht emissiewaarden ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) voor vormgegeven bouwstoffen. Bsb emissie 1b: bouwstoffen besluit bij toepassing op land, Stortbesluit 2002: Regeling acceptatie geconditioneerde gevaarlijke afvalstoffen op stortplaatsen, KEW: Kritische emissiewaarden berekend met het model PEARL en het model ORCHESTRA<sup>1</sup> bij toepassing op land en met PEARL bij toepassing in oppervlaktewater (Verschoor et al. (2006), getallen zijn niet afgerond), Rbk 2006-2022: maximale emissiewaarden bij inwerkingtreding Regeling bodemkwaliteit. De emissiewaarden zijn één-op-één overgenomen in de Rbk 2022.

stof	Bsb 1995 <sup>2</sup> Emissie 1b	Stort- besluit 2002	KEW <sub>land</sub> , PEARL	KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA <sup>1</sup>	KEW <sub>opp.</sub> water, PEARL	Rbk 2006	Toelichting	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>land</sub> , PEARL	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA
As	140	50	368	260	1120	260	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	0,71	1
Ba	2000	1500	73545	420	5565	1500	Beleidsmatig gekozen voor niveau Stortbesluit	0,02	3,6
Cd	3,8	5	2	89	58	3,8	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	1,9	0,043
Cr	480	500	155	120	2962	120	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	0,77	1
Co	95	60	24	160	105	60	Beleidsmatig gekozen voor niveau Stortbesluit	2,5	0,38
Cu	170	500	9	1100	98	98	Overgenomen KEW <sub>opp.</sub> water PEARL	10,9	0,089
Hg	1,4	1	776	230	40	1,4	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	0,0018	0,006
Pb	400	1000	22472	16000	7837	400	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	0,018	0,025
Mo	48	-	15935	11000	10801	144 <sup>1</sup>	Beleidsmatig gekozen voor TVR 2004 (= 3x Bsb)	0,0090	0,013
Ni	170	-	25	81	79	81	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA $\approx$ KEW <sub>opp.</sub> water, PEARL	3,24	1
Sb	12	50	30	8,7	249	8,7	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	0,29	1

stof	Bsb 1995 <sup>2</sup> Emissie 1b	Stort- besluit 2002	KEW <sub>land</sub> , PEARL	KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA <sup>1</sup>	KEW <sub>opp.</sub> water, PEARL	Rbk 2006	Toelichting	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>land</sub> , PEARL	Factor verschil Rbk 2022 vs KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA
Se	4,8	60	45	32	195	4,8	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	0,11	0,15
Sn	95	50	13892	11000	7947	50	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	0,0036	0,0045
V	760	1500	230	320	148	320 <sup>3</sup>	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	1,39	1
Zn	670	800	36	1700	1011	800	Beleidsmatig gekozen voor niveau Stortbesluit	22,2	0,47
Br	95	5000	12632	4400	288993	670	Beleidsmatig gekozen voor Bsb 1999 1b	0,053	0,15
Cl	54000	250000	281204	110000	7224823	110000	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	0,39	1
F	4400	2500	146439	3300	54186	2500	Beleidsmatig gekozen voor niveau Stortbesluit	0,017	0,76
SO <sub>4</sub>	85000	250000	308889	165229	3612411	165000	Overgenomen KEW <sub>land</sub> , ORCHESTRA	0,53	1
CN vrij	4,8	20	0,6	-	-	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
CN compl.	24	220	0,3	-	-	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

1: De kritische emissiewaarden voor het model ORCHESTRA zijn apart aangeleverd door TNO en niet gerapporteerd in verschoor et al. (2006).

2: De immissiewaarden afkomstig uit het voormalige bouwstoffenbesluit en de tijdelijke vrijstellingsregeling bouwstoffenbesluit (2004) zijn ter vergelijking omgerekend tot emissiewaarden.

3: Voor staalslakken geldt voor Vanadium een norm van 460 mg/m<sup>2</sup> in oppervlaktewater.

## Bijlage 3 Verslag workshop (her)gebruik secundaire bouw- en reststoffen: input vanuit de toezichtpraktijk gevraagd

*Aanwezige organisaties: Inspectie Leefomgeving en transport (ILT<sup>13</sup>), Ministerie van Infrastructuur en waterstaat (Min IenW<sup>6</sup>), Omgevingsdienst Regio Arnhem (ODRA), Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied (ODNZKG), Regionale uitvoeringsdienst Drenthe (RUDDrenthe), Omgevingsdienst Zuid-Holland zuid (OZHZ), DCMR milieudienst Rijnmond (DCMR), Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant (OMWB), Omgevingsdienst West-Holland (ODWH), Omgevingsdienst Noord-Veluwe (ODNV), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM<sup>6</sup>).*

### B3.1 Inleiding

De aanleiding van de workshop is de toenemende zorg over ongewenste milieueffecten als gevolg van verontreinigingen in secundaire bouw- en reststoffen die worden toegepast in en op de bodem. Het vertrouwen in dergelijke secundaire materialen is de afgelopen jaren door een aantal ongewenste gebeurtenissen in de uitvoeringspraktijk ernstig geschaad, hetgeen haar weerslag heeft op de afzetmarkt.

De workshop is voorbereid door het ILT (Programma Grond en Bouwstoffen), Min IenW (DGMI-WOM) en RIVM en was bedoeld om praktijkervaringen vanuit het toezicht op secundaire bouw- en reststoffen goed mee te nemen bij de verdere kennisopbouw en beleidsontwikkelingen rondom het (her)gebruik van secundaire bouw- en reststoffen.

Na een kort welkom door het ILT, geven Min IenW en RIVM een toelichting op een tweetal projecten die nu rond het thema (her)gebruik van secundaire bouw- en reststoffen lopen. Het Min IenW gaat aan de slag met een reststroomanalyse en gaat na hoe reststromen op een duurzame wijze zijn op te werken tot nuttige secundaire materialen, die veilig zijn voor mens en milieu. In feite gaat het daarbij om de verduurzaming van de gehele keten, van productie tot aan de toepassing. RIVM start voor de secundaire grond, bouw- en reststoffen een meerjarig onderzoek op, waarbij de nadruk ligt op een actualisatie van de kennisbasis van risico's en effecten bij de toepassingen. Ook is er aandacht voor de problematiek van de niet-genormeerde stoffen (ZZS, PFAS). Op termijn kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving.

### B3.2 Wereldcafé

Middels het concept van een wereldcafé hebben de deelnemers hun praktijkervaringen, kennis en inzichten in een interactieve sessie met Min IenW en RIVM gedeeld. Dit ging aan de hand van de volgende thema's:

1. Welke bouwstoffen zouden prioriteit moeten krijgen?
2. Kansen en knelpunten

<sup>13</sup> Organisatie workshop

3. (Nieuwe) niet-genormeerde stoffen/ZZS
4. Markt en gebruik

### B3.3 Welke bouwstoffen zouden prioriteit moeten krijgen?

Er zijn tijdens de gesprekken diverse secundaire bouw- en reststoffen genoemd zoals:

- Immobilisaat;
- Staalslakken;
- AVI slakken;
- Zeefzand (nu gesorteerd en in de toekomst gebroken);
- Schuimglas;
- Gebroken bouwstof (bijvoorbeeld beton);
- Granuliet (verdeelde meningen);
- TGG<sup>14</sup> en filler;
- Steenwol granulaat (pesticiden i.v.m. groenteteelt);
- Meststoffen of bodemverbeteraars (zoals lavameel en schuimaarde);
- Yalibims<sup>15</sup>;
- Koersmix<sup>16</sup>;
- (AEC<sup>17</sup>)Bodemas;
- Vliegias.

Vooraf immobilisaat was voor veel deelnemers een prioritaire bouwstof. Zo zijn er vragen over de milieukwaliteit van het product en kunnen er problemen optreden in het tweede leven als niet erkend wordt dat er eerder gebruik is gemaakt van immobilisaat en het materiaal vervolgens vergruisd wordt.

Meermaals werd echter geconstateerd dat er weinig zicht is op welke bouwstoffen eigenlijk prioritair zijn. Vaak is een visueel signaal, zoals zoutkorsten of zichtbare aanwezigheid van batterijen, aanleiding om bij een individuele toepassing extra aandacht te besteden aan een bouwstof. Voor veel bouwstoffen is er geen signaal en dus is het ook onbekend of er bouwstoffen zijn waar meer aandacht aan gegeven moet worden. Er is dan ook behoefte bij deelnemers om meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van bouwstoffen. In dit kader werden ook de nieuwere en meer 'exotische' bouwstoffen als aandachtspunt benoemd. Er was een nadrukkelijke wens om bij bouwstoffen meer naar de kwaliteit/verontreinigingen te kijken dan naar het label dat materiaal heeft (e.g. bouwstof/grond/afvalproduct). Dit aspect werd ook bij andere tafels genoemd

Hoewel algemene kenmerken van bouwstoffen die tot problemen leiden niet altijd duidelijk zijn, zijn er wel enkele indicaties te bedenken. Bijvoorbeeld onduidelijkheid over wat er in een bouwstof zit. Het gaat dan bijvoorbeeld over reststromen of chemische stoffen die gebruikt worden als toeslagstof. Gevolg hiervan is dat al vanaf het eerste leven (eerste toepassingsvorm van een bouwstof) geen zicht meer is op wat

<sup>14</sup> Thermisch gereinigde grond

<sup>15</sup> Soort vulkanisch gesteente uit Griekenland

<sup>16</sup> Fijnste fractie breekpuin

<sup>17</sup> Bodemas uit een afvalenergiecentrale



er in een bouwstof toegepast is. Dit zicht wordt gedurende het tweede en derde leven van een bouwstof nog minder.

Een ander aspect is de verandering van chemische samenstelling (pH) van een bouwstof tussen de periode waarin het onderzocht en toegepast wordt. Na toepassing vinden er op locatie ook veranderingen plaats. Omdat deze veranderingen niet meegenomen worden in de beoordeling, kan het zijn dat er tijdens monsternamen van het verse product geen probleem is maar na toepassing wel. Er werd dus ook gepleit voor beoordeling waarin deze verandering meegenomen wordt.

Ook producten van thermische processen werden door enkelen aangekaart als een kenmerk van bouwstoffen die tot problemen kunnen leiden (e.g. assen, TGG, slakken). Echter, niet iedereen deelde deze mening, omdat thermische processen er ook voor kunnen zorgen dat organische stoffen vervluchtigen en/of degraderen.

In situ<sup>18</sup> productie van bouwstoffen zoals bijvoorbeeld uitharding immobilisat op locatie of mobiele breekinstallaties maken een controle op de kwaliteit van bouwstoffen lastiger.

Tot slot kunnen bouwstoffen die in het verleden toegepast zijn onder IBC -maatregelen een probleem worden omdat met de tijd kennis over waar een bouwstof is toegepast verloren gaat.

### **B3.4 Kansen en knelpunten**

In het algemeen werden de volgende kansen en knelpunten genoemd:

- Artikel 5 van het Besluit bodemkwaliteit, waarin staat dat een bouwstof nuttig en slechts in noodzakelijke hoeveelheden of locaties mogen worden toegepast, wordt als te vrijblijvend ervaren en dit maakt handhaving lastig.
- Er moet bij bouwstoffen meer nadruk worden gelegd op de verontreinigingen. Zowel voorafgaand aan de productie (wat is de kwaliteit van het ingangsmateriaal) als bij toepassing van de bouw- en reststoffen in de praktijk.
- Om uitloging kenbaar te maken zou een kleurstof aan de bouwstof kunnen worden toegevoegd. Dit maakt de herkomst van verontreinigingen in de praktijk herleidbaar.
- "Streng zijn" aan de voorkant zorgt voor een algemene verbetering van reststromen. Dit verkleint ook de marktwerking die ervoor zorgt dat verduurzaming vertraagd wordt door goedkope producten met lage kwaliteit.
- Onderling vertrouwen opbouwen in de sectoren. In veel gevallen zijn de sectoren niet onwillig om te verduurzamen, maar zijn ze wel huiverig dat ze hun marktpositie verliezen. Door onderling vertrouwen te versterken tussen overheden en bedrijven en beter inzicht te krijgen in de markt kan verduurzaming versimpeld worden.

Voor een aantal specifieke bouwstoffen zijn kansen en knelpunten nader geïdentificeerd.

<sup>18</sup> Productie op toepassingslocatie

**B3.4.1** *Vliegas*

Als technische innovaties voor de verduurzaming van de vliegasketen zijn onder andere als opties genoemd:

- Ecofiller. Nu 1,7 meter, maar 0,7 meter is ook genoeg.
- Hydrofilter

Verder genoemde kansen en knelpunten binnen de vliegasdiscussie zijn generiek en zijn dus hierboven opgenomen.

**B3.4.2** *Granulaat*

Voor granulaat wordt het gebrek aan kennis van de milieukwaliteit als grootste knelpunt ervaren. Het gaat om een grote stroom met verschillende (soorten) producten en er is niet (altijd) voldoende (voor)informatie over de samenstelling beschikbaar.

Er werden diverse oplossingen aangedragen;

- Een landelijke registratieplicht voor granulaten/immobilisaten
  - Hierbij is wel de vraag of alles geregistreerd kan worden? Door de variatie aan soorten granulaat, met verschillende verontreinigingen uit verschillende bronnen, is het erg lastig/zo niet onmogelijk om al het granulaat te registreren. Dit lijkt alleen haalbaar door middel van automatisering. Geautomatiseerde registratie zorgt dan niet voor een compleet beeld van al het granulaat en verontreinigingen, maar zorgt er proactief voor dat bij gebruik van granulaat voor immobilisatie het duidelijk is dat er sprake is van (her)gebruikt granulaat dat wellicht verontreinigd is. Een mogelijke extra stap hierbij zou zijn om ZZS te laten registreren bij deze immobilisaten.
- Een stromenpaspoort.
- Keuzes maken wat laagwaardig is voor registratie. Hierdoor kan makkelijker onderscheid worden gemaakt bij toepassing. Het risico hiervan is misbruik wordt gemaakt van laagwaardigheidslabel. Indien dit het geval is, is wellicht een herinrichting van het systeem nodig.

**B3.4.3** *AEC bodemassen*

Voor AEC bodemassen werd als knelpunt genoemd dat de markt overspoeld wordt met slechte afvalstromen en aanbod gestuurd is. Ook het verdienmodel waarbij de baten van de afzet voor de kosten van verwijdering komen, is van invloed op de huidige problematiek. Er ontbreekt informatie over de milieukwaliteit van het product. Dit komt mede door een slecht invoersysteem voor data. Door het gebrek aan informatie wordt ook de toepassing in 2de of 3de leven bemoeilijkt.

Voor AEC bodemassen werd als kans opgemerkt dat de kwaliteit kan worden verbeterd, bijvoorbeeld door nabewerking of door verbranding bij een hogere temperatuur en langere tijdsduur. De kanttekening hierbij was dat dit duurder is.

**B3.4.4** *Immobilisaat*

Immobilisaat werd eerder al gekenmerkt als prioritaire bouwstof. Naast dat wetgeving als te vrijblijvend werd ervaren en daardoor moeilijk

handhaafbaar is, is de BRL door de markt opgesteld en dat maakt dat er ruimte is voor de markt en eigen belangen.

Meer technische knelpunten gingen over de verandering in receptuur van immobilisaat en de toepassing. Beide worden gedreven door financiële prikkels. Het gebrek aan informatie over de productieketen en de milieukwaliteit van immobilisaat, het ontbreken van een meldingsplicht, productie op locatie (waardoor onnauwkeurigheid in receptuur kan ontstaan) en het ontbreken van een goedkeuring voorafgaand aan toepassing maken de handhaving lastig.

Mogelijke oplossingen werden vooral gezocht in de handhavingsmogelijkheden en kwaliteitscontrole door strengere eisen te stellen aan en meer toezicht te houden op de gebruikte receptuur. Het beleid kan ook goed sturen aan de voorkant door het gebruik van immobilisaat onder erkenning te laten vallen en een resultaatverplichting op te nemen. Verder zou overwogen moeten worden om instroom vanuit bepaalde markten te beperken omdat dit verdere circulariteit in de weg staat. Een voorbeeld hiervan zijn internationale markten met minder strenge standaarden die ervoor zorgen dat 'schonere' landelijke afzet niet afgenomen wordt. Bij de afzet van immobilisaat werd nog voorgesteld om toepassingsladders te gebruiken.

#### **B3.4.5** *Staalslakken*

Net als bij immobilisaat werden voor staalslakken voornamelijk knelpunten met betrekking tot de controle en certificering genoemd. Zo verwijzen richtlijnen naar elkaar en is er geen meldingsplicht waardoor er ook geen zicht is op toepassingslocaties. Volgens de deelnemers zouden staalslakken op papier voldoen aan de eisen maar in de praktijk onder IBC moeten worden toegepast. Ook worden knelpunten ervaren bij de productcertificaten. De certificaten zouden niet volledig of correct zijn wat handhaving bemoeilijkt. Ook de jaarlijkse verandering van certificaten wordt als knelpunt ervaren. Als nabrander werd nog het verschil tussen een product en procesnorm benoemd. Een procesnorm geeft meer speelruimte aan het product.

Als oplossingsrichtingen werd genoemd dat het mogelijk niet wenselijk is om staalslakken overal vrij toe te passen en dat beleid hierin een afweging moet maken. Eenzelfde afweging geldt voor de import van staalslakken uit het buitenland. Om het product beter te kunnen controleren zou er een aanvullende stap en meldingsplicht moeten komen. Hieruit moet blijken dat het product goed is. Door deelnemers wordt ook aandacht gevraagd voor productverbetering door ecodesign/upcycling.

#### **B3.5** **(Nieuwe) niet-genormeerde stoffen/ZZS**

Nieuwe of relevante stoffen komen bij het gebruik van bouwstoffen meestal per toeval aan het licht door incidenten of signalen van andere overheden. Voorbeelden hiervan zijn uitloging uit TGG, signalen van waterschappen over dode vissen of verkleuring van oppervlaktewater of luchtfoto's. Na een dergelijk signaal gaat men verder onderzoek doen en een breder analysepakket hanteren. Hierbij wordt meestal ook de

samenstelling van een bouwstof in kaart gebracht. Voor iedere verontreiniging en bouw- of reststof is dit maatwerk. Soms wordt informatie vanuit REACH gebruikt of wordt contact gezocht met het RIVM.

Sommige deelnemers constateerden een normengat of vonden dat er te beperkt onderzoek wordt gedaan naar de samenstelling van bouw- en reststoffen. Normen worden wel als noodzakelijk gezien en er werden diverse voorstellen gedaan om het normengat te vullen, zoals prioriteren op diffuus verontreinigden stoffen, ook uitgaan van stofgroepen en combinatietoxicologie naast het bepalen individuele stoffen, aansluiten bij andere taakvelden en beleidskaders (water en bodem) en prioritering naar hoogste (ecologische) risico's. Opgemerkt werd dat ook onder de Omgevingswet ecologische risico's geborgd moesten worden en dat kennis van stoffen en stofgedrag vanuit andere compartimenten (zoals bodem en water) misschien ook toegepast konden worden voor bouwstoffen.

Ook aan deze tafel kwam het ontbreken van informatie over de samenstelling van bouw- en reststoffen aan bod. In het verlengde hiervan werd genoemd dat aan afval minder eisen worden gesteld, dan producten en grondstoffen. Hierdoor ontbreekt informatie over het ingangsmateriaal. Verschillende verwerkingsmethoden hebben ook een andere uitwerking op de samenstelling. Maak daarom onderscheid tussen verwerkingsmethoden, eventueel door deze met GC-MS te toetsen. Producenten zouden meer aansprakelijk gesteld moeten worden voor hun producten. Ook zou de bewegingsruimte kleiner moeten worden door strengere BRL's, het minder mengen van reststromen en de goedkeuring van bouwstoffen zou niet langer bij de producenten moeten liggen (slager keurt eigen vlees).

De deelnemers gaven aan dat bouwstoffen in de toekomst als product beschouwd zouden moeten worden. Op die manier kan mogelijk wel aan de informatiebehoefte voor de beoordeling voldaan worden, ook zouden bouwstoffen gescreend moeten worden op ZZS, bijvoorbeeld door historisch onderzoek, onderzoek naar het inputmateriaal en ketenonderzoek. Ook zou onderzocht moeten worden welke chemische interacties er kunnen optreden tijdens productie en toepassing. Hierbij ligt de nadruk op zowel positieve reacties (waardoor stoffen kunnen worden gebonden) of negatieve reacties waardoor stoffen vrij kunnen komen.

Mogelijk relevante (nieuwe) niet genormeerde stoffen en parameters die genoemd zijn:

- Chloride;
- Glyfosaat;
- PFAS;
- Gewasbeschermingsmiddelen;
- Anionen;
- pH;
- kalk;
- nutriënten;
- Ytrium;
- DOC;

- Kwarts steenwol;
- Nanodeeltjes;
- Ftalaten;
- Dioxines.

Het bepalen van de pH en de invloed van pH op verontreinigingen werd meerdere keren genoemd. Zo zou een pH afhankelijke doorbraakcurves nodig zijn, moet pH genormeerd worden en zou pH-paspoort uitkomst kunnen bieden.

### **B3.6 Markt en gebruik**

De groepen gaven aan dat de toepassingsvormen voor bouwstoffen per locatie en bouwstof sterk kunnen verschillen. Ook voor dezelfde bouwstof kan de toepassingsvorm verschillen. Dit komt doordat de hoeveelheid bouwstof dat toegepast moet worden niet alleen afhankelijk is van de type werk maar ook andere aspecten zoals de onderliggende grond en het soort bouw materiaal. Door een enkeling werd genoemd dat er meer toepassingen aan het maaiveld liggen en minder onder afdekkingen. Dit is onder andere het gevolg van een afname van toepassing in de wegenbouw (minder vraag/noodzaak) waardoor toepassingen elders worden gezocht.

Er was consensus over de meest bepalende factor voor de toepassingshoeveelheid, het verdienmodel. De voornaamste variabelen die de afzet bepalen zijn:

1. Aanbod secundaire bouw- en reststoffen;
2. Prijs primaire grondstoffen;
3. Prijs bij te ontvangen bouw- en reststoffen.

Soms is extra toepassing van een bouw- of reststof nodig om een project rendabel te maken terwijl deze toepassing niet noodzakelijk is voor de constructie. Ook kan het financieel rendabel zijn om bouwstoffen uit het buitenland te importeren. Bijvoorbeeld omdat de kwaliteit van bodemassen beter is, of omdat stort in het buitenland duurder is dan (her)gebruik in Nederland. Het (her)gebruik van secundaire materialen is ook niet altijd het belangrijkste verdienproduct. Bij bodemassen is bijvoorbeeld het restmetaal meer rendabel dan de afzet van de bodemas.

In de markt is sprake van een afzetsdruk door het grotere aanbod aan bouwstoffen. Ook de invloed van gebruikers van primaire grondstoffen op het (her)gebruik van secundaire bouw- en reststoffen kan hierop van invloed zijn. Gebruikers kunnen namelijk tegelijkertijd ook producenten zijn van primaire grondstoffen. Door de producteisen voor gebruik bewust te verhogen wordt het (her)gebruik van secundaire materialen gefrustreerd waardoor een andere afzet moet worden gezocht. Vaak zijn er meerdere spelers in een toepassingsketen, al is dit bouw- en reststof afhankelijk.

Huidige contracten hebben ook invloed op de verwerking van bouwstoffen. Veelgebruikte contracten zijn het DBFM contract (Design, Build, Finance en Maintain) en DNC (Design in construct). Hierbij ligt de nadruk op de kwaliteit van het eindproduct (het aan te leggen werk). De

producent of gebruiker is verantwoordelijk voor alle stappen die leiden tot het eindproduct waardoor controle in dit proces ontbreekt. Het 'einde leven' van een werk en daarmee de bouwstof in het werk valt echter buiten de contracten en is de verantwoordelijkheid van de (toekomstige) eigenaar.

Ook werd de term 'civiele greenwashing' geïntroduceerd, waarbij leveranciers worden beoordeeld op de duurzaamheid van hun offerte. Zo kan het voorkomen dat er elektrische vrachtwagens en bouw materieel gebruikt wordt waardoor de werkzaamheden op papier duurzaam lijken. Er wordt echter niets gezegd over de kwaliteit van het toe te passen secundaire materiaal.

Als oplossing werd genoemd dat er meer gebruik gemaakt moet worden van de zogenaamde 'milieuprijzen' waarin het milieueffect van (her)gebruik verdisconteerd is. Dit sluit aan bij EU-beleid. Andere toekomstige verbeteringen die werden genoemd zijn:

- Resultaatverplichtingen opnemen inclusief het meer circulair denken (streven naar een hoogwaardige toepassing conform ladder van Lansink);
- Incentive creëren zodat marktpartijen een hogere kwaliteit willen inkopen;
- Bepaalde afvalstromen apart verwerken en niet samen mengen;
- Een eenvoudige meldingsplicht voor toepassing invoeren (bijvoorbeeld via Kadaster);
- De klantrelatie tussen certificeringsinstantie en bouwstoffenproducten loskoppelen.

Tot slot werd aandacht gevraagd voor het waterbede-effect waarbij verscherping van een norm of beperking van een toepassing aan de ene kant kan leiden tot het ontstaan van (nieuwe) ongewenste afzets- of kwaliteitsproblemen elders.



Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

juni 2024

**De zorg voor morgen  
begint vandaag**