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

Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader

RIVM-briefrapport 2021-0168
E. Brand et al.

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

Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader

RIVM-briefrapport 2021-0168
E. Brand et al.

Colofon

© RIVM 2021
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.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van haar producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM 2021-0168

E. Brand (Projectcoördinator, auteur), RIVM
M. Rutgers (auteur), RIVM
T. Schouten (auteur), RIVM
K. Versluijs (auteur), Circular Earth
A. Negash (auteur), RIVM
J. Dijkstra (auteur), TNO
R. Comans (auteur), WUR/TNO
T. Breure (auteur), RIVM
P. Otte (redactie), RIVM

Contact:
E. Brand
Centrum voor Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid (DMG)
ellen.brand@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van IenW, directie WOM in het kader van een evaluatie normenkader TGG.

Dit is een uitgave van:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader

Thermisch Gereinigde Grond (TGG) is een mengsel van grond en andere materialen dat wordt verhit om organische verontreinigingen te verwijderen. Daarna kan de TGG opnieuw worden gebruikt. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM gevraagd om de normen en de onderzoeksmethode voor TGG te evalueren. Aanleiding hiervoor zijn milieuproblemen die zijn ontstaan bij het gebruik van TGG. Met deze evaluatie wordt duidelijk wat nodig is om de kwaliteit van TGG beter te beoordelen.

Het blijkt dat de wetgeving niet of onvoldoende geschikt is om TGG veilig voor het milieu te kunnen gebruiken. In TGG worden bepaalde stoffen in te hoge concentraties aangetroffen, zoals benzeen. Ook komen er meer verontreinigde stoffen uit TGG dan verwacht, zoals zware metalen en zouten. Dit verschil ontstaat vooral doordat TGG andere eigenschappen heeft dan gewone grond. Zo bevat TGG geen organische stof meer, is de bodemstructuur veranderd en de zuurgraad laag (hoge pH).

De wetgeving is gebaseerd op eigenschappen van gewone grond en houdt geen rekening met de eigenschappen van TGG. Het RIVM adviseert daarom om bij de toetsing voor het gebruik van TGG wel met deze eigenschappen rekening te houden.

Het RIVM adviseert ook om breder onderzoek te doen naar de uitloging van grond, bouw- en reststoffen om nieuwe normen te ontwikkelen als dat nodig blijkt. Ook uit andere hergebruikte materialen, zoals bouwmaterialen, kunnen meer schadelijke stoffen vrijkomen dan voor het milieu wenselijk is.

In afwachting van nieuwe normen heeft het RIVM een eerste toepassingskader ontwikkeld. Hierin worden handvatten gegeven om TGG veilig te kunnen gebruiken. Ook wordt in het toepassingskader rekening gehouden met de bijzondere eigenschappen van TGG en het gewenste doel van het gebruik.

Kernwoorden: thermisch gereinigde grond, TGG, evaluatie, wetgeving, hergebruik, risico’s

Synopsis

Application of thermally cleaned soil. An evaluation and options for an application framework

Thermally Cleaned Soil (TGG) is a mixture of soil and other materials that is heated to remove organic contaminants. After treatment, the TGG can be reused. The Ministry of Infrastructure and Water Management (IenW) has asked RIVM to evaluate TGG standards and research method because of the environmental problems that arose when TGG was used. The objective of this evaluation is to clarify what is necessary to better assess the quality of TGG.

It appears that current legislation does not ensure that the use of TGG is safe for the environment. Excessively high concentrations of certain substances, such as benzene, can be found in TGG. Furthermore, TGG releases more contaminants than one would expect, such as heavy metals and salts. This discrepancy arises primarily because the properties of TGG are different to those of ordinary soil. For instance, TGG no longer contains any organic matter, its structure is different and its acidity is low (high pH).

Legislation is based on the properties of ordinary soil and does not take the properties of TGG into account. RIVM therefore recommends that the properties of TGG are taken into account when determining whether it is suitable for use.

RIVM also advises that broader research be carried out into leaching from soil, building materials and residual materials because hazardous substances can also be released from these reused materials. If necessary, new standards can be developed.

Pending new standards, RIVM has developed an initial application framework. This framework gives guidance to the safe use of TGG. The special properties of TGG and the use envisaged are also taken into account in the application framework.

Keywords: thermally cleaned soil, TGG, evaluation, legislation, reuse, risks

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 15
1.1 Vraagstelling — 16
1.2 Bredere vraagstukken hergebruik van grond, bouw- en reststoffen — 16

2 Het materiaal en productieproces — 19
2.1 Het materiaal — 19
2.2 Het productieproces — 21
2.2.1 Kwaliteit bepalende processen — 24
2.3 Conclusie — 26

3 Normeringskader nu en in het verleden — 29
3.1 Publieke wet- en regelgeving — 29
3.1.1 Zorgplicht — 29
3.1.2 Hergebruik van grond — 29
3.2 Private regelgeving: normdocumenten (BRL's) voor productie en afzet van TGG — 31
3.2.1 BRL SIKB 9335 en protocol 9335-2 — 32
3.2.2 BRL SIKB 7500 en protocol 7510 — 33
3.3 Totstandkoming beoordeling TGG — 35
3.3.1 Het Bouwstoffenbesluit (1995-2007) — 36
3.3.2 Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie (2004 – 2006) — 38
3.3.3 Overgang van Bouwstoffenbesluit naar het Bbk — 39
3.3.4 Conclusie totstandkoming ETW — 40
3.4 Interpretatie van wet- en regelgeving en de uitvoeringspraktijk — 42
3.4.1 Defenities bodem, grond en TGG — 42
3.4.2 Toetsing ETW en MEW_{grond} en interpretatie van de uitkomsten — 45
3.4.3 Bijmenging van materiaalstromen — 46
3.4.4 Partijspecifieke en proceskritische parameters thermische reiniging — 49

4 Knelpunten bij toepassing van TGG — 51
4.1 Beschikbare datasets — 51
4.2 Chemische kwaliteit — 54
4.2.1 Heterogeen (licht) verontreinigd materiaal — 54
4.2.2 Chemische samenstelling versus uitloging — 63
4.2.3 Uitloging zouten — 67
4.3 Fysische en biologische eigenschappen van TGG — 71

5 Verkenning van handelingsopties voor de toepassing van TGG — 75
5.1 Normeringskader — 75
5.1.1 Aanpassing ETW voor TGG — 75
5.1.2 Toetsing aan maximale emissiewaarden voor bouwstoffen — 77
5.1.3 Uitloging en relatie met pH in normstelling — 78
5.1.4 Niet genormeerde stoffen — 80
5.2 Toepassingskader voor secundaire grondstoffen — 80
5.2.1 Ladder voor toepassing van een secundaire grondstof — 80
5.3 Toepassingskader voor secundaire grondstoffen met hoge zoutlast — 87

5.4 Verbetering productkwaliteit — 90
5.4.1 Hoogwaardig hergebruik bestaand product — 90
5.4.2 Transitie naar systeemdenken en nieuwe producten — 91

6 Conclusie en aanbevelingen — 93
6.1 Conclusies — 93
6.2 Aanbevelingen — 96
6.2.1 Hergebruik van TGG — 96
6.2.2 Breder onderzoek naar uitloging uit grond, bouw- en reststoffen — 97
6.2.3 Interpretatie wet- en regelgeving — 97

Referenties — 99

Lijst met afkortingen — 107

Bijlage 1 Boxplots chemische samenstelling TGG — 109

Bijlage 2 Samenstelling versus uitloging — 111

Samenvatting

De Wet milieubeheer stelt een stortverbod vast voor alle soorten grond met uitzondering van grond waarvoor een niet reinigbaarheidsverklaring is afgegeven door het ministerie van IenW. Het reinigen en hergebruik van verontreinigde grond wordt hiermee gestimuleerd waardoor de afvaldruk naar de komende generaties wordt verminderd. Ook neemt de vraag en het gebruik van primaire grondstoffen zoals zand en grind af.

Eén van de grondreinigingstechnieken is thermische reiniging. Door verhitting (circa 400-650 °C) wordt verontreinigde grond ontdaan van aanwezige organische verontreinigingen (zoals minerale olie en Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)). Sinds 2008 kan de grond voorafgaand aan de verhitting worden gemengd met andere materiaalstromen, zoals teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Na behandeling wordt het mengsel als TGG toegepast in voornamelijk Grootschalige bodemtoepassingen (GBTs). In de praktijk gaat het hierbij vooral om infrastructurele projecten zoals wegen, dijklichamen en bij herinrichtingsprojecten. Anorganische verontreinigingen zoals zware metalen (onder andere koper en lood) en zouten (onder andere chloride en sulfaat) worden door thermische reiniging niet verwijderd. Daarom moet TGG voor toepassing op en in de bodem voldoen aan de voorwaarden in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en de bijbehorende Regeling bodemkwaliteit (Rbk).

Ondanks toetsing aan wetgeving zijn er in het recente verleden milieuproblemen ontstaan bij toepassing van TGG. In de TGG zijn bepaalde organische verontreinigingen en metalen in verhoogde concentraties aangetroffen (> maximale waarde industrie). Met name de aanwezigheid van vluchtige organische verbindingen is opmerkelijk vanwege de thermische behandeling. Ook bleek er sprake te zijn van hoge gehalten aan zouten in TGG, een hoge pH en een ongewenste uitloging van metalen en zouten naar grond- en oppervlaktewater. Op basis van toetsing aan de normen (Emissietoetswaarde voor grond) werd deze uitloging niet verwacht.

Vanwege deze incidenten is het vertrouwen in het product TGG sterkgedaald, stagneerde de afzetmarkt en zijn grote voorraden ontstaan. Dit was voor de Staatsecretaris aanleiding om:
"de normen en de onderzoeksmethode voor TGG door het RIVM in 2019 te laten evalueren. Hiermee moeten ook de noodzakelijke maatregelen in beeld worden gebracht om de kwaliteit van thermisch gereinigde grond beter te kunnen beoordelen" (Ministerie van IenW, 2018).

Aanvullend daarop heeft het ministerie van IenW, het RIVM gevraagd om te onderzoeken of een aanvullend kader voor een duurzame toepassing van TGG kan worden opgesteld waarbij rekening wordt gehouden met, naast de chemische kenmerken, ook de specifieke fysische-, en biologische kenmerken van dit materiaal.

Het materiaal en productieproces

Uit een analyse van verschillende datasets van voorraden TGG en een praktijktoepassing blijkt dat TGG heterogeen van samenstelling is. Dat wil zeggen dat per partij variatie bestaat in de aanwezigheid en concentraties van stoffen in TGG. Van de geanalyseerde dataset bevat 80-100% van de monsters, concentraties metalen boven de Achtergrondwaarde (grens voor schone grond). Voor organische verontreinigingen varieert dit van 4-85% van de monsters. Pas bij concentraties boven de kwaliteitsklasse industrie mag TGG niet meer worden toegepast. Het merendeel van de onderzochte monsters in deze evaluatie voldoet aan de kwaliteitsklasse industrie. Op basis van de chemische samenstelling wordt TGG daarom geclassificeerd als (licht) verontreinigd materiaal.

De productkwaliteit van TGG wordt mede bepaald door het productieproces. De volgende kwaliteitsbepalende procesonderdelen kunnen worden onderscheiden:

- Bijmenging brandstoffen (onder andere afvalolie uit de slibreiniging) en reststromen (zoals TAG) van wisselende kwaliteit voorafgaand aan de reiniging van grond.
- Bijmenging van stof uit de rookgasreiniging/naverbrander na reiniging van de grond.
- Verblijftijd van het grondmengsel in de installatie in relatie tot het vochtgehalte van de grond.
- Vracht van het grondmengsel in de installatie.
- Voldoende hoge en continue temperatuur van de installatie en de grond daarin.
- Voldoende menging van het grondmengsel in de installatie.
- De kwaliteit van het gebruikte water om de TGG te koelen.

De ontstane problematiek rondom TGG gaf aanleiding om het productieproces op een aantal punten aan te passen. Mogelijk zijn daarom onderdelen van deze beschrijving niet meer actueel met het huidige productieproces. Hierdoor kunnen nieuwe partijen TGG afwijken van bestaande partijen TGG.

Door het bijmengen van andere materiaalstromen en door de verhitting van de verontreinigde grond, veranderen de structuur en eigenschappen van de grond. Zo is er sprake van hoge pH (pH ≈9-11,5), de afwezigheid van organische stof en bodemorganismen en hoge zout concentraties. Daarmee wijken de fysische- en biologische kenmerken van TGG sterk af van een natuurlijke en onbehandelde grond zoals we die in Nederland kennen. Als gevolg hiervan gedraagt TGG zich anders dan onbehandelde grond en kunnen onvoorziene en niet gewenste effecten optreden in de praktijk, zoals een hoge uitloging van metalen en zouten.

Normeringskader en knelpunten in de praktijk

TGG moet voldoen aan de voorwaarden in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en de bijbehorende Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Voor enkele materiaalstromen is tijdens inspraakreacties op het Bbk (periode 2007) gevraagd duidelijkheid te scheppen over de status van het materiaal in

relatie tot de definitie van grond. Zo ook voor gereinigde grond. In de Nota van toelichting op het Bbk (2007) wordt hierover vermeld: *"Gereinigde grond betreft grond die wordt ontdaan van zijn verontreinigingen en is na die behandeling uiteraard gewoon nog grond."*

Op basis hiervan wordt TGG voor toepassing in en op de bodem beoordeeld als zijnde grond conform het Bbk en Rbk.

TGG moet bij toepassing in of op de bodem voldoen aan de maximale waarde industrie (MW_I) en de Emissietoetswaarde (ETW). De ETW fungeert hierbij als drempelwaarde voor nader uitloogonderzoek. Worden de MW_I en ETW niet overschreden, dan mag de TGG worden toepast omdat wordt aangenomen dat de daadwerkelijke uitloging niet boven de norm voor uitloging ligt. Als de ETW wordt overschreden is aanvullend uitloogonderzoek noodzakelijk. Het uitloogonderzoek wordt getoetst aan de norm voor uitloging voor grond, de Maximale emissiewaaarden voor grond (MEW_{grond}). Voor zouten (chloride, sulfaat en bromide) worden in de Rbk voor grootschalige bodemtoepassingen (GBT) geen nadere eisen gesteld waardoor deze stoffen niet worden getoetst. In gebieden met zoet grond- en oppervlaktewater kunnen hierdoor schadelijke effecten optreden voor plant en dier omdat deze van nature niet gewend zijn aan de hoge zoutgehaltes. Daarom mag TGG inmiddels alleen nog worden toegepast onder brakke of zoute grondwater condities.

In de praktijk is echter gebleken dat met name voor de stoffen antimoon, molybdeen en vanadium de voorspellende waarde van de ETW niet overeenkomt met de daadwerkelijke uitloogemissies. Er vindt uitloging plaats tot boven MEW_{grond} terwijl dit op basis van de toetsing aan de ETW niet wordt voorspeld. Het omgekeerde komt overigens ook voor, waarbij bijvoorbeeld voor de metalen koper en zink op basis van de toetsing uitloging wordt verwacht, maar bij nader uitloogonderzoek de MEW_{grond} in praktijk niet wordt overschreden. De data-analyse in deze evaluatie bevestigen dit beeld. Een verklaring voor dit verschil is deels terug te voeren op de afwijkende eigenschappen van TGG zoals hiervoor besproken maar is ook deels terug te voeren ook op het verschil in de onderbouwing van de normen ETW en de MEW_{grond} (zie ook volgende paragraaf).

Marginale bodembelasting versus risicobenadering
Het hergebruik van TGG werd tot 2008 beoordeeld middels het Bouwstoffenbesluit. Hierbij was het uitgangspunt dat een langzame (en geringe) toename van metalen door de bodem en het ecosysteem daarin kan worden verdragen. Over lange perioden kunnen ecosystemen zich langzaam zonder veel schade aanpassen. Dit is het principe van de marginale bodembelasting. De emissiewaarden van het voormalige Bouwstoffenbesluit waren gebaseerd op dit principe van marginale bodembelasting. In de praktijk leidde dit tot problemen met het hergebruik van gereinigde en licht verontreinigde grond door uitloging van antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, fluoride, sulfaat, chloride en bromide. Daarom heeft in 2003 de Technische commissie bodem (TCB) voor grond (inclusief TGG en licht verontreinigde grond) geadviseerd om vrijstelling van een uitloogtoets te verlenen als de samenstellingswaarde

voor schone grond uit het Bouwstoffenbesluit (SW1) niet werd overschreden. In de daaropvolgende 'Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie' is hier invulling aan gegeven door een samenstellingswaarde vast te stellen als gemiddelde van SW1 (criterium voor 'schone grond') en SW2 (criterium voor 'niet-schone grond'), of Achtergrondwaarde en interventiewaarde voor stoffen waarvoor geen SW1 of SW2 beschikbaar waren. Deze werkwijze vormde in 2008 ook de onderbouwing voor de huidige ETW voor alle genormeerde metalen in de Bbk en Rbk.

De MEW_{grond} daarentegen kent een risicobenadering waarbij een beleidsmatig beschermingsniveau is gekozen. De keuze van de ETW als drempelwaarde voor het doen van een uitloogproef enerzijds, en de onderbouwing van de MEW_{grond} in de Regeling Bodemkwaliteit anderzijds, is vanwege de later ingestelde risicobenadering voor de MEW_{grond} niet goed te verantwoorden omdat de uitgangspunten en onderbouwing niet op elkaar aansluiten. Uit onderzoek blijkt namelijk dat de samenstelling van een partij TGG geen zeggingskracht heeft voor de uitloging van verontreiniging uit diezelfde partij.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het bestaande toetsingskader van het Besluit bodemkwaliteit niet- of onvoldoende toereikend is voor beslissingen met betrekking tot een veilige en duurzame toepassing van TGG in of op de bodem, specifiek in GBT.

Handelingsopties

In deze evaluatie zijn diverse handelingsopties onderzocht binnen het bestaande beleidskader. Deze opties zijn in te delen in voorstellen voor aanpassing van de normstelling, het toepassingskader en kwaliteitsverbetering van het product. In tabel 6.1 van deze rapportage worden deze opties samengevat.

Ook is een aanzet gedaan voor een 'toepassingskader' (figuur 5.4 in hoofdstuk 5) waarin rekening wordt gehouden met de fysische en biologische kenmerken van het materiaal enerzijds en de ontvangende bodem, functie, locatie et cetera anderzijds. Het toepassingskader kan naast TGG ook gebruikt worden voor andere secundaire grondstoffen. Afhankelijk van de specifieke bodemtoepassing moet een bepaald niveau van bescherming van mens, plant, dier én een goed functionerend ecosysteem in een vitale bodem, geborgd zijn. Het toepassingskader stelt eisen aan de secundaire grondstof die afgestemd zijn op 'grijze' en 'groene' bodemfuncties. Bij de 'grijze functies' worden eisen gesteld aan de chemische samenstelling, structuur en het uitlooggedrag en worden er geen aanvullende specifieke ecologische eisen gesteld. Voor de 'groene' functies is het ecologisch functioneren wel een eis.

De trapsgewijze aanpak maakt inzichtelijk bij welke bodemfunctie de secundaire grondstof maximaal hoogwaardig kan worden toegepast. Hierbij geldt dat hoe beter de kwaliteit, hoe hoogwaardiger de toepassing. Het toepassingskader is nog in ontwikkeling en is met name bedoeld om de gedachtenvorming en discussie rondom het duurzaam hergebruik van secundaire grondstoffen te stimuleren.

Aanbevelingen

Voor de toepassing van TGG wordt aanbevolen niet alleen te toetsen aan de chemische samenstellings- of emissienormen, maar ook aan de fysische en biologische kwaliteit van de TGG in relatie tot de kwaliteit en functie van de omliggende (ontvangende) bodem. Daarom wordt aanbevolen de wijze van toepassing mede in beschouwing te nemen en te streven naar een zo hoogwaardig mogelijk hergebruik (of hoogwaardige toepassing). In deze rapportage is een eerste aanzet voor een toepassingskader opgesteld. Het prototype kan in een vervolg worden verbeterd en aangevuld bij het beschikbaar komen van praktijkervaring, nieuwe inzichten, meer gegevens en duidelijk omschreven toepassingen.

Naast een toepassingskader is het wenselijk om een stimulans te ontwikkelen die de kwaliteit van grond, bouw- en reststoffen en de hoogwaardige toepassing ervan verbeteren. Hierdoor wordt beter aangesloten op een circulaire werkwijze. Zo is het denkbaar om een laagwaardige toepassing te ontmoedigen terwijl een hoogwaardige toepassing zou kunnen worden gestimuleerd. Ook is hiervoor een gelijktijdige kwaliteitsverbetering van de TGG noodzakelijk om ongewenste effecten op het milieu te voorkomen.

In deze evaluatie zijn in de praktijk ervaren onduidelijkheden en mogelijke interpretatieverschillen van wet- en regelgeving besproken. Door de interpretatieverschillen kan onduidelijkheid bestaan over het risico op schadelijke effecten bij toepassing van TGG. Zo zijn er vragen gesteld over de definities van grond en bodem zoals omschreven in de Wbb, het Bbk (inclusief Rbk) en het op TGG van toepassing zijnde protocol 7510 voor de procesmatige reiniging van grond en baggerspecie. Het zou dan ook onderzocht moeten worden of de afstemming van de definities van grond en bodem leidt tot een begrijpelijker en meer adequaat stelsel. Bovendien moet voor de invulling van het begrip bodemkwaliteit naast de chemische-fysische eigenschappen ook de biologische kwaliteit worden meegenomen in de definitie.

Ook het bijmengen van andere materiaalstromen (zoals TAG) voorafgaand aan de gezamenlijke reiniging in relatie tot het gehalte bodemvreemd materiaal roept in de praktijk vragen op. Het wordt aanbevolen om hier duidelijkheid over te geven en indien nodig randvoorwaarden te stellen voor het mengen van verontreinigde grond en afvalstromen. Tot slot worden in deze rapportage enkele inhoudelijke aandachtspunten gegeven voor de huidige beoordelingsprotocollen voor de thermische reiniging van grond.

Bredere vraagstukken hergebruik van grond, bouw- en reststoffen
De problematiek rond de toepassing van TGG staat niet op zichzelf. De laatste jaren is er veel aandacht voor nieuwe vormen van hergebruik van grond, bouw- en reststoffen (tezamen secundaire grondstoffen) die in- of op de bodem worden toegepast. Deze producten voldoen weliswaar aan de normen uit de Rbk, maar het is de vraag of dit normenkader is toegerust om de verschillende producten te beoordelen. Hieruit volgen in toenemende mate vragen van (lokale) overheden,

ontwikkelaars en grondroerders die terug te voeren zijn op een prudente en haalbare invulling van de zorgplicht.

De aandacht voor secundaire grondstoffen leidt tot de noodzaak om de kennis van uitloging en effecten te verstevigen. Op termijn kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving. Het wordt aanbevolen om hier de komende jaren meer structureel aan verder te werken. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan het ontwikkelen van een alternatief voor normering op basis van samenstelling (ETW), de periodieke monitoring van bodem en grondwater en hergebruik van secundaire grondstoffen. In deze rapportage is een eerste aanzet gedaan voor een verdere uitwerking van de toepassingskaders.

1 Inleiding

De Wet milieubeheer stelt een stortverbod vast voor alle soorten grond met uitzondering van grond waarvoor een niet reinigbaarheidsverklaring is afgegeven door het ministerie van IenW. Het reinigen en hergebruik van verontreinigde grond wordt daarom gestimuleerd. Hiermee wordt afvaldruk naar de komende generaties verminderd en neemt de vraag naar en het gebruik van primaire grondstoffen zoals zand en grind af.

Eén van de toegepaste grondreinigingstechnieken is thermische reiniging. Verontreinigde grond wordt door verhitting ontdaan van aanwezige organische verontreinigingen (zoals minerale olie en PAK's). Daardoor ontstaat thermisch gereinigde grond (TGG). Reeds aanwezige anorganische verontreinigingen zoals zware metalen (onder andere koper en lood) en zouten (onder andere chloride en sulfaat) worden door thermische reiniging niet verwijderd.

Voor toepassing van TGG op en in de bodem moet de TGG voldoen aan de voorwaarden in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en de bijbehorende Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Met het in werking treden van het Bbk worden diverse materialen die onder het voormalige Bouwstoffenbesluit geen grond waren, nu wel als grond geclassificeerd. Hierbij worden eisen gesteld aan het gewichtspercentage ander materiaal en blijft gelden dat het moet gaan om materiaal in een verhouding en met een structuur zoals deze in de bodem van nature worden aangetroffen. Voor enkele materiaalstromen is tijdens inspraakreacties op het Bbk gevraagd duidelijkheid te scheppen over de status van het materiaal in relatie tot de definitie van grond. Zo ook voor gereinigde grond. In de Nota van toelichting op het Bbk (2007) wordt hierover vermeld:
"Gereinigde grond betreft grond die wordt ontdaan van zijn verontreinigingen en is na die behandeling uiteraard gewoon nog grond."

Uitgaande van deze toelichting uit de nota van toelichting op het Bbk, wordt TGG beoordeeld conform het bodemkwaliteitskader en het kader voor grootschalige bodemtoepassingen (GBT) (zie ook hoofdstuk 3).

Sinds 2008 kan conform het SIKB protocol 7510 (SIKB, 2018b) de grond voorafgaand aan de verhitting worden gemengd met andere materiaalstromen zoals teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Na behandeling wordt het mengsel TGG toegepast in voornamelijk GBTs. In de praktijk gaat het hierbij vooral om infrastructurele projecten zoals wegen, dijklichamen en bij herinrichtingsprojecten.

In het recente verleden zijn milieuproblemen ontstaan bij toepassing van TGG. In de TGG zijn bepaalde organische verontreinigingen in verhoogde concentraties aangetroffen en was er sprake van uitloging van zware metalen en zouten naar het grondwater en het naastgelegen oppervlaktewater. TGG heeft door het reinigingsproces andere eigenschappen dan 'natuurlijke' grond die bij ontgravingen vrijkomt. Zo is er sprake van een hoge pH (pH ≈9-11,5) en de afwezigheid van organische stof en bodemorganismen. Vanwege deze eigenschappen

blijkt dat TGG niet onder alle omstandigheden probleemloos en duurzaam kan worden toegepast.

1.1 Vraagstelling

Door de recente negatieve ervaringen met toepassing van TGG op en in de bodem is het vertrouwen in het product TGG sterk gedaald, stagneerde de afzetmarkt en zijn grote voorraden ontstaan.
In de kamerbrief van 11 december 2018 (Ministerie van IenW, 2018) meldt de Staatsecretaris onder andere dat zij:
"de normen en de onderzoeksmethode voor TGG door het RIVM in 2019 laat evalueren. Hiermee moeten ook de noodzakelijke maatregelen in beeld worden gebracht om de kwaliteit van thermisch gereinigde grond beter te kunnen beoordelen."

Aanvullend daarop heeft het ministerie van IenW, het RIVM gevraagd om te onderzoeken of een aanvullend kader voor een duurzame toepassing van TGG kan worden opgesteld waarbij rekening wordt gehouden met, naast de chemische kenmerken, ook de specifieke fysische-, en biologische kenmerken van dit materiaal.

In de onderhavige rapportage worden de uitkomsten van het onderzoek gepresenteerd. Hierbij komen de volgende vragen aan bod:

- Wat is TGG en wat zijn de kwaliteitsbepalende processtappen tijdens reiniging? (Hoofdstuk 2)
- Welk normeringskader is van toepassing op TGG en hoe is dit tot stand gekomen? (Hoofdstuk 3)
- Wat zijn de knelpunten voor toepassing van TGG in de praktijk? (Hoofdstuk 4)
- Hoe kan invulling worden gegeven aan een nieuw toepassingskader voor TGG? (Hoofdstuk 5)

In de conclusie (Hoofdstuk 6) wordt ingegaan op de vraag in hoeverre het huidige normeringskader een duurzame toepassing van TGG in de praktijk borgt. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan voor een vervolg.

1.2 Bredere vraagstukken hergebruik van grond, bouw- en reststoffen

De laatste jaren is veel aandacht voor nieuwe vormen van hergebruik van grond, bouw- en reststoffen (tezamen secundaire grondstoffen) die in- of op de bodem worden toegepast. Veelal ingestoken vanuit de wens om meer circulair te werken en zo de vraag naar primaire grondstoffen te verkleinen. Hieruit volgt een toenemend aantal vragen van (lokale) overheden, ontwikkelaars en gebruikers die terug te voeren zijn op een prudente en haalbare invulling van de zorgplicht. Een toenemende zorg is de uitloging van stoffen en de effecten van deze stoffen op de lokale kwaliteit van grondwater en oppervlaktewater. De mate waarin stoffen vrijkomen is afhankelijk van hoe sterk deze stoffen zijn gebonden aan de matrix (zowel het toegepaste materiaal als de bodem daaronder) en de lokale geohydrologische omstandigheden. Uit onder andere de vraagstukken rondom TGG is gebleken dat er behoefte bestaat aan meer kennis en een uniforme benadering ten aanzien van de

beoordeling van uitloging en transport uit de verschillende soorten grond, bouw- en reststoffen.

Het gaat daarbij om verschillende risico's, zoals door de aanwezigheid van nieuwe stoffen (bijvoorbeeld PFAS) waarvan het verspreidingsgedrag mogelijk anders is dan van stoffen die zijn genormeerd in de Rbk of het uitlogen van niet genormeerde stoffen zoals zouten (onder ander chloride en sulfaat). Daarnaast gaat het om de toepassing van specifieke partijen grond, bouw- en reststoffen (bijvoorbeeld granulaten, bodemassen en TGG) en de effecten hiervan op lokale ecosystemen of de uitloging van stoffen in geval van specifieke situaties en toepassingen (bijvoorbeeld bij stortplaatsen, verondieping van voormalige zandwinputten, wegverhardingen en inrichtingen waar partijen grond of bouwstoffen worden opgeslagen). Tot slot dient te worden vastgesteld dat de maatschappelijke acceptatie van de toepassing van verschillende reststromen de laatste tijd onder druk staat als gevolg van negatieve ervaringen.

De vragen waarmee beleid en uitvoering de laatste jaren geconfronteerd worden zijn breder, meer omvattend en integraal, en daardoor complex van aard. Dit onderzoek richt zich specifiek op de problematiek van de toepassing van TGG maar vormt daarmee tevens de basis voor een toepassingskader voor andere secundaire grondstoffen.

2 Het materiaal en productieproces

2.1 Het materiaal

Thermisch gereinigde grond ontstaat door verontreinigde grond in een draaiende metalen trommel onder hoge temperatuur (circa 400-650 °C) te verhitten. Naast de verontreinigde grond worden ook andere materialen bijgemengd voorafgaand aan de verhitting. Teerhoudend asfaltgranulaat (TAG) is hierbij de grootste materiaalstroom. Na behandeling blijft een heterogeen product over, dit mengsel wordt TGG genoemd.

Tijdens de thermische reiniging worden vluchtige organische verbindingen (zoals bijvoorbeeld minerale olie en BTEX) verwijderd door verbranding. Ook enkele anorganische verontreinigingen kunnen door thermische reiniging verwijderd worden. Kwik en kwikverbindingen kunnen door de thermische behandeling verdampen terwijl cyaniden bij thermische behandeling ontleden (chemisch uit elkaar vallen). Verontreinigingen met (overige) zware metalen en zouten worden niet verwijderd en zijn nabehandeling nog aanwezig in de TGG. Behalve verontreinigingen worden ook al het organische stof en het bodemleven in de grond verbrand. Door de verbrandingsresten van de organische verontreinigingen en het organische stof krijgt het materiaal een grijs-zwarte kleur (figuur 2.1).

Figuur 2.1 Thermisch gereinigde grond van dichtbij en in depot.

TGG heeft door het reinigingsproces andere eigenschappen dan 'natuurlijke' onbehandelde grond die bij ontgravingen vrijkomt. Zo heeft TGG een hoge pH van ± 9-11,5 terwijl de pH van natuurlijke bodems in Nederland varieert tussen ± 2,8-8,5 (Mol et al. 2012 en Rutgers et al. 2007). Vermoedelijk wordt de hoge pH veroorzaakt door de aanwezigheid van hoge concentraties gebluste kalk, ($Ca(OH)_2$ of calciumhydroxide) dat als toeslagstof in TAG aanwezig is. Daarnaast kan tijdens het reinigingsproces tevens het hygroscopische (vochtaantrekkende) ongebluste kalk (CaO of calciumoxide) worden gevormd door de thermische ontleding van $Ca(OH)_2$ (vanaf ca. 420 °C) of zelfs van kalk ($CaCO_3$ of calciumcarbonaat) vanaf ongeveer 700 °C (Pardo et al. 2014; Taylor, 1997). De initieel hoge pH heeft TGG gemeen met industriële reststoffen die eveneens bij hoge temperatuur zijn gevormd zoals staalslakken (pH 12-13), AEC bodemas (pH 11-12)

en betongranulaten uit bouw- en sloopafval (pH 12) (Dijkstra et al. 2019). Niet alleen heeft deze hoge pH een effect op het bodemleven, ook verandert het gedrag van mineralen en zouten (de uitloging) onder invloed van de pH in vergelijking met een natuurlijke grond. In tabel 2.1 zijn de kenmerken van TGG vergeleken met eigenschappen van verschillende Nederlandse bodems (zand, klei, veen en löss). TGG komt nog het meest overeen met zand maar ook voor zand heeft TGG extreme kenmerken in het bereik van het 5de of 95ste percentiel (in rood).

Tabel 2.1 Kenmerken van vijf partijen TGG[1] in depot vergeleken met de eigenschappen van een Nederlandse zand, klei, veen en Löss bodems. Gehalten in Nederlandse bodems, in toplaag (boven) en onderlaag (onder)(Mol et al. 2012 en Rutgers et al. 2007).

	TGG gemiddelde van vijf partijen[1]	**Zand**			**Mariene klei**	**Fluviale klei**	**Veen**	**Löss**
		5 p	**Med.**	**95p**	**Med.**	**Med.**	**Med.**	**Med.**
Organische stof wt-%	1,6 -	1,68 0,317	4,72 0,667	11,6 3,32	5,44 3,58	7,07 3,84	25,0 63,9	3,61 2,23
pH ($CaCl_2$)	9,6 -	3,14 4,10	4,74 4,65	6,20 6,16	7,05 6,92	5,93 6,27	4,66 4,47	6,53 5,89
Ca totaal [g/kg][2]	49 -	0,16 0,59	1,24 0,63	3,86 3,90	18,51 28,44	6,22 8,50	6,65 20,73	4,37 3,89
SO_4 [g/kg][3]	5,3 -	0,16 0,15	0,73 0,94	3,12 13,57	2,22 3,36	1,08 2,89	13,06 60,52	0,67 -
Na totaal [g/kg][4]	1,9 -	0,83 0,74	1,71 1,98	2,99 3,57	2,91 3,16	2,59 2,59	1,73 1,28	4,23 4,08
K totaal [g/kg][5]	2,1 -	1,80 1,94	3,23 3,57	4,65 5,73	8,09 7,18	8,09 8,30	5,02 2,96	8,22 8,97
-Geleidbaarheid [µS/cm] TGG bij L/S =1 -Licht verzilte grond[6] -Matig verzilt -Verzilt -Sterk Verzilt	7000		1800 3500 6700 >9000		2200 4300 8800 >11500	2000 3800 7600 >10100		1900 3600 7200 >9500
Biomassa bacteriën[7] [mg C / kg]	NA	40	146	293	66	322	208	476

[1] Data afkomstig uit het verificatie onderzoek van ILT en de grondreinigers. Zie paragraaf 4.1 voor een nadere toelichting.
[2] In Bodematlas als wt% CaO, hier omgerekend naar Ca [g/kg] als bij analyse van TGG
[3] In Bodematlas als wt% S, hier omgerekend naar SO_4 alsof alle S sulfaat is dus SO_4 max [g/kg]
[4] In Bodematlas als wt% Na_2O, hier omgerekend naar Na [g/kg]
[5] In Bodematlas als wt% K_2O, hier omgerekend naar K [g/kg]
[6] Uit: Manual Cornell Soil Health Assessment (Table 20.6A), Reductie opbrengst gewassen: licht verzilt= alleen voor meest gevoelige gewassen, matig verzilt= meeste gewassen, verzilt= alleen tolerante gewassen geven goede opbrengst, sterk verzilt= alleen zeer tolerante gewassen geven opbrengst.
[7] Alle biologische kenmerken zijn afgeleid voor graslanden op de verschillende grondsoorten en gelden alleen voor de toplaag (0 – 20 cm).

	TGG gemiddelde van vijf partijen[1]	Zand			Mariene klei	Fluviale klei	Veen	Löss
		5 p	Med.	95p	Med.	Med.	Med.	Med.
Decompositie activiteit micro-organismen [mg C /kg/week]	NA	21	66	127	22	80	290	37
Regenwormen dichtheid (n / m^2)	NA	25	183	405	474	212	530	283

Tijdens de verwerking van TGG in grootschalige bodemtoepassingen gedraagt het zich in eerste instantie hydrofoob (waterafstotend) en in droge conditie verstuift TGG snel (Brand et al. 2018). Nadat TGG (onder druk) is verwerkt en enige tijd heeft gelegen lijkt het materiaal juist hygroscopisch (water aantrekkend) te werken waardoor het de potentie heeft tot verkitting (verkleving) en hard wordt.

Door de thermische behandeling bevat TGG geen bodemleven zoals schimmels, bacteriën en bodemorganismen en is er geen organische stof aanwezig. Door het ontbreken van organische stof is TGG ook niet in staat om stoffen (zowel water, voedingsstoffen als verontreinigingen) aan zich te binden en vast te houden. Bepaalde bodemmineralen kunnen door de thermische behandeling geactiveerd of omgezet worden (bijvoorbeeld $CaCO_3$ naar CaO) en ook kan de kristalstructuur van de bodemdeeltjes (klei) veranderen waardoor deze afwijkt van de deeltjes in natuurlijke grond. Dit kan bijdragen aan een versnelde uitloging van stoffen uit TGG. Tot slot bevat TGG veel hogere concentraties sulfaat, chloride en bromide dan natuurlijke grond.

Vanwege deze eigenschappen blijkt dat TGG niet onder alle omstandigheden probleemloos en duurzaam kan worden toegepast. Niet alle eigenschappen van TGG kunnen verklaard worden door de thermische reiniging alleen. Een deel van de karakteristieken zijn het gevolg van het bijmengen van andere materialen. In paragraaf 2.2 wordt daarom het productieproces van TGG beschreven en worden kwaliteitsbepalende processen geïdentificeerd.

2.2 Het productieproces

In deze paragraaf wordt het productieproces van TGG op hoofdlijnen beschreven om kwaliteitsbepalende processen te verkennen. De beschrijving van het productieproces is mede tot stand gekomen op basis van de afgegeven vergunning en/of vergunningsaanvragen voor een tweetal grondreinigers (Provincie Noord-Brabant, 2009 en Theo Pouw, 2015). De ontstane problematiek rondom TGG gaf aanleiding om het productieproces op een aantal punten aan te passen. De aanpassingen van het productieproces zijn gedurende de totstandkoming en na afronding van deze rapportage nog steeds gaande. Mogelijk zijn daarom onderdelen van deze beschrijving niet meer actueel met het huidige productieproces. Omdat de handelingen in het verleden wel van invloed zijn op de bestaande voorraden TGG

worden deze wel beschreven in deze rapportage. Voor een volledige en meest actuele beschrijving van het productieproces wordt verwezen naar de vergunningsaanvragen of de grondreinigers.

Er zijn een viertal producenten van TGG in Nederland waarvan ATM en Theo Pouw het grootste marktaandeel bezitten.
Elke producent heeft zijn eigen reinigingsproces maar deze zijn gebaseerd op hetzelfde werkingsprincipe zoals beschreven in de factsheet 'Thermische reiniging grond' (Bodemrichtlijn, 2019):
"De werking van thermische grondreiniging berust op de verwijdering van […] de verontreinigende stoffen uit de bodembestanddelen in de verdampingssectie. Deze verwijdering wordt tot stand gebracht door de temperatuur in beide secties te verhogen […] en zal alle verontreinigende stof verdampen. De organische verontreinigende stoffen worden via de gasfase verwijderd uit de grond en vervolgens op hoge temperatuur volledig verbrand tot de atmosferische componenten koolzuur en water en sporen van overige componenten. De verontreinigende stoffen in deze verbrandingsgassen worden verwijderd in een rookgasreiniger, evenals het nog aanwezige stof. De gereinigde verwarmde grond wordt gekoeld en bevochtigd en is na eindcontrole gereed voor hergebruik dan wel nuttige toepassing. Door deze verhitting wordt de van nature aanwezige organische stof gepyroliseerd, waarbij een deel als gasvormige verbindingen uitdampt. Een deel van de koolstof blijft als anorganisch koolstof achter. Ook het poriewater en het chemisch gebonden water wordt door de behandeling verwijderd".

Verder vermeldt de factsheet thermische reiniging grond (Bodemrichtlijn, 2019):
"De huidige ontwikkeling is dat de thermische reinigers zich voornamelijk richten op partijen die alleen middels de thermische reinigingstechniek te reinigen zijn. Het verminderd aanbod van grond wordt opgevangen door het reinigen van teerhoudend asfalt granulaat (TAG). Per 1 januari 2001 kan TAG in veel gevallen namelijk slechts toegepast worden na reiniging, omdat het vanaf deze datum niet is toegestaan om TAG te verhitten en opnieuw aan te brengen als asfalt in verband met het gehalte aan PAK's in TAG (> 75 mg/kg)".

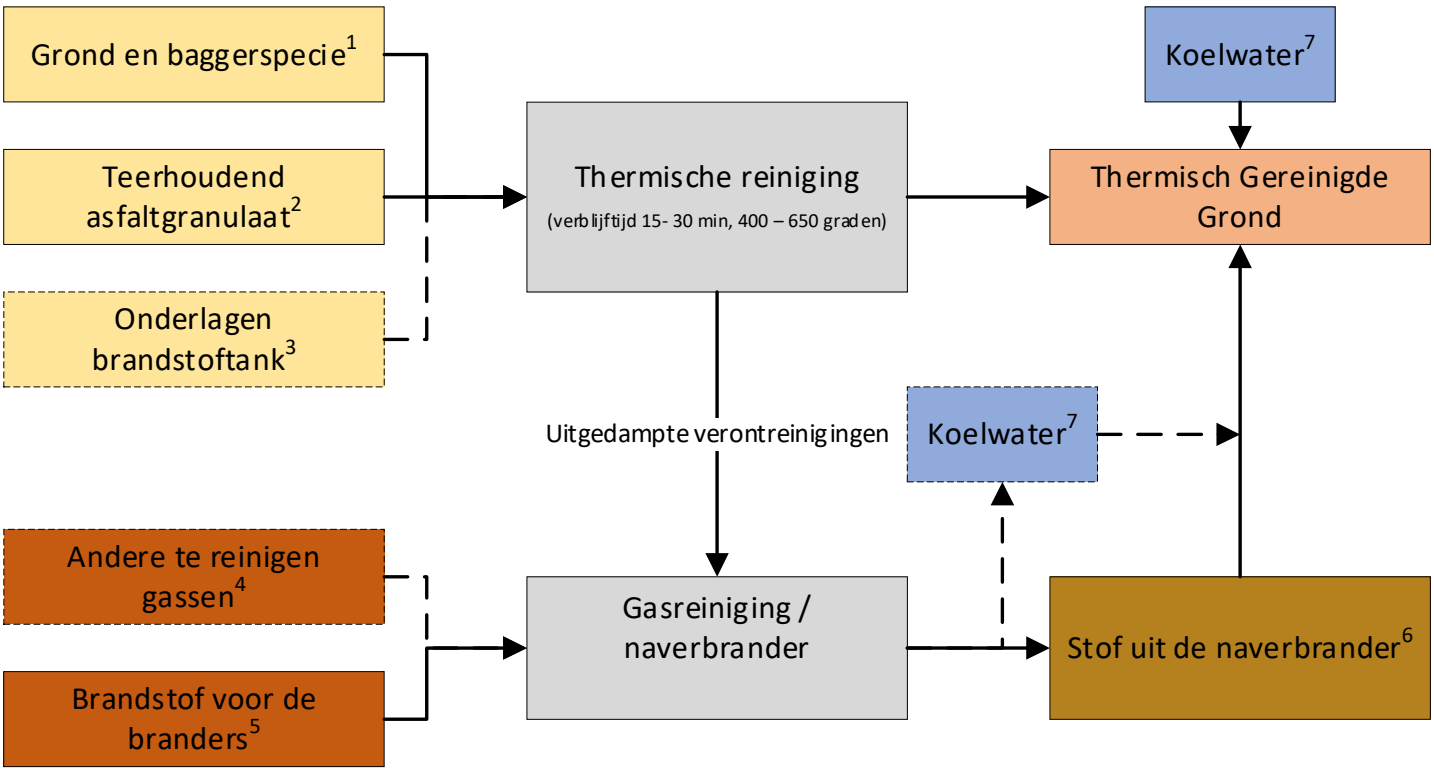
Teerhoudend asfalt granulaat (TAG)
Teerhoudend asfaltgranulaat mag volgens het Bbk sinds 2001 niet meer worden toegepast of worden hergebruikt vanwege de hoge concentraties PAK in de teer dat als bindmiddel is gebruikt.

TAG wordt door de Bodemrichtlijn (2019b) omschreven als:
"Teerhoudend asfaltgranulaat wordt verkregen door het breken van asfaltpuin (verkregen door sloop van bitumineuze verhardingen) of door het frezen van bitumineuze wegverhardingen of dijkbekledingen. Asfalt(beton), is een mengsel van mineraal aggregaat, een bitumineus bindmiddel en eventuele toeslagstoffen. Het mineraal aggregaat bestaat uit een stapeling van granulaire steenachtige materialen van verschillende aard en afmetingen. Het bindmiddel bitumen is een zware fractie aardolie.

Er worden diverse toeslagstoffen gebruikt:
- *Vulstoffen: met korrelgrootte < 63 µm, bijvoorbeeld vliegas, kalksteenmeel(= voornamelijk $CaCO_3$).*
- *Hulpstoffen: zoals afdruipremmende stoffen (cellulosevezel)).*
- *hechtverbeteraars (kalkhydraat).*
- *rheologisch gedrag beïnvloedende stoffen (zoals polymeren en rubbers)".*

Bij thermische reiniging van TAG verbranden de bitumen bindmiddelen en blijven zand, steen, vulstoffen zoals vliegas en kalksteenmeel achter.

Naast TAG worden er ook andere materiaalstromen voorafgaand aan de reiniging aan de verontreinigde grond toegevoegd zoals bentoniet, zeefzand, boorgruis, kolkenslib en rioolslib et cetera. Ook na reiniging worden materiaalstromen aan het gereinigde product toegevoegd onder andere het stof uit de gasreiniging en naverbrander (Provincie Noord-Brabant, 2009 en Theo Pouw, 2015, SIKB, 2018b). In figuur 2.2 is een vereenvoudigde weergave gegeven van het productieproces. Deze schematisatie is opgesteld op basis van de afgegeven vergunning en/of vergunningsaanvragen van beide producenten met als doel om kwaliteitsbepalende procesonderdelen te identificeren. Beide figuren zijn niet bedoeld om het productieproces volledig te beschrijven, hiervoor wordt verwezen naar de vergunningsaanvragen of de grondreinigers.



Figuur 2.2 Schematisch overzicht van het thermische reinigingsproces van verontreinigde grond. Gestippelde boxen en lijnen geven aan dat deze handeling producent specifiek is. Hierna volgt een toelichting op enkele textboxen.

[1] Zoals grond, zand, waterbodems, baggerspecie, RKGV (=rioolslib, kolkslib, gemaalslib en veegzand), zand uit zandvanger, zand uit zeefzand (herkomst: zandscheidings- of reinigingsinstallatie), zeefzand, grind, boorgruis, bentoniet, tarragrond, filteraarde, bleekaarde en kleikorrels.

[2] Teerhoudend asfaltgranulaat: Granulair materiaal met vulstoffen (korrelgrootte < 63 microm, b.v. vliegas, kalksteenmeel (= vooral $CaCO_3$),
hulpstoffen (zoals afdruipremmende stoffen (cellulosevezel)),
hechtverbeteraars (kalkhydraat = $Ca(OH)_2$) en rheologisch gedrag beïnvloedende stoffen (zoals polymeren en rubbers).

[3] substituut brandstof (= olieproduct van de slibreiniging)

[4] substituut brandstof/ luchtmengsel, pyrolysegas, de afgassen van het centrale afgassysteem, afgas van de MBR/lozingstanks.

[5] substituut brandstof en pyrolysegas.

[6] Het in de naverbrander uitvallende stof wordt toegevoegd aan de gereinigde grond/bouwstoffen stroom.

[7] Koelwater is afkomstig uit oppervlaktewater of intern proceswater.

2.2.1 Kwaliteit bepalende processen

2.2.1.1 Bijmengen reststromen

Om het mengsel van verontreinigde grond en TAG te verhitten wordt warmte en een additionele brandstof gebruikt. Per reiniger kan de brandstof verschillen. Zo wordt als additionele brandstof onder andere olie afkomstig van de slibreiniging en laagcalorische onderlagen van brandstoftanks gebruikt. Ook dakleer en het in de TAG aanwezige teer kan als additionele brandstof worden beschouwd. De additionele brandstoffen worden toegevoegd aan de te reinigen grond en het mengsel wordt verbrand. Zowel de onderlagen van de brandstoftanks als de TAG kunnen verontreinigingen bevatten die bij een onvoldoende thermische reiniging niet worden verwijderd. De exacte samenstelling van de mengsels is onbekend en is afhankelijk van het inputmateriaal

welke een heterogeen karakter heeft. De bij slibreiniging verkregen oliefractie kan ook allerlei stoffen bevatten die in olie oplossen. De TAG bevat zand, grond en steenslag, teer met hoge concentraties PAK, en daarnaast vliegas, rubber, polymeren en calciumzouten, zwavelverbindingen als toeslagstoffen en bindmiddelen. Na verhitting blijven de vliegas, de calciumzouten en het zand, grind en steenslag achter. Het aandeel TAG dat wordt bijgemengd is niet gespecificeerd en verschilt per partij.

Als brandstof voor de gasreiniging/naverbrander wordt afhankelijk van de producent aardgas, pyrolysegas of andere brandbare gassen gebruikt. Pyrolysegas is een restproduct van de pyrolyse van chemisch afval en afvalolie uit de slibreiniging. Hierbij wordt het afval dermate verhit dat het volledig uit elkaar valt en er alleen as overblijft.

Tot voor kort werden ook na reiniging van het grondmengsel de stofdeeltjes van de rookgasreiniging/naverbranding weer teruggevoerd naar het gereinigde grondmengsel. Afhankelijk van de producent, waren deze stofdeeltjes niet alleen afkomstig van de thermische reiniging van grond, maar konden ze ook uit andere reinigingsprocessen elders op de bedrijfslocatie afkomstig zijn. Inmiddels is de terugvoer van rookgasresidu niet meer toegestaan.

De hoeveelheid en samenstelling van de materiaalstromen die worden bijgemengd zijn mede bepalend voor de kwaliteit van het eindproduct. Bij onvoldoende reiniging kunnen organische verbindingen in het eindproduct achter blijven. Ook de niet organische samenstelling van de materiaalstromen is bepalend voor het eindproduct. Zo worden eventuele aanwezige metalen en vulmiddelen uit TAG (zoals vliegas en kalksteenmeel) niet verwijderd door thermische reiniging en deze blijven daarom achter en zijn medebepalend voor de kwaliteit van het eindproduct.

2.2.1.2 Verblijfsduur, temperatuur, belading en menging

In hoeverre de reiniging van verontreinigde grond ‘voldoende’ is om alle organische verontreinigingen te verwijderen wordt bepaald door de verblijftijd, de belading van de trommel, de behaalde temperatuur en de mate van menging in de trommel.

Volgens de vergunningsaanvragen wordt het te reinigen materiaal onder normale condities en zonder voorafgaande droging in de trommel gevoerd. De grond bevat zijn natuurlijke vochtgehalte en een deel van de verblijftijd is dan ook nodig voor het drogen. Voor zover bekend varieert de verblijftijd van het te reinigen materiaal in de installatie van 15 – 30 minuten ((Provincie Noord-Brabant, 2009). Het is onduidelijk of een verblijftijd van 15-30 minuten voldoende is, om het te reinigen materiaal lang genoeg op een voldoende hoge temperatuur te houden, zodat alle vluchtige verbindingen kunnen verbranden. Naast de verblijftijd in de trommel, is ook de belading en de menging van het materiaal in de verbrandingsinstallatie van belang. Hoe meer materiaal er in de trommel gaat, hoe langer de benodigde verblijftijd en/of hoe hoger de temperatuur moet zijn om een volledige reiniging te verkrijgen. Bij onvoldoende menging, bestaat de kans dat niet al het materiaal aan een voldoende hoge temperatuur wordt blootgesteld.

Uit een beschrijving van diverse TGG monsters in praktijktoepassingen bij Bunschoten en Perkpolder zou blijken dat er nog asfaltdeeltjes en organische stof in de TGG is aangetroffen (Van Bruchem (2019) en Van der Star et al. 2019). Ook de aanwezigheid van organische verbindingen in de TGG kan erop duiden dat de reiniging onvolledig is. Het is ook mogelijk dat de organische verontreinigingen in een later stadium van het verwerkingsproces door herverontreiniging weer in de TGG terecht zijn gekomen, bijvoorbeeld middels de koeling van de TGG met proceswater of oppervlaktewater (paragraaf 2.2.1.3) of tijdens de opslag en transport.

2.2.1.3 Koeling TGG

Na de thermische behandeling, wordt TGG weer gekoeld. Tegenwoordig wordt dit grotendeels gedaan met oppervlaktewater. In het verleden is ook gebruikgemaakt van het waswater van de rookgasreiniging als bluswater voor de TGG. Het gebruik van waswater uit de rookgasreiniging kan leiden tot een herverontreiniging van het gereinigde materiaal. Inmiddels is het productieproces van TGG hierop aangepast omdat gebruik van waswater niet meer is toegestaan. Eén van de reinigers maakt ook gebruik van 'intern proceswater'. In de vergunning is niet gespecificeerd vanuit welke processen dit water afkomstig is. Wel wordt vermeld dat de kwaliteit van het interne water niet mag leiden tot nadelige effecten op de toepassingsmogelijkheden in het kader van het Bouwstoffenbesluit (Provincie Noord Brabant, 2009). Op basis van de vergunning is niet te achterhalen welke kwaliteit dit water heeft en of hiermee een herverontreiniging kan plaatsvinden.

2.3 Conclusie

Door het bijmengen van andere materiaalstromen en door de verhitting van de verontreinigde grond veranderen de structuur en eigenschappen van de grond zodanig dat de TGG zich in de praktijk anders gedraagt dan een onbehandelde grond. Daarom wordt geconcludeerd dat de fysische- en biologische kenmerken van TGG sterk afwijken van een natuurlijke grond zoals we die in Nederland kennen. Als gevolg hiervan kunnen onvoorziene en niet gewenste effecten (zoals een hoge uitloging van metalen en zouten) optreden in de praktijk.

De productkwaliteit van TGG wordt bepaald door het productieproces. De volgende kwaliteitsbepalende procesonderdelen kunnen worden onderscheiden:

- Bijmenging brandstoffen en reststromen van wisselende kwaliteit voorafgaand aan de reiniging van grond:
  - TAG inclusief de zich daarin bevindende bindmiddelen, steenslag, zand en vulmiddelen zoals kalksteenmeel en vliegas.
  - Afvalolie uit de slibreiniging.
  - Overige materiaalstromen zoals: bentoniet, zeefzand, boorgruis, kolkenslib en rioolslib et cetera.
- Bijmenging van stof uit de rookgasreiniging/naverbrander na reiniging van de grond (niet langer toegestaan voor de nieuwe productie).
- Verblijftijd van het grondmengsel in de installatie in relatie tot het vochtgehalte van de grond.

- Vracht van het grondmengsel in de installatie.
- Voldoende hoge en continue temperatuur van de installatie en de grond daarin.
- Voldoende menging van het grondmengsel in de installatie.
- De kwaliteit van het gebruikte water om de TGG te koelen:
  - waswater uit rookgasreiniging (niet langer toegestaan voor de nieuwe productie);
  - intern proceswater;
  - oppervlaktewater.

3 Normeringskader nu en in het verleden

3.1 Publieke wet- en regelgeving

3.1.1 Zorgplicht

Voor de toepassing van grond, baggerspecie en bouwstoffen wordt in wetgeving een zorgplicht geformuleerd. Voor nieuwe verontreinigingen (veroorzaakt na 1987), is in artikel 13 van de Wet bodembescherming (Wbb) een zorgplicht voorzien. De zorgplicht houdt in dat verontreiniging of aantasting van de bodem in beginsel moet worden voorkomen. Als de bodem toch verontreinigd raakt door een calamiteit of onzorgvuldig gebruik, moeten de gevolgen worden beperkt en de verontreiniging zo veel mogelijk ongedaan worden gemaakt.

In artikel 7 van het Bbk is een zorgplicht ten aanzien van het oppervlaktewater geformuleerd. Deze zorgplicht behelst dat verontreiniging of aantasting van een oppervlaktewater door het toepassen van bouwstoffen, grond en baggerspecie, in beginsel moet worden voorkomen. Als er toch een verontreiniging of aantasting optreedt moeten de effecten zoveel mogelijk worden beperkt voor zover dit redelijkerwijs kan worden gevraagd.

Ook in de aanstaande Omgevingswet wordt de zorgplicht gehandhaafd. Deze specifieke zorgplicht is in het Besluit activiteiten leefomgeving (art. 211) opgenomen en van toepassing op alle milieubelastende activiteiten (en de lozingsactiviteiten die daarbij worden verricht), dus ook op het opslaan, graven, saneren en toepassen van grond baggerspecie en bouwstoffen en het op of in de bodem brengen van meststoffen (Bal, 2018).

De zorgplicht is dus tweeledig:

1. men dient alle maatregelen te nemen om verontreiniging van de bodem te voorkomen;
2. 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:

1. inzicht geven in de verontreinigingssituatie, bron en emissie;
2. de risico's voor mens en milieu en ten gevolge van verspreiding in grondwater in kaart brengen;
3. indien nodig: aanpak voor herstel formuleren en uitvoeren.

3.1.2 Hergebruik van grond

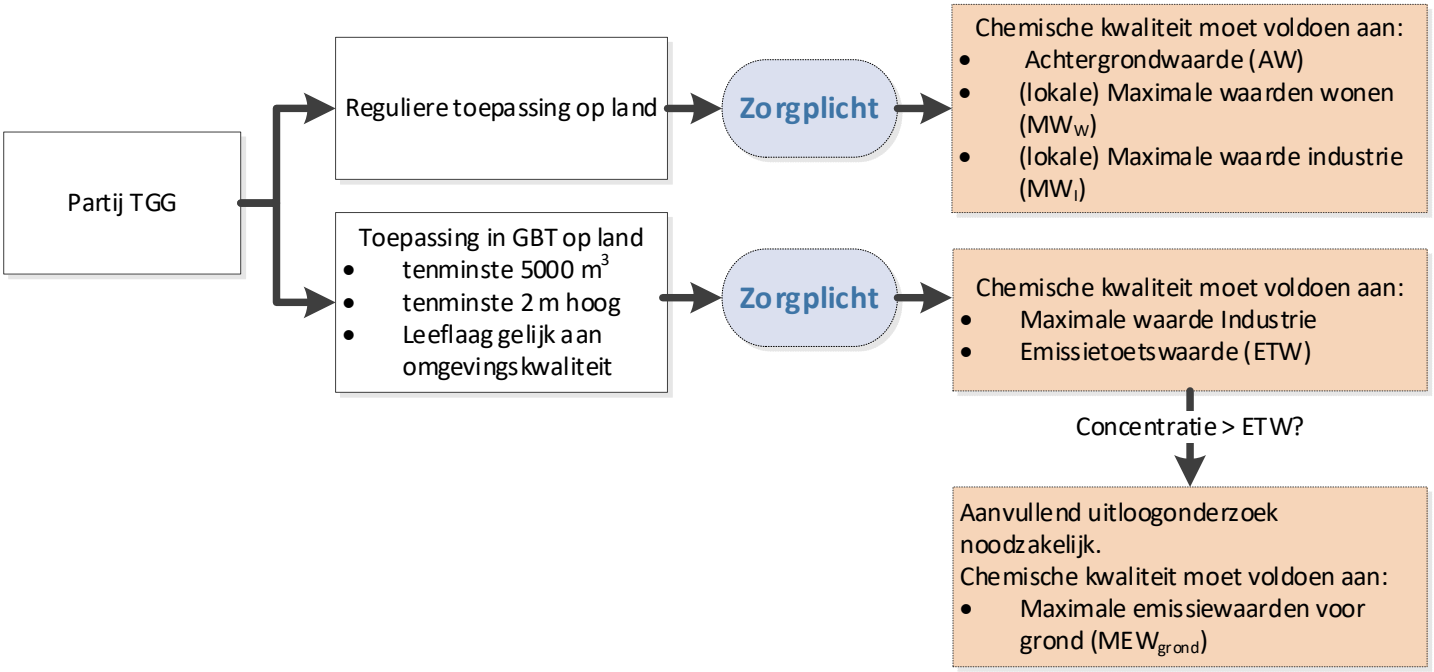
Volgens wetgeving mag TGG als grond worden toegepast op en in de bodem, mits deze voldoet aan de eisen uit de Rbk, in casu de Achtergrondwaarde (AW), de maximale waarde wonen (MW_W) en de maximale waarde industrie (MW_I). In de praktijk wordt TGG vaak afgeleverd als grond met de kwaliteit industrie ($<MW_I$).

Indien de TGG wordt toegepast in een grootschalige bodemtoepassing (GBT) wordt aanvullend beoordeeld of uitloging wordt verwacht. Hiertoe worden metalen in de TGG getoetst aan de EmissieToetsWaarden (ETW).

De ETW worden geïnterpreteerd als drempelwaarden op basis van het totaalgehalte van een stof, waaronder de kans op overschrijding van de Maximale Emissiewaarde gering wordt geacht (Nota van toelichting Bbk, 2007 en NOBO, 2008). In de Rbk staat dan ook dat indien de ETW voor een stof niet wordt overschreden de grond voldoet aan de Maximale emissiewaarde voor grond ($MEW_{grond)}$. Bij overschrijding van de ETW moet een kolomproef (ook wel uitloogproef) worden uitgevoerd om eventuele uitloging van de stof te verifiëren. In wetgeving is niet gespecificeerd of het uitloogonderzoek moet worden uitgevoerd voor alle stoffen of alleen de stof waarvan de ETW wordt overschreden.

Tot voor kort werd deze test in de praktijk alleen uitgevoerd voor de verontreiniging waarvoor een verhoogde uitloging wordt verwacht op basis van de ETW toets. De uitkomsten van de kolomproef werden dus niet standaard geanalyseerd op het volledige stoffenpakket waarvoor ETW beschikbaar zijn. Naar aanleiding van de ontstane problematiek wordt steeds vaker een uitgebreider onderzoek gedaan om invulling te geven aan de zorgplicht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het stoffenpakket uit de 'Algemene onderzoeksrichtlijn thermisch gereinigde grond in het kader van de zorgplicht' welke is opgesteld door de DCMR milieudienst Rijnmond (schriftelijke mededeling ILT, dhr. Colijn). De concentraties van de onderzochte stoffen die bij de kolomproef uitlogen worden getoetst aan de Maximale Emissiewaarden grond (MEW_{grond}). Als de TGG hieraan voldoet kan deze worden toegepast.

Er worden naast deze chemische kwaliteitseisen geen nadere eisen gesteld aan de TGG zoals pH of organisch stofgehalte. Ook voor de met TGG geassocieerde zouten (zoals sulfaat, chloride, bromide en fluoride) bestaan geen kwaliteitseisen voor hergebruik van grond.
Figuur 3.1 geeft een schematische weergave van het normenkader voor TGG weer.



Figuur 3.1 schematisch overzicht van het normenkader voor de toepassing van TGG in of op de bodem. Bij de toepassing van TGG is er altijd sprake van een zorgplicht. Bij reguliere toepassing op land moet de chemische kwaliteit van TGG voldoen aan de Achtergrondwaarde (AW), (lokale) Maximale waarde wonen (MW_W) of industrie (MW_I). Bij toepassing in een GBT moet TGG minimaal voldoen aan de maximale waarde industrie en de Emissietietoetswaarde (ETW). Bij een overschrijding van de ETW volgt aanvullend uitloogonderzoek en moet de uitloogconcentratie voldoen aan de Maximale emissiewaarden voor grond (MEW_{grond}).

3.2 Private regelgeving: normdocumenten (BRL's) voor productie en afzet van TGG

TGG wordt onder een productcertificaat geleverd. Dit certificaat toont aan dat een product aan de milieukwaliteitsnormen van het Bbk voldoet. Voor de productie en afzet van TGG wordt in bijlage C van de Rbk verwezen naar de volgende normdocumenten:

- beoordelingsrichtlijn (BRL) SIKB 9335: Nationale beoordelingsrichtlijn voor Grond (SIKB, 2017a);
  - protocol 9335-2: Grond uit projecten (SIKB, 2017b).
- beoordelingsrichtlijn (BRL) SIKB 7500: Bewerken van verontreinigde grond en baggerspecie (SIKB, 2018a);
  - protocol 7510*:* Procesmatige ex situ reiniging/bewerking en immobilisatie van grond en baggerspecie (SIKB, 2018b)*.*

In deze documenten staan nadere regels waaraan een certificaathouder zich moet houden bij de procesmatige ex situ reiniging en immobilisatie van grond en baggerspecie om de milieuhygiënische kwaliteit van het eindproduct vast te stellen en te borgen. De SIKB normdocumenten worden opgesteld door het periodiek samenkomen van een college van deskundigen, die als taak hebben om kwaliteitsrichtlijnen voor marktpartijen en voor overheden actueel te houden. In de colleges zitten afgevaardigden van onder andere de lokale overheden (zoals Unie van Waterschappen (UvW), Interprovinciaal Overleg (IPO) en Vereniging

van Nederlandse gemeenten (VNG)), brancheorganisaties (zoals ondernemingsorganisatie VNO-NCW, bouwend Nederland en branche organisatie voor bodemadviseurs (VVMA)), certificeringsinstellingen (zoals Nederlandse Vereniging Certificatie-instellingen (NVCI) en de Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut (NEN)), het ministerie van IenW en Rijkswaterstaat (SIKB, 2020).

3.2.1 BRL SIKB 9335 en protocol 9335-2

De BRL SIKB 9335 'Nationale beoordelingsrichtlijn voor Grond' en het protocol 9335-2 'Milieuhygiënische keuring van partijen grond uit projecten in het kader van het Besluit bodemkwaliteit' stellen eisen aan de milieuhygiënische eigenschappen van grond en baggerspecie zoals die volgen uit het Bbk en de Rbk.

In de BRL worden ook de werkzaamheden voor het beheer van partijen grond of baggerspecie evenals de kwalificatie van grond en baggerspecie in het kader van het Bbk beschreven. In het protocol 9335-2 worden de eisen geformuleerd voor een kwaliteitssysteem om de milieuhygiënische kwaliteit te bepalen van grond afkomstig uit grootschalige projecten of de procesmatige grondreinigingsinstallaties.

Voor procesmatige grondreinigingsinstallaties wordt in dit protocol de werkwijze voor bemonstering, analyse, toetsing en kwalificatie van eenheden procesmatig gereinigde grond beschreven. Het protocol 9335-2 sluit aan op de BRL 7500 en het protocol 7510 welke in de volgende paragraaf worden beschreven.

In het protocol 9335-2 staat onder andere welke informatie bekend moet zijn over een partij grond alvorens het kan worden toegelaten tot de markt. Ook staat beschreven hoe in het depot met een partij grond moet worden omgegaan. Bijvoorbeeld door verschillende partijen gescheiden te houden van andere partijen grond en materiaalstromen. Ook de eisen ten aanzien van een toelatingsonderzoek worden beschreven. Zo dient een toelatingsonderzoek voor gereinigde grond te worden uitgevoerd op vijf of tien aaneensluitende partijkeuringen, overeenkomstig de voorgenomen wijze van productiecontrole.

Voor de bemonstering van het eindproduct dient tenminste het standaardpakket (voor grond is dat pakket A) te worden geanalyseerd. Het analysepakket moet uitgebreid worden als hier op basis van voorkennis of herkomst van de grond aanleiding toe is. Voor TGG wordt aanvullend de eis gesteld om bij toepassing in grootschalige bodemtoepassingen de emissie te bepalen middels toetsing aan de ETW en bij overschrijding de toetsing aan de MEW_{grond}. In het protocol wordt ook beschreven welke keuringsfrequentie moet worden aangehouden, hoe moet worden omgegaan met uitschieters en of er sprake is van een partijkeuringsregime of steekproefregime (in het geval van procesmatig gereinigde grond). Tot slot is de registratie en administratie geregeld waarvoor geldt dat deze zodanig moet zijn dat op elk moment de relatie tussen ontgraven, geproduceerde partijen, opgeslagen partijen en afgezette partijen inzichtelijk is en dat alle in- en uitgaande stromen alsmede interne mutaties volledig en partijgewijs kunnen worden gevolgd.

3.2.2 BRL SIKB 7500 en protocol 7510

Voor de reiniging van verontreinigde grond en de productie van TGG zijn de BRL SIKB 7500 'Bewerken van verontreinigde grond en baggerspecie' en het protocol 7510 'Procesmatige ex situ reiniging/bewerking en immobilisatie van grond en baggerspecie' relevant. Zowel de BRL als het protocol 7510 hebben betrekking op meerdere vormen van grondreiniging. De hierna volgende beschrijving en de verdere analyse in paragraaf 3.4 zullen zich beperken tot de voor TGG relevante onderdelen (thermische reiniging).

In de BRL SIKB 7500 staan algemene eisen waaraan de organisaties en de personen moeten voldoen die werken met het protocol 7510. Het Protocol 7510 is een werkdocument bij de BRL SIKB 7500 en geeft randvoorwaarden voor het reinigingsproces.

In het protocol 7510 wordt aangegeven dat afvalstoffen (of een mengsel van afvalstoffen en grond) een identiteitswisseling kunnen ondergaan en na reiniging beschouwd kunnen worden als 'grond', mits wordt voldaan aan de eigenschappen die aan grond blijkens het Bbk worden toegekend. In het protocol wordt dit als volgt omschreven:
"*Aangezien de herkomst van een materiaal niet langer bepalend is voor de status van grond,* ***kan een afvalstof ook bewerkt worden tot grond****. Enkele voorbeelden zijn: asfalt, bleekaarde, boorgruis, bentoniet, instrooizand afkomstig van renovatie sportvelden (vermengd met rubberkorrels), oude spoorballast, oud dakgrind, doorval van zeeffracties van minerale afvalstoffen e.d. Het zand/grind dat resteert na extractieve bewerking is eveneens van natuurlijke oorsprong.*

Materialen die vóór bewerking de status hebben van afvalstoffen *niet zijnde grond of baggerspecie* ***en ná bewerking de status krijgen van grond****, worden in dit protocol aangeduid als "grond cum annexis" , en* ***kunnen (mits aan bepaalde voorwaarden[8] wordt voldaan) samen worden gereinigd met grond***" (SIKB, 2018).

Deze alinea's hebben onder andere betrekking op het gelijktijdig reinigingen van verontreinigde grond met TAG en andere afvalstromen.

In het protocol worden eisen gesteld aan de inname van partijen grond. Zo moet bij de vooracceptatie bekend zijn wat de fysische samenstelling van het materiaal is en moet de chemische kwaliteit getoetst zijn op het standaardpakket voor die materiaalstroom (voor grond is dit standaard pakket A), partijspecifieke parameters (bepaald door de verontreiniging in de partij grond) en processpecifieke parameters (zoals zouten die gedurende of als gevolg van de reiniging ontstaan of worden toegevoegd). Bij inname van de partij moet op voorhand duidelijk zijn dat verontreinigingen die niet reinigbaar zijn met de gekozen reinigingsmethode, aan de wettelijke hergebruiksnormen moeten voldoen. Voor de thermische reiniging van grond gaat het dan met name

[8] Mits wordt voldaan aan het gestelde in protocol 7510 onder de identiteitswisseling van afvalstof naar grond, gaat het hierbij tenminste om de volgende gegevens:
- benodigde gegevens tijdens vooracceptatie met specifiek aandacht voor partij-/afvalstof specifieke parameters (bijvoorbeeld barium in boorgruis, zink in instrooizand, ed.);
- protocol/procedure voor inkeuring tijdens eindacceptatie;
- protocol/procedure voor clustering tijdens opslag en bewerking,
- protocol voor uitkeuring en kwalificatie van het product van de gezamenlijke bewerking.

om de concentraties metalen en zouten in partijen grond, omdat deze niet middels thermische reiniging kunnen worden verwijderd (behalve kwik en cyaniden). In tabel 3.1 is aangegeven welke maximale acceptatiewaarden er binnen het protocol 7510 worden genoemd voor thermische reiniging. Partijen grond waarbij nog onvoldoende informatie beschikbaar is op het moment van vooracceptatie, worden op de locatie na aanbieding alsnog ingekeurd.

In het protocol 7510 wordt TAG vrijgesteld van de wettelijke bewijsmiddelen voor de vooracceptatie omdat naast de Polycyclische aromaten (PAKs) er geen andere partij specifieke parameters zouden zijn in relatie tot thermische reiniging. Hieruit volgt dat de samenstelling/kwaliteit van TAG bij acceptatie dus niet wordt getoetst omdat TAG een zeer homogeen geproduceerde materiaalstroom zou zijn waarvan de kwaliteit constant wordt geacht.

Tabel 3.1 Maximale acceptatiewaarden voor bewerkingstechniek thermische reiniging. Overgenomen uit SIKB (2018).

Chemische parameters	**Acceptatiewaarde thermische reiniging (mg/kg d.s.)**
minerale olie	Geen maximum
Som-PAK	
aromaten	
som PCB's	1.500
overige organische verbindingen	Geen maximum
CN totaal (complex en vrij)	10.000
barium	< max Referentiewaarden Bbk Industrie
cadmium	
chroom	
kobalt	
koper	
kwik	
lood	
molybdeen	
nikkel	
tin	
asbest	100
fluoride	mogelijk proceskritische parameter, afhankelijk van beoogde toepassing
bromide	
chloride	
sulfaat	
overige anorganische verbindingen en overige zware metalen	< max referentiewaarden Bbk Industrie

Na inname mag grond volgens het protocol 7510 gemengd worden met TAG mits, bij separate reiniging van de verontreinigde grond het gereinigd product, op basis van metaalgehalten, ten minste voldoet aan bodemkwaliteitsklasse 'industrie'.

Volgens het protocol 7510 moet de partij TGG na reiniging getoetst worden op:

- standaard-pakket A (bodem);
- (alle) partijspecifieke parameters, dit zijn stoffen die bij de inname van de grond aanwezig zijn geweest;
- (alle) proceskritische parameters, dit zijn bijvoorbeeld zouten die gedurende of als gevolg van de reiniging ontstaan of worden toegevoegd.

Voor zouten worden binnen het protocol 7510 de volgende samenstellingseisen voor generieke toepassing gehanteerd, ter uitwerking van de producentenverantwoordelijkheid van de certificaathouder:

- sulfaat: 2430 mg/kg d.s.;
- chloride: 616 mg/kg d.s.;
- bromide: 20 mg/kg d.s.;
- fluoride: 55 mg/kg d.s.

Deze eisen zijn gelijk aan de Maximale emissiewaarden voor niet-vormgegeven bouwstoffen uit de Regeling bodemkwaliteit[9].
In het protocol 7510 staat ten aanzien van organische verontreinigingen dat, de kwalificatie van het gereinigd product, plaats vindt aan de hand van de volgende parameters:
"Indien het gehalte aan:

- *minerale olie kleiner is dan 100 mg/kg d.s. en*
- *PAKs kleiner is dan 10 mg/kg d.s. en*
- *naftaleen < 1 mg/kg d.s. en*
- *PCBs lager is dan 0,1 mg/kg d.s.,*

mag worden aangenomen dat het gereinigd product ook voor andere organische parameters, met een kookpunt lager dan de eindtemperatuur van het reinigingsproces, voldoet aan de samenstellingseisen uit bijlage B van de Regeling bodemkwaliteit voor kwaliteitsklasse Industrie".

Hieruit volgt, dat TGG voor afzet niet op alle organische verontreinigingen uit de Rbk getoetst wordt zoals dit voor gewone grond wel het geval is. De bovenstaande vier stofgroepen dienen dus als indicatorstoffen voor de overige organische verontreinigingen zoals deze in de Rbk genormeerd zijn. De overige organische verontreinigingen worden alleen getoetst als één of meer van de genoemde indicatorstoffen worden overschreden. Indien daar op basis van beschikbare informatie uit de vooracceptatie aanleiding toe is, vindt er een aanvullende keuring plaats op de aanwezigheid van organische verontreinigingen met een kookpunt hoger dan de eindtemperatuur van het reinigingsproces omdat deze door de thermische reiniging niet (volledig) verwijderd worden.

3.3 Totstandkoming beoordeling TGG

Er is getracht om de totstandkoming van de normstelling voor TGG te beschrijven. Het gebruik van TGG en de bijbehorende normstelling gaat

[9] Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de Maximale emissiewaarden in het Rbk gebruikt worden om uitloging van verontreinigingen in bouwstoffen te toetsen. De emissiewaarden representeren de hoeveelheid uitlogende stof per kg bouwmateriaal nadat deze met 10 liter water is gespoeld (L/S10). In het protocol 7510 worden de waarden gebruikt om de samenstelling te toetsen. De samenstellingswaarden representeren een concentratie stof per kg grond.

echter al langer terug en is niet altijd even goed gedocumenteerd. Dit geldt met name voor het traject van de beleidsvertaling van adviezen over risicogrenswaarden en toetsing naar de uiteindelijke vaststelling van normen en regels in wet- en regelgeving. Om de onderbouwing te traceren is deels gebruik gemaakt van projectdossiers van betrokkenen bij de totstandkoming van emissiewaarden voor bouw- en reststoffen in GBT, toentertijd werkzaam bij het RIVM en ECN (nu TNO en WUR). Mogelijk is de hierna volgende beschrijving niet volledig.

3.3.1 Het Bouwstoffenbesluit (1995-2007)

Voordat het Bbk en Rbk in 2007 in werking traden, werd TGG getoetst aan het normeringskader van het Bouwstoffenbesluit (1995). De doelstelling van het Bouwstoffenbesluit was de vaststelling van de milieueisen waaronder steenachtige restproducten van de industrie konden worden toegepast als (secundaire) bouwstoffen, naast en ter vervanging van primaire steenachtige bouwstoffen zoals zand, grind, mergel, kalk, bakstenen, et cetera. 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.

3.3.1.1 Het criterium van de marginale bodembelasting

Het Bouwstoffenbesluit richtte zich niet op de bouwtechnische eisen maar op de milieutechnische eisen, uitgaande van de wens tot het stimuleren van veilig hergebruik van materialen, als onderdeel van een circulaire economie. De meeste aandacht ging hierbij uit naar samenstelling en uitloging van metalen uit de bouwmaterialen.

Samenstelling en uitloging van een metaal (of organische stof) zijn afzonderlijke parameters omdat de uitloging niet altijd gerelateerd is aan de samenstelling. Metalen kunnen zijn ingesloten in het steenachtig materiaal (omgeven door het gesteente), aanwezig zijn in slecht oplosbare chemische vormen, of onderdeel zijn van de kristallijne matrix van het gesteente waardoor er geen uitloging optreedt. Uitgangspunt van het Bouwstoffenbesluit was dat een langzame (en geringe) toename van metalen door de bodem en het ecosysteem daarin kan worden verdragen. Over lange perioden kunnen ecosystemen zich langzaam zonder veel schade aanpassen. Het aangepaste ecosysteem is niet altijd identiek aan het oorspronkelijke ecosysteem. Dit is het principe van de marginale bodembelasting.

De marginale bodembelasting maakt het stellen van grenzen aan uitloogemissies bij het gebruik van bouwstoffen mogelijk. Hierbij wordt uitgegaan van de standaardsituatie van een laag op de bodem opgebracht materiaal. Initieel heeft het RIVM de volgende definitie voor marginale bodembelasting voorgesteld (persoonlijk dossier Dhr. Versluijs):
"Bij het opbrengen van een laag bouwstof mag de gemiddelde concentratie in de bovenste meter van de onderliggende bodem in 20 jaar niet meer verhoogd worden dan x% van het verschil tussen de natuurlijke waarde in de bodem (A-waarde of achtergrondwaarde in de bodem) en de signaalwaarde (B-waarde voor onderzoek naar bodemverontreiniging)".

Deze initiële formulering van de marginale bodembelasting bevat een koppeling met risiconiveaus voor stoffen in de bodem middels de zogenoemde ABC-waarden welke tot 1994 in gebruik waren. Het systeem van A- en B-waarden werd in 1994 vervangen door streef- en interventiewaarden.

In het Bouwstoffenbesluit werd de marginale bodembelasting gedefinieerd als:
"Een belasting ten gevolge van uitloging uit een bouwmateriaal 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. Middels de immissienormen en samenstellingswaarden (SW) uit bijlage 2 van het voormalige Bouwstoffenbesluit is het beoordelingskader vormgegeven. In de uiteindelijke definitie van marginale bodembelasting is de koppeling met risico's zoals het RIVM voorstelde verlaten. De streefwaarde geeft immers de grens van belaste en onbelaste grond weer en is een beleidsmatig vastgestelde waarde en geen risico-onderbouwde effectgrens.

In het zogenoemde Mammoet '85 onderzoek (een samenwerkingsverband (periode 1984 -1991) van RIVM, ECN, TNO, Intron) is voor honderden monsters van primaire en secundaire bouwstoffen de chemische samenstelling gemeten en zijn standaard uitloogtesten uitgevoerd. Hierbij zijn ook laboratoriumprocedures geëvalueerd en de resultaten vergeleken met veldtesten (Versluijs et al. 1990). Van deze gegevens is een Atlas van bouwmaterialen aangelegd (Seinen et al. 1991). Met de verzamelde gegevens zijn berekeningen gedaan ter evaluatie van het concept van de marginale bodembelasting. In eerste instantie is per bouwstof een maximale toepassingshoogte berekend (die bij de meest vervuilende materialen op nul kon uitkomen). Later is met standaardtoepassingshoogten van 0,5 en 1 meter gerekend. De resulterende scheiding tussen toepasbare en niet-toepasbare (secundaire) bouwstoffen is met behulp van expertpanels geëvalueerd. In beperkte mate zijn normen aangepast vanwege de economische redenen om bepaalde secundaire bouwstoffen toe te laten.

In 1992 is de samenstelling en het uitlooggedrag van een reeks van schone gronden gemeten (Wilde de. 1992). Ook is een monitoringprogramma opgezet om de wijzigingen in kwaliteit van de belangrijkste secundaire afvalstoffen te volgen (Wilde de et al. 1996) en ook de markteffecten zijn geëvalueerd (Aalbers et al. 1998).

Bij de zogenoemde 'bijzondere parameters' die tot circa 2003 niet routinematig werden gemeten in grond (zoals antimoon, molybdeen en vanadium) leidden lage natuurlijke concentraties in de bodem tot strenge eisen voor de uitloging zonder relatie met het ontstaan van risico's. In de praktijk leidde dit tot problemen met het hergebruik van gereinigde en licht verontreinigde grond door uitloging van antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, fluoride, sulfaat, chloride en bromide. Hoewel de desbetreffende gronden niet verdacht waren op basis van verhoogde concentraties van deze stoffen, werden de grenswaardes uit het Bouwstoffenbesluit toch overschreden. Met de komst van de Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie (2004-2006) werd ruimte geboden om gereinigde en licht verontreinigde grond toch te kunnen hergebruiken. De tijdelijke vrijstellingsregeling wordt in de volgende paragraaf nader beschreven.

3.3.2 Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie (2004 – 2006)

In 2003 heeft de Technische commissie bodem (TCB) advies uitgebracht over vrijstelling van antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, fluoride, sulfaat chloride en bromide bij het hergebruik van gereinigde en licht verontreinigde grond (TCB, 2003). Hierbij adviseerde de TCB om gronden waarvan de concentraties de samenstellingswaarde voor schone grond uit het Bouwstoffenbesluit niet overschreden, vrijstelling te geven van verdere toetsing voor de uitloging. Deze gronden werden als 'schoon' geclassificeerd. De TCB redeneerde dat hoewel de uitloging uit deze gronden licht kon toenemen, de totale hoeveelheid stoffen die uitloogt beperkt zou zijn omdat de aanwezige concentraties relatief laag waren. Verder adviseerde de TCB om de uitloging van fluoride, sulfaat en chloride en de effecten hiervan op de ontvangen de bodem verder te onderzoeken (TCB, 2003). De TCB gaf in het advies geen nadere invulling van de samenstellingswaarde anders dan de 'samenstellingswaarde voor schone grond'. In deze rapportage wordt dan ook aangenomen, dat de TCB hiermee de SW1 waarden uit tabel 1 in bijlage 1 van het voormalige Bouwstoffenbesluit bedoelt.

Middels de Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie (2004) werd het advies van de TCB geëffectueerd. De Tijdelijke vrijstellingsregeling gaf vrijstelling aan de toetsing van antimoon, molybdeen, seleen en vanadium aan de Immissiewaarden uit het Bouwstoffenbesluit. Hiervoor moesten de concentraties in de TGG voldoen aan de volgende waarden:

- antimoon ≤9 mg/kg droge stof;
- molybdeen: ≤101,5 mg/kg droge stof;
- seleen: ≤50,35 mg/kg droge stof;
- vanadium: ≤146 mg/kg droge stof.

Deze waarden kennen een vergelijkbare onderbouwing als de t-waarden (of tussenwaarden) uit het voormalige Bouwstoffenbesluit. De t-waarden waren gelijk aan het gemiddelde van de SW1 waarde

(samenstellingswaarde voor 'schone grond') en SW2 waarde (samenstellingswaarde voor uiterste hergebruiksgrens voor grond en ongeveer gelijk aan Interventiewaarde niveau) van het Bouwstoffenbesluit. Voor stoffen waarvoor geen SW1 of SW2 waarden beschikbaar waren (de bijzondere parameters antimoon, barium, kobalt, molybdeen, tin en vanadium) werd gebruik gemaakt van de achtergrondwaarde en interventiewaarde (NOBO, 2008). Hoewel de TCB in zijn advies spreekt van samenstellingswaarde voor schone grond (=SW1), zijn de waarden uit de tijdelijke vrijstellingsregeling (= (SW1+SW2)/2) niet gelijk aan de samenstellingswaarden voor schone grond, maar geven een verruiming van de definitie 'schone grond'. Er kon niet worden achterhaald op basis van welke informatie dit besluit is genomen. Zowel de t-waarden als de waarden uit de tijdelijke vrijstellingsregeling zijn in 2008 overgenomen in de Rbk als de nu geldende ETW voor grond.

De tijdelijke vrijstellingsregeling gaf tevens vrijstelling voor toetsing van sulfaat, fluoride, seleen en bromide in gereinigde grond zonder verdere voorwaarden. Of het door de TCB geadviseerde onderzoek naar het gedrag van zouten in grond en de gevolgen op de ontvangende bodem heeft plaatsgevonden is niet helemaal duidelijk. Wel is bekend, dat Nieuwenhuis en Lamé in 2006(b) de uitloging van zouten uit hergebruiksgrond hebben onderzocht. Zij concluderen dat de vrijstellingsregeling voor onder andere zouten een essentiële voorwaarde was voor het kunnen hergebruiken van grond en dat zonder de toen geldende vrijstellingsregeling grond en baggerspecie het hergebruik van TGG 'wezenlijk' zou worden ingeperkt. Ook is met het in werking treden van het Bbk normstelling voor GBT geïntroduceerd, gebaseerd op een risicobenadering die gestoeld is op effecten op de bodem. Of in beide gevallen een directe relatie te leggen is met het advies van de TCB om aanvullend onderzoek hiernaar te doen is onbekend.

3.3.3 Overgang van Bouwstoffenbesluit naar het Bbk

De achtergronden van de keuzes die gemaakt zijn bij de totstandkoming van de het Bbk en Rbk zijn beschreven in het NOBO rapport uit 2008 (NOBO, 2008). Voor de principes die ten grondslag liggen aan de afleiding van de MW_I in grond en bagger en de MEW_{grond} (uitloging) zoals die nu gelden voor TGG, wordt verwezen naar respectievelijk het NOBO rapport (2008, maximale emissiewaarden), Verschoor et al. (2006) en Comans et al. (2014) waarin de keuzes voldoende zijn toegelicht.

Al in 2003 blijkt uit onderzoek (Lamé en Derksen, 2003) dat de samenstelling van grond in algemene zin slechts een zwakke relatie heeft met uitloging. Dit is later, met een grotere dataset en voor een breder stoffenpakket, nogmaals geconstateerd (Nieuwenhuis en Lamé, 2006). Deze constatering is belangrijk voor de betekenis van de in de huidige Rbk vermeldde toelichting op de ETW als een drempelwaarde waaronder "*op grond van de opgedane praktijkervaring met het Bouwstoffenbesluit aangenomen* [wordt] *dat tevens voldaan wordt aan maximale waarden voor de emissie*", of zoals in de wijziging van de Rbk in 2008 (Staatscourant. 122) is toegelicht, dat de "*gevolgen van uitloging beperkt blijven*". Op welke praktijkervaringen en informatie beide statements gebaseerd zijn, kon niet worden achterhaald.

Lame, (2005) en Nieuwenhuis en Lame, (2005 en 2006) wezen er al op dat TGG een fundamenteel ander uitlooggedrag heeft dan overige hergebruiksgrond ten aanzien van 'bijzondere parameters' waaronder antimoon, molybdeen en zouten zoals chloride en sulfaat. Bij relatief lage samenstellingswaarden (zelfs onder die van 'schone grond', de SW1 waarde uit het voormalige Bouwstoffenbesluit) werd in een grote meerderheid van de meetgegevens al een overschrijding waargenomen van de toenmalige immissienormen.

In 2006 is door het voormalige Ministerie van VROM en ECN een project opgestart om verkorte (uitloog)testen met wetenschappelijke onderbouwing in te zetten als beoordelingsmethodiek voor GBT in de Bbk als alternatief voor de samenstellingswaarden uit het Bouwstoffenbesluit. Het was expliciet de bedoeling om in de Rbk een beoordelingsmethodiek voor GBT op te nemen die net als de MEW_{grond} gebaseerd was op een risicobenadering, in tegenstelling tot het hanteren van een samenstellingswaarde zoals de ETW. Dit is ook als dusdanig in de Nota van toelichting op de Rbk (2007) opgenomen:
"De normering voor toepassen van grond en baggerspecie in grootschalige toepassingen betreft een tijdelijke normering. Momenteel wordt op basis van emissie-gegevens een nieuw beoordelings- en toetsingssysteem voor emissie van verontreinigingen uit grond en baggerspecie ontwikkeld. De normstelling die wordt afgeleid op basis van deze nieuwe methode, zal te zijner tijd worden verankerd in een nieuwe versie van deze regeling".

In beeld waren destijds verkorte (uitloog)testen, en/of het gebruik maken van de beschikbare bodemproceskennis over de invloed van belangrijke factoren (pH, organische stof et cetera) op de uitloging van stoffen uit grond. Het was de bedoeling dat deze beoordelingssystematiek het toepassen van volledige uitloogtesten op een verantwoorde wijze zou vervangen. Dit project liep veel vertraging op, hoofdzakelijk doordat de grondsector en het voormalige Ministerie van VROM niet tot overeenstemming konden komen over de voorwaarden waaronder de databestanden met gegevens over samenstelling en uitloging van hergebruiksgrond ter beschikking konden worden gesteld. Toen de gesprekken daarover nog niet waren afgerond, werden het Bbk en de Rbk eind 2007 al gepubliceerd met daarin de ETW op basis van de oude samenstellingswaarden van het Bouwstoffenbesluit als drempelwaarde voor het doen van de uitloogproeven. Het project om tot een verkorte beoordelingssystematiek voor GBT te komen, in aansluiting op de nieuwe uitloogeisen (MEW), is nooituitgevoerd. Daarmee werd in feite de al bestaande vrijstellingsregeling voor grond en baggerspecie voortgezet.

3.3.4 Conclusie totstandkoming ETW

Het hergebruik van TGG werd tot 2008 beoordeeld middels het Bouwstoffenbesluit. De bijbehorende emissiewaarden voor uitloging waren afhankelijk van toepassingshoogte ("immissiewaarden") en gebaseerd op het principe van marginale bodembelasting. In de praktijk leidde dit tot problemen met het hergebruik van gereinigde en licht verontreinigde grond door uitloging van antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, fluoride, sulfaat chloride en bromide. De TCB heeft in 2003 geadviseerd vrijstelling van een uitloogtoets te verlenen als de

samenstellingswaarde voor ‘schone grond’ uit het Bouwstoffenbesluit niet werd overschreden. In de daaropvolgende vrijstellingsregeling, en later in de Rbk, is hier invulling aan gegeven door een samenstellingswaarde vast te stellen als gemiddelde van SW1 (criterium voor ‘schone grond’) en SW2 (criterium voor ‘niet-schone grond’), of het gemiddelde van de streefwaarde en interventiewaarde voor stoffen waarvoor geen SW1 of SW2 beschikbaar waren.

In het advies van de TCB wordt gesteld dat de uitloging van schone grond beperkt en acceptabel is, vanwege de relatief lage concentraties. Deze verantwoording met verwijzing naar het TCB advies is gebruikt bij het opstellen van de vrijstellingsregeling grond en baggerspecie en later bij een toelichting op de wijziging van de Rbk in 2008. De opmerking van de TCB is op zichzelf correct, maar hangt af van de definitie van schone grond en in de context dat onder het Bouwstoffenbesluit de immissienormen gebaseerd waren op het concept ‘vracht’ (oftewel marginale bodembelasting, gekoppeld aan toepassingshoogte), en nog niet op de risicobenadering zoals die gebruikt wordt in het Bbk. Bovendien is de samenstellingswaarde zoals uiteindelijk opgenomen in de Vrijstellingsregeling, en als ETW in de Rbk, niet gelijk aan de samenstellingswaarde voor schone grond, maar het gemiddelde van SW1 en SW2. Hiermee werd de definitie ‘schone grond’ verruimd. De vergroting van hergebruik van grond was hierbij het motief omdat een onderbouwing vanuit het risico-paradigma niet is gevonden.

Voor TGG wijzen studies uit de periode 2003 t/m 2006 erop dat, de samenstellingswaarden uit de Vrijstellingsregeling en later ook de ETW uit de Rbk, onvoldoende zeggingskracht hebben over de mate van uitloging voor stoffen zoals antimoon en molybdeen. Er kan dan ook niet worden aangenomen dat wanneer wordt voldaan aan de samenstellingswaarden of ETW er geen overschrijding zal plaatsvinden van de uitloogeisen zoals de huidige MEW_{grond}. Ook blijkt uit deze studies dat TGG een systematisch ander uitlooggedrag heeft dan overige hergebruiksgrond ten aanzien van ‘bijzondere parameters’ waaronder antimoon, molybdeen en zouten zoals chloride en sulfaat.

De verantwoording van de ETW als drempelwaarde voor het doen van een uitloogproef afkomstig uit het Bouwstoffenbesluit enerzijds, en de onderbouwing van de MEW_{grond} in de Regeling Bodemkwaliteit anderzijds, sluiten vanwege de later ingestelde risicobenadering voor de MEW_{grond} niet rechtstreeks op elkaar aan. Specifiek voor TGG geeft de eerder afgeleide samenstellingseis van het Bouwstoffenbesluit dan ook onvoldoende borging voor het voldoen aan de nieuw afgeleide MEW_{grond} onder het Bbk. Het is onbekend en in het kader van dit onderzoek ook niet onderzocht hoe deze verhouding ligt voor andere (on)behandelde grond.

3.4 Interpretatie van wet- en regelgeving en de uitvoeringspraktijk

In de uitvoeringspraktijk rond het hergebruik van TGG worden regelmatig vragen gesteld over hoe wet- en regelgeving dient te worden geïnterpreteerd. In de hierna volgende paragrafen worden ervaren onduidelijkheden en mogelijke interpretatieverschillen besproken. Daarnaast worden ook aandachtspunten ten aanzien van de normdocumenten geadresseerd.

3.4.1 Defenities bodem, grond en TGG

In wetgeving zijn verschillende definities opgesteld die relevant zijn voor de besluitvorming over hergebruik van TGG. In artikel 1 van de Wet bodembescherming is, **bodem** omschreven als:
"Het vaste deel van de aarde met de zich daarin bevindende vloeibare en gasvormige bestanddelen en organismen".

Bij de inwerkingtreding van het Bbk in 2007 zijn de definities van grond en bagger herzien. In artikel 1 van het Bbk wordt invulling gegeven aan de definitie van grond:
"Materiaal dat bestaat uit minerale delen met een maximale korrelgrootte van 2 millimeter en organische stof in een verhouding en met een structuur zoals deze in de bodem van nature worden aangetroffen, alsmede van nature in de bodem voorkomende schelpen en grind met een korrelgrootte van 2 tot 63 millimeter, niet zijnde baggerspecie" (Bbk, 2007).

In de nota van toelichting op het Bbk is hierover uitleg gegeven en staat:
"De nieuwe definities hebben ***betrekking op grond en baggerspecie die niet is vermengd met ander materiaal****. Zij worden daarom ook aangeduid als de "****basisdefinities****" van grond en baggerspecie"*.

Verder staat in de nota van toelichting op het Bbk dat:
"De basisdefinities zijn gebaseerd op de samenstelling van het materiaal. ***De directe herkomst van het materiaal is daarmee niet bepalend voor de vraag of er sprake is van grond of baggerspecie****. Ook materiaal dat aan de samenstellingskenmerken voldoet, maar dat niet rechtstreeks vrijkomt uit de bodem, bijvoorbeeld omdat het eerder is toegepast, kan derhalve onder de definities vallen.* ***Wel zal het steeds gaan om materiaal dat oorspronkelijk afkomstig is uit de bodem****. Het moet immers gaan om materiaal «in een verhouding en met een structuur zoals deze in de bodem van nature worden aangetroffen».* ***Met «van nature worden aangetroffen» wordt niet zozeer gedoeld op de directe herkomst van de gronddeeltjes, maar op de samenstelling van het materiaal. Het gaat erom dat het toe te passen product gronddeeltjes bevat (een samenstelling heeft) welke overeenkomt met gronddeeltjes die van nature in de bodem voorkomen en daarmee dat het toe te passen product dus ook geschikt is om als bodem te kunnen worden toegepast****. Het materiaal hoeft dus niet rechtstreeks uit de bodem te komen, maar moet wel vergelijkbaar zijn met materiaal dat rechtstreeks uit de bodem komt.*

In de toepassingspraktijk blijkt er soms verwarring te bestaan over wanneer een materiaal als grond wordt gedefinieerd. Hierbij kan de tekst uit de nota van toelichting verwarrend werken omdat de nota enerzijds beschrijft dat "*materiaal oorspronkelijk afkomstig is van de bodem*" en anderzijds wordt gesteld dat "*de herkomst van het materiaal niet bepalend is voor de vraag of er sprake is van grond*". Tijdens de inspraakreacties bij de inwerkingtreding van het Bbk is voor enkele materiaalstromen al gevraagd om duidelijkheid te scheppen over de status van het materiaal in relatie tot de definitie van grond. Zo ook voor gereinigde grond. Voor gereinigde grond staat vervolgens in de nota vermeld:
"Gereinigde grond betreft grond die wordt ontdaan van zijn verontreinigingen en is na die behandeling uiteraard gewoon nog grond".

In het geval van TGG staat dus alleen in de Nota van toelichting op het Bbk eenduidig dat gereinigde grond na behandeling als grond wordt beschouwd. Een nadere toelichting is hierbij niet gegeven. Zo wordt bijvoorbeeld niet aangegeven of deze zinssnede ook betrekking heeft op een mengsel van gereinigde grond en TAG (Teerhoudend Asfalt Granulaat).

Ook de volgende zinsnede uit de nota van toelichting kan verwarring wekken:
"*Het gaat erom dat het toe te passen product gronddeeltjes bevat (een samenstelling heeft) welke overeenkomt met gronddeeltjes die van nature in de bodem voorkomen en daarmee dat het toe te passen product* ***dus ook geschikt is om als bodem te kunnen worden toegepast***".

De Wbb spreekt in het geval van bodem ook over de aanwezigheid van organismen en gasvormige bestanddelen in het vaste deel van de aarde, terwijl het Bbk alleen de korrelgrootte van grond adresseert. Hieruit rijst de vraag in hoeverre grond of materiaal dat aan de definitie van het Bbk voldoet, ook voldoet aan de definitie van bodem uit het Wbb en geschikt is om als bodem te kunnen worden toegepast. In het geval van TGG blijken bij hergebruik met name op dit punt (het functioneren van TGG als onderdeel van het bodem-watersysteem) problemen te ontstaan. In paragraaf 4.3 en hoofdstuk 5 van dit rapport wordt hier nader op ingegaan.

Voorts wordt opgemerkt dat de definities van grond volgens de Nota op het Bbk:
"Alleen van toepassing zijn op ***grond en baggerspecie die niet is*** *vermengd met ander materiaal zoals minerale bestanddelen (puin, vliegas, slakken), en niet-minerale, niet-natuurlijke bestanddelen (glas, plastic, behandeld en onbehandeld hout)".*

Hiervoor is een maximaal gewichtspercentage van twintig vastgesteld. TGG ontstaat uit het gelijktijdig reinigen van verontreinigde grond en andere materiaalstromen waaronder TAG. Ook de bijmenging van andere materiaalstromen aan te reinigen grond leidt in de uitvoeringspraktijk tot vragen en vormen deels een verklaring voor de

uitloogproblematiek van TGG. In paragraaf 4.3.3 wordt dit nader toegelicht.
Vanuit een natuurwetenschappelijke benadering, wordt grond gezien als dat deel van de bodem dat is of wordt ontgraven, verplaatst, bewerkt, (her)gebruikt en toegepast waarna het weer onderdeel wordt van de bodem oftewel het bodem-watersysteem. Daarom bepaalt de samenstelling van grond in hoge mate de functionele eigenschappen (de ecosysteemdiensten) van een bodem zoals voedselproductie, waterhuishouding of de draagkracht. Een inherent onderdeel van het systeem bodem, is het zich daarin bevindende bodemleven met een geheel eigen ecosysteem. In de Wbb in artikel 1 staat met betrekking tot de functionele eigenschappen en de bescherming daarvan het volgende:
"Belang van de bescherming van de bodem: het belang van het voorkomen, beperken of ongedaan maken van veranderingen van hoedanigheden van de bodem, die een vermindering of bedreiging betekenen van de functionele eigenschappen die de bodem voor mens, plant of dier heeft".

Toepassing van TGG heeft gezien de afwijkende eigenschappen een effect op de functionele eigenschappen van het materiaal zelf, maar ook op de bodem waarop het wordt aangebracht. Door in de definitie van grond alleen te toetsen aan de chemische eigenschappen en in beperkte mate de fysische eigenschappen (namelijk korrelgrootte) en daarbij geen rekening te houden met biologische parameters kan, bij toepassing van TGG op en in de bodem, aantasting van de functionele eigenschappen niet worden voorkomen. Hiermee wordt de facto voorbijgegaan aan het voornaamste doel van het Bbk namelijk het hergebruik van grond en een bodemkwaliteit die duurzaam geschikt is voor de toegekende functie.

Het zou dan ook onderzocht moeten worden of de afstemming van de definities van grond en bodem leidt tot een begrijpelijker en meer adequaat stelsel. Bovendien moet voor de invulling van het begrip bodemkwaliteit naast de chemische-fysische eigenschappen ook de biologische kwaliteit worden meegenomen bij de afweging. Anderzijds, zou in de definitie van bodem ook het aspect grond moeten worden geadresseerd. De toetsing van grond zou zich, naast de chemisch-, fysisch- en biologische parameters, ook moeten richten op de toepassing zelf, de kwaliteit en functie van de ontvangende bodem en het doel van de toepassing. Hiertoe is in hoofdstuk 5 van deze rapportage een aanzet gemaakt tot een toepassingskader.

Tot slot wordt nog opgemerkt dat in de BRL SIKB 7500 voor grond dezelfde definitie wordt gehanteerd als in het Bbk. In de normdocumenten BRL SIKB 7500 en protocol 7510 wordt aanvullend de term *'grond cum annexis'* geïntroduceerd. De volgende definitie wordt hiervoor gehanteerd:
"Materialen die vóór bewerking de status hebben van afvalstoffen niet zijnde grond of baggerspecie en ná bewerking de status krijgen van grond" (SIKB, 2018 en 2018b).

Deze term komt niet terug in het Bbk of Rbk en heeft betrekking op het gezamenlijk reinigen van verontreinigde grond en afvalstromen zoals TAG. In paragraaf 3.4.3 zal hier nader op worden ingegaan.

3.4.2 Toetsing ETW en MEW_{grond} en interpretatie van de uitkomsten

Zoals in paragraaf 3.1.2 is beschreven, wordt een partij TGG voor hergebruik getoetst aan de MW_I en de ETW. Als de ETW wordt overschreden is aanvullend uitloogonderzoek noodzakelijk waarbij de uitloogemissie worden getoetst aan de MEW_{grond}. Voor de uitvoering van het uitloogonderzoek wordt in de Rbk verwezen naar het 'Accreditatieprogramma'. Keuring van partijen grond, bouwstoffen en korrelvormige afvalstoffen. Onderdeel: Uitloogonderzoek AP04 – U' (SIKB, 2016). Hierin staat beschreven hoe het uitloogonderzoek moet worden uitgevoerd.
Of een partij TGG voldoet aan de MEW_{grond} is in artikel 4.12.1 van de Rbk als volgt omschreven:
"Artikel 4.12.1. Maximale emissiewaarden

1. *Bij toepassingen als bedoeld in artikel 63 van het besluit,* ***overschrijdt de emissie van de grond of baggerspecie niet****:*
   a. ***de maximale emissiewaarden,*** *bedoeld in tabel 1 van bijlage B, indien het toepassingen op of in de bodem betreft;*
   b. …
2. *Aan het eerste lid, aanhef en onderdeel a,* ***wordt voldaan****, indien de rekenkundig gemiddelde gehalten van* ***de gemeten stoffen in de grond of baggerspecie de emissietoetswaarden****, bedoeld in tabel 1 van bijlage B,* ***niet overschrijden****".*

In de Nota van toelichting op de Rbk (2007) staat nog:
"Indien de kwaliteit ***voldoet aan de emissietoetswaarden****, wordt op grond van de opgedane praktijkervaring met het Bouwstoffenbesluit* ***aangenomen*** *dat tevens voldaan wordt aan de maximale waarden voor de emissie. Onderzoek naar de emissie en toetsing aan de maximale waarden van de emissie is dan niet nodig".*

In zowel de Rbk, de toelichting op de Rbk, als de bijbehorende normdocumenten van de SIKB is geen nadere invulling gegeven aan het te analyseren stoffenpakket bij de toetsing van het MEW_{grond} in het geval de ETW wordt overschreden. Tot recent werd in de praktijk deze uitloogproef alleen uitgevoerd voor de verontreiniging waarvoor een verhoogde uitloging werd verwacht op basis van toetsing aan de ETW (schriftelijke mededeling ILT, dhr. Colijn). De uitkomsten van de kolomproef werden dus niet standaard geanalyseerd op het volledige stoffenpakket waarvoor ETW beschikbaar zijn. Een eventuele verhoogde uitloging van andere verontreinigingen bleef hierdoor onopgemerkt. Dit bleek met name relevant voor de metalen antimoon, molybdeen en vanadium omdat deze stoffen bij uitloogonderzoek met regelmaat de MEW_{grond} overschrijden terwijl dit niet verwacht werd op basis van de toets aan de ETW. In paragraaf 4.2.2 van deze rapportage wordt dit kwantitatief in beeld gebracht. Naar aanleiding van de ontstane problematiek wordt steeds vaker een uitgebreider uitloogonderzoek gedaan om invulling te geven aan de zorgplicht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het uitgebreidere stoffenpakket uit de 'Algemene onderzoeksrichtlijn thermisch gereinigde grond in het kader van de

zorgplicht' welke is opgesteld door de DCMR milieudienst Rijnmond (schriftelijke mededeling ILT, dhr. Colijn).

Ook valt op dat er verschil zit in de formulering van de Rbk en de nota van toelichting op de Rbk ten aanzien van het voldoen aan de MEW_{grond} bij toetsing aan de EWT. De formulering in de Rbk kan geïnterpreteerd worden als 'indien een partij voldoet aan de ETW, dan voldoet deze partij ook aan het MEW_{grond}'. In de formulering van de Nota van toelichting op de Rbk is dit genuanceerder omschreven als 'wordt aangenomen dat ook wordt voldaan aan de MEW_{grond}'. Hoewel dit in eerste instantie slechts een nuanceverschil lijkt, kan het in de praktijk ruimte bieden voor interpretatieverschillen. Immers zou op basis van de de Rbk geconcludeerd kunnen worden, dat de ETW leidend is voor het voldoen aan uitloogcriteria in plaats van de MEW_{grond}.

3.4.3 Bijmenging van materiaalstromen

In de praktijk is gebleken dat er onduidelijkheid bestaat over de bijmenging van materialen zoals TAG en andere reststromen. Er bestaat met name onduidelijkheid over de vraag of:

1) TAG en de (deels natuurlijke) bestanddelen daarin gezien moet worden als bodemvreemd materiaal?
2) Of TAG bijgemengd mag worden met de verontreinigde grond?

In de nota van toelichting op het Bbk (2007) staat met betrekking tot TAG:
"*TAG is ontstaan door opbreken of affrezen van asfalt en heeft als zodanig geen relatie met bodemmateriaal.* ***TAG is daarom een bodemvreemd materiaal****. De enige overeenkomst tussen grond en TAG is gelegen in de korrelgrootte verdeling. Dit komt doordat een onderdeel van TAG afkomstig is van steenachtig materiaal dat direct of indirect afkomstig is uit de bodem****. Op basis van het bovenstaande wordt gesteld dat TAG geen grond betreft****".*

Voorts staat in het Bbk (2007) artikel 34.2 het volgende over bodemvreemd materiaal:
"Voor de toepassing van dit besluit wordt onder grond of baggerspecie mede verstaan, grond of baggerspecie die is vermengd met ten hoogste 20 gewichtsprocenten bodemvreemd materiaal."

En in de Rbk (2007) in artikel 2a:
"Voor de toepassing van het besluit wordt onder grond of baggerspecie mede verstaan grond of baggerspecie waarin:

> *a. ten hoogste 20 gewichtsprocenten bodemvreemd materiaal* ***voorkomt dat voorafgaand aan het ontgraven of bewerken in de grond of baggerspecie aanwezig*** *was en waarvan niet is te voorkomen dat de grond of baggerspecie daarmee is vermengd, voor zover het steenachtig materiaal of hout betreft".*

In de nota van Toelichting op het Bbk (2007) wordt ook de volgende toelichting gegeven:
"In grond en baggerspecie wordt doorgaans ook ander materiaal aangetroffen, zoals minerale bestanddelen (puin, vliegas, slakken), en niet-minerale, niet-natuurlijke bestanddelen (glas, plastic, behandeld en onbehandeld hout). *Daarom moet ook worden*

geregeld in hoeverre dergelijk gemengd materiaal wordt aangemerkt als grond of baggerspecie. Hiertoe wordt een maximaal gewichtspercentage ander materiaal gehanteerd. … In dit besluit is het percentage gesteld op 20%. Dit percentage heeft betrekking op het gewicht. ***Indien grond is vermengd met meer dan 20% ander materiaal kan deze voor de toepassing van dit besluit niet worden aangemerkt als grond".***

En

"*In grond of baggerspecie bevindt zich vaak bodemvreemd materiaal, zoals puin, hout of baksteenscherven, dat al in de bodem zit als het wordt afgegraven.* ***Het gaat nadrukkelijk niet om het bijmengen van bodemvreemd materiaal in grond of baggerspecie.*** *Doorgaans is de aanwezigheid van bodemvreemd materiaal in grond of baggerspecie niet bezwaarlijk, maar het is wel noodzakelijk dit te begrenzen. Grond of baggerspecie met maximaal 20 gewichtsprocenten bodemvreemd materiaal, wordt in het kader van dit besluit mede beschouwd als grond of baggerspecie".*

TAG is volgens de Nota van toelichting op het Bbk (2007) dus bodemvreemd materiaal. Ten aanzien van de samenstelling van TAG valt op te merken dat TAG naast bind- en vulmiddelen ook bestaat uit natuurlijke elementen zoals steen(slag) en zand. De bindmiddelen in TAG verbranden bij de thermische behandeling, maar het zand, steen(slag) en het vulmiddel (onder andere vliegas) blijven achter. Het is onbekend of het vulmiddel voor de thermische reiniging uit de TAG verwijderd wordt. In versie 5 van het protocol 7510 wordt hiervan geen melding gedaan. In versie 4 van het protocol is in het tekstkader 'Identiteitswisseling van bouwstof naar grond en vice versa' een voorbeeld gegeven waarin staat dat:
"Asfalt is een mengsel van zand, steentjes, bitumen en vulstof. Het valt onder de definitie van (vormgegeven) bouwstof. Bij thermische bewerking van asfalt wordt het bitumen verbrand en ***de vulstof verwijderd****. Het zand dat resteert is feitelijk weer het "oorspronkelijke" zand dat gebruikt is bij de asfaltproductie, en krijgt dus weer de status 'grond" (SIKB, 2014)*.

Verder wordt in het protocol geen toelichting op gegeven op het al dan niet (verplicht) verwijderen van vulstof uit TAG.

In de wetgeving staat geen eenduidige definitie van bodemvreemd materiaal maar vliegas wordt in de nota van toelichting wel aangewezen als 'ander materiaal' en is dus geen grond. Het zand uit de TAG wordt, mits het voldoet aan de kwaliteitseisen, wel gezien als grond zoals ook blijkt uit de volgende zinsnede uit de toelichting op het Bbk (2007):
"Het zand dat bij de reiniging van TAG vrijkomt is hetzelfde zand dat is gebruikt voor het maken van het asfalt. ***Dit zand voldoet aan de definitie van grond****. Het zand[10] is immers gebruikt om het zand te vervaardigen en komt na een bewerkingsproces weer vrij. Dit zand kan normaliter gewoon een bodemfunctie vervullen. Daarbij is wel aandacht*

[10] Vermoedelijk is het woord 'zand' in deze zinsnede een typefout en zou hier 'TAG' moeten staan. Omdat de bewuste zinsnede een quote betreft is dit niet aangepast in deze rapportage.

noodzakelijk voor de voorgeschiedenis van het zand afkomstig uit de reiniging van TAG. Daarom is het noodzakelijk om meer parameters te onderzoeken dan de parameters die regulier worden onderzocht".

Ten aanzien van het in TAG aanwezige steen is geen nadere toelichting gegeven. Wel is bekend dat het steen in TAG bestaat uit een mengsel van grind en steenslag. Steenslag bestaat uit gebroken grind en natuursteen. Steenslag en breuksteen worden in het Bbk (artikel 29.1) gerekend tot niet-vormgegeven bouwstoffen en kunnen daarom worden geclassificeerd als bodemvreemd materiaal. Het aandeel steenslag in TAG en daarmee ook TGG is dan ook bepalend voor het al dan niet voldoen aan de 20 gewichtsprocenten bodemvreemd materiaal.

Op basis van het bovenstaande kan gesteld worden dat TAG volgens de Nota van toelichting voor reiniging een bodemvreemd materiaal is met daarin natuurlijke elementen zoals zand en steen (deels grind en deels steenslag). Na reiniging is vanwege de verbranding het aandeel natuurlijke elementen relatief gezien toegenomen, omdat een deel van het bodemvreemde materiaal (de bindmiddelen) zijn verbrand. Door de gelijktijdige reiniging van verontreinigde grond en TAG vind er dus aanrijking plaats van de verontreinigde grond met natuurlijke elementen zoals zand en steen(slag) en onnatuurlijke elementen zoals vliegas uit de TAG. Een deel van het steenachtige materiaal in TGG bestaat uit steenslag wat binnen het Bbk als bouwstof is aangemerkt. TGG is dus een door de mens gemaakt mengsel met kenmerken van grond.

Ervanuit gaande dat TAG en de daarin voorkomende elementen geen grond is maar een bodemvreemd materiaal, bestaat er vervolgens onduidelijkheid over de vraag of dit voor reiniging gemengd mag worden met grond. Volgens artikel 2a van de Rbk is het bijmengen van bodemvreemd materiaal nadat de grond is afgegraven niet toegestaan. De te reinigen TAG was ten tijde van afgraving niet in de verontreinigde grond aanwezig. Daarmee zou geconcludeerd kunnen worden dat TAG niet vooraf gemengd had mogen worden met grond.

In het protocol 7510 wordt de term 'grond cum annexis' geïntroduceerd voor afvalstromen die door gezamenlijke reiniging met grond kunnen worden omgezet in grond. In het Bbk en de nota van toelichting op het Bbk wordt hiervan geen melding gemaakt. Het protocol 7510 (SIKB, (2018b) beschrijft grond cum annexis als volgt:
"Aangezien de herkomst van een materiaal niet meer bepalend is voor de status van grond, kan een afvalstof bewerkt worden tot grond".

en

*"**Materialen die vóór bewerking de status hebben van afvalstoffen niet zijnde grond of baggerspecie en ná bewerking de status krijgen van grond,** worden in dit protocol aangeduid als "grond cum Annexis", en **kunnen (mits aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan) samen worden gereinigd met grond".***

In het protocol 7510 (SIKB, 2018b) wordt dus gesteld dat ook afvalstoffen (zoals TAG) tot grond opgewerkt mogen worden door deze samen te reinigen met grond. In de kamerbrief van 28 februari 2021

(Ministerie van IenW, 2021) wordt bevestigd dat het gelijktijdig reinigen van verontreinigde grond en TAG is toegestaan middels:
"*Het samenvoegen van de verschillende materiaalstromen voor reiniging is toegestaan, en hiermee wordt het reinigingsproces geoptimaliseerd*".

Ten aanzien van het bijmengen van materiaalstromen aan verontreinigde grond blijken de formulering van het Bbk, de Nota van toelichting op het Bbk en het protocol 7510 voor meerdere interpretaties uitlegbaar en dit zorgt voor vragen en discussie in de praktijk.
Het wordt aanbevolen om hier duidelijkheid over te geven en indien nodig randvoorwaarden te stellen voor het mengen van verontreinigde grond en afvalstromen.

3.4.4 Partijspecifieke en proceskritische parameters thermische reiniging

In het protocol 7510 (SIKB, 2018b) wordt gesteld dat zowel bij inname van grond als na de thermische reiniging bekend moet zijn welke partijspecifieke en proceskritische parameters zich in het product bevinden. Bij acceptatie van een partij grond, mogen de proceskritische parameters niet dusdanig hoog zijn dat deze hergebruik na reiniging in de weg staan. Na reiniging moet er eveneens volledige duidelijkheid bestaan over de aanwezige partijspecifieke en proceskritische parameters.

Onder proceskritische parameters wordt in het protocol 7510 (SIKB, 2018b) verstaan:
"Verbindingen die vanwege de toegepaste bewerkingsmethode of bedrijfsvoering (mede) bepalend zullen zijn bij de beoordeling van de toepasbaarheid van het product van de bewerking".

Onder partijspecifieke parameters wordt in protocol 7510 (SIKB, 2018b) verstaan:
"Parameters die van oorsprong in een partij aanwezig zijn en voor de milieuhygiënische kwaliteitsbeoordeling bepalend zijn".

In de praktijk blijkt dat bij hergebruik van TGG er terugkerend problemen ontstaan door de uitloging van zouten zoals chloride, sulfaat en bromide en enkele metalen zoals antimoon, vanadium en molybdeen. Daarnaast is sprake van een hoge pH welke van invloed is op het uitlooggedrag van de metalen.

In het protocol 7510 (SIKB, 2018b) wordt ten aanzien van de zouten[11] zoals chloride, sulfaat en bromide vermeld, dat dit een *"**mogelijk** proceskritische parameter, afhankelijk van beoogde toepassing"* betreft (zie ook tabel 3.1 van deze rapportage). TGG bevat hoge concentraties zouten in vergelijking met onbehandelde grond. De enige uitzondering hierop is grond in gebieden met brak grondwater waar van nature hoge concentraties zouten voorkomen. TGG werd tot 2017 in heel Nederland toegepast. Ook in gebieden met zoet grondwater waar hoge concentraties zouten een aanzienlijk effect kunnen hebben op de (ecologische) kwaliteit van het omliggende grond- en oppervlaktewater. De casus Westdijk in Bunschoten (Van Bruchem, 2019) is hier een

[11] Ook voor fluoride wordt dit benoemd, maar fluoride lijkt minder problematisch te zijn bij toepassing van TGG en is daarom hier achterwege gelaten.

voorbeeld van. Het zou logischer wijze dan ook aan te bevelen zijn om de zouten chloride, sulfaat en bromide altijd als proceskritische parameters aan te wijzen en standaard te bepalen voor toetsing. Inmiddels heeft het Ministerie van IenW besloten dat oude partijen TGG vanwege de uitloging van zouten alleen nog in gebieden met brakgrondwater mag worden toegepast (Ministerie van IenW, 2020).

Voor TAG wordt in het protocol 7510 (SIKB, 2018b) gesteld dat: "*TAG is een zeer homogene, procesmatig geproduceerde materiaalstroom. De kenmerkende parameters in teerhoudend asfaltgranulaat zijn de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). Teerhoudend asfaltgranulaat heeft geen andere partijspecifieke parameters in relatie tot thermische reiniging.* ***Een wettelijk bewijsmiddel voor de vooracceptatie van teerhoudend asfaltgranulaat ten behoeve van thermische reiniging is dan ook niet vereist***".
De samenstelling van TAG is dus bij inname onbekend.

Een belangrijk gegeven is dat TGG een hoge pH tot zeer hoge pH (± 9-11,5) heeft ten opzichte van onbehandelde gronden met een natuurlijke pH (tussen 2,8-8,5). Mede door deze hoge pH vindt onaanvaardbare uitloging plaats van verontreinigingen uit de TGG en ook onaanvaardbare beïnvloeding van de onderliggende grond als gevolg van de hoge pH van het percolaat. De meest waarschijnlijke verklaring voor de hoge pH kan worden gegeven door de aanwezigheid en/of vorming van gebluste kalk en ongebluste kalk in TAG. Door het gelijktijdig reinigingen van TAG met verontreinigde grond, veranderen de eigenschappen van de grond. Hoewel er in wetgeving geen nadere eisen gesteld worden aan de pH van TGG, is de pH direct van invloed op de uitloging van verontreiniging. Daarom is het aan te bevelen om de aanwezigheid van kalk in TAG aan te merken als een proceskritische parameter voor de gezamenlijke reiniging van TAG en verontreinigde grond.

4 Knelpunten bij toepassing van TGG

Door de chemische kwaliteit van TGG te beoordelen conform het Bbk kan TGG onder certificaat worden geleverd. Toch is in een aantal praktijktoepassingen (onder andere Brand et al. 2018; Van der Star et al. 2019; Römkens et al. 2019 en Brand et al. 2020) geconstateerd dat er bij de toepassing van TGG sprake is van ongewenste uitloging van stoffen. Ook zijn er verontreinigingen aangetroffen boven de daarvoor geldende normwaarden zoals MW_I. Om duidelijkheid te krijgen over de chemische samenstelling van TGG heeft, het RIVM in samenwerking met TNO en adviesbureau Circular Earth een brede set aan data geanalyseerd. Uit deze analyse kan worden afgeleid welke stoffen structureel in TGG aanwezig zijn, in welke concentraties en of deze stoffen een probleem vormen bij de toepassing van TGG.

4.1 Beschikbare datasets

RIVM beschikt over de volgende datasets om de kwaliteit van TGG in beeld te brengen:

- TGG voorraden in depot (ook wel het verificatieonderzoek):
  - Depot leverancier ATM:
    - drie voorraden oude productie (Eemshaven, Oostelijke randweg en OVET);
    - één voorraad nieuwe productie (Vlasweg);
  - Depot leverancier Theo Pouw:
    - één voorraad (Eemshaven).
- TGG toegepast in praktijkcasus:
  - Westdijk in Bunschoten;
  - Zeedijk in Perkpolder;
  - Plas van Heenvliet in Zwartewaal.
- Historische informatie 2005:
  - ATM-gegevensbestand Nieuwenhuis en Lamé (2005) (alleen geaggregeerde dataset).

De depotdata van beide reinigers zijn afkomstig van een onderzoek dat ILT en grondreinigers Theo Pouw en ATM in het voorjaar van 2019 zijn gestart naar de kwaliteit van TGG. Dit verificatieonderzoek heeft geresulteerd in een set keuringsrapporten van geselecteerde deelpartijen TGG en een daarbij behorende oplegnotitie per depot. De partijen van ATM zijn te onderscheiden in nieuwe en oude voorraad. De nieuwe voorraad is geproduceerd na een aangepaste procesvoering. In het verificatieonderzoek is een uitgebreide stoffenlijst gehanteerd en zijn zowel samenstellingsmonsters als uitloogproeven gedaan.

De data van de Westdijk bij Bunschoten zijn door het Waterschap Vallei en Veluwe beschikbaar gemaakt via Tenderned.nl. De dataset van de Westdijk in Bunschoten is de meest uitgebreide dataset van de praktijkcasussen met een groot aantal analyses van samenstelling en uitlogingsmonsters voor een uitgebreide stoffenlijst. Daarom was de dataset van de Westdijk het meest bruikbaar voor de analyse van de chemische kwaliteit en is deze dataset naast de depotdata gebruikt voor de verdere analyse.

De gezamenlijke datasets van de TGG in de depots en de praktijkcasus Bunschoten beslaan tussen de 230 tot 280 individuele TGG monsters. Niet alle stoffen zijn even vaak gemeten waardoor enige variatie in aantallen beschikbare monsters per stof kan voorkomen.

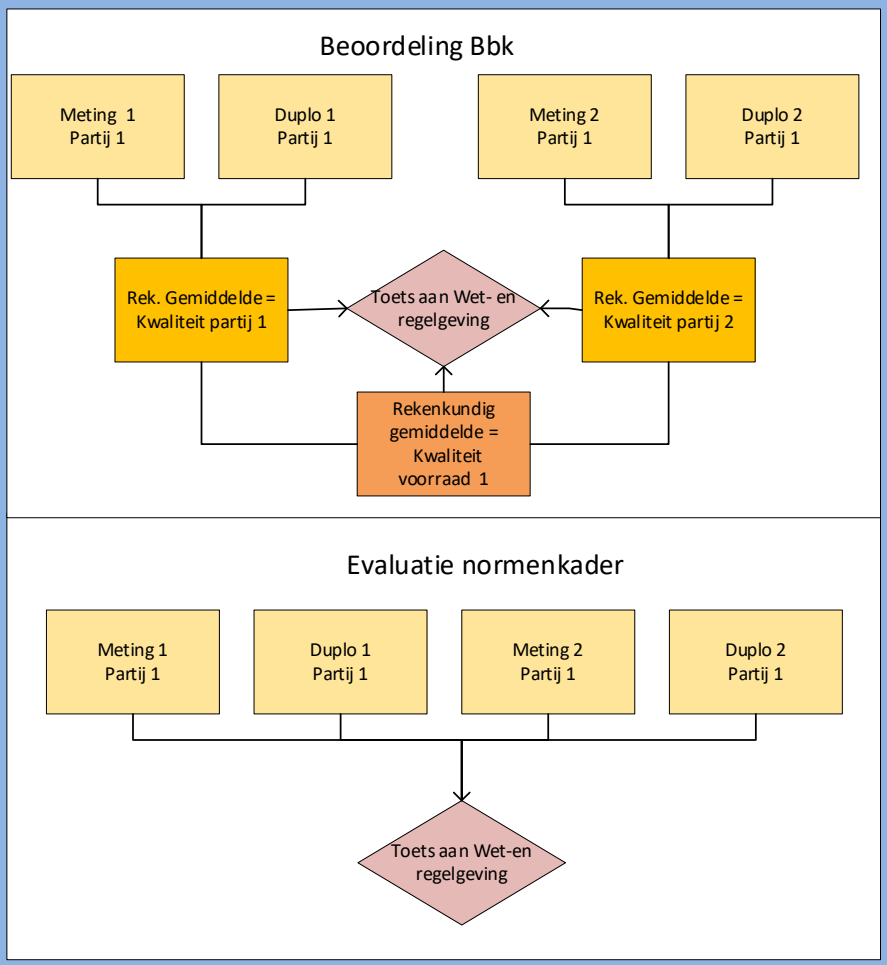
De data van de zeedijk in Perkpolder zijn door Deltares aan het RIVM beschikbaar gesteld als onderdeel van een risicobeoordeling van de toepassing van TGG in de dijk en zijn tevens gerapporteerd in Van der Star et al. (2019). De data voor de Plas van Heenvliet zijn door de DCMR milieudienst Rijnmond aan het RIVM beschikbaar gesteld als onderdeel van een risicoboordeling van de toepassing van TGG nabij de Plas van Heenvliet en tevens gerapporteerd in Tritium advies (2018). Het aantal beschikbare monsters per praktijkcasus (respectievelijk 33 en 19) zijn in verhouding tot de depotdata en de praktijkcasus Bunschoten beperkt maar vertonen een vergelijkbaar beeld als het om de chemische samenstelling gaat (Brand et al. 2018; Brand et al. 2020). Opgemerkt wordt dat de beschikbare datasets een wat langere periode van bemonstering, analyse en interpretatie omvatten waardoor de beoordelingen onderling niet volledig vergelijkbaar zijn. De data van praktijkcasus Perkpolder en de Plas van Heenvliet zijn niet gebruikt voor de verdere analyse in deze rapportage.

De Historische informatie uit 2005 is afkomstig van het onderzoek van Nieuwenhuis en Lamé naar de samenstelling en uitloging van verontreinigingen uit TGG. Eén van de gegevensbestanden bestond uit het ATM-bestand met daarin 128 onderzochte partijen TGG uit de periode 2002-2003. Sinds 2002-2003 is het productieproces van TGG aangepast waardoor de TGG kwaliteit anders kan zijn. Dit betekent dat het bestand uit 2005 niet per se representatief is voor wat er recentelijk is gebruikt in grootschalige bodemtoepassingen. Daarnaast bevat het bestand alleen geaggregeerde data waardoor individuele monsters niet kunnen worden geanalyseerd. Deze dataset is daarom niet gebruikt voor de verdere analyse in deze rapportage. Wel kan op basis van dit databestand een eerste indruk worden verkregen van de kritische stoffen en de verhouding tussen samenstelling en uitloging van verontreinigingen.

Kader 2: werkwijze bepaling chemische kwaliteit

Om de kwaliteit van de TGG te bepalen is gebruik gemaakt van ruwe meetgegevens over samenstelling (totaalanalyse) en uitloging (kolomproeven) van verontreinigingen uit TGG. Hierbij is iedere duplometing van een partij als een afzonderlijke meting beschouwd. Dit wijkt af van de werkwijze conform het Bbk. Volgens het Bbk worden de rekenkundige gemiddelden voor duplometingen gebruikt om de kwaliteit van een partij te bepalen. Voor de beoordeling van de hele voorraad worden de partijen nogmaals uitgemiddeld (zie het figuur 4.1 voor een schematische weergave). Door het dubbele gebruik van rekenkundige gemiddelden kan ongewenste uitmiddeling van hoge concentraties tegen lagere concentraties optreden.

Hierdoor ontstaat een vertroebeld beeld over de kwaliteit van de voorraden TGG en kunnen piekconcentraties niet geïdentificeerd worden. In het kader van dit onderzoek is wel relevant om deze piekconcentraties te kennen. Ook voor een nadere analyse van de relatie tussen samenstelling en uitloging is het van belang om gebruik te maken van individuele monsters. Een overschrijding van een norm in deze evaluatie betekent daarom niet automatisch een afkeuring van de partij conform wetgeving.



Figuur 4.1 Schematisch overzicht van beoordelingsmethode binnen het Bbk (boven) en deze evaluatie (onder).

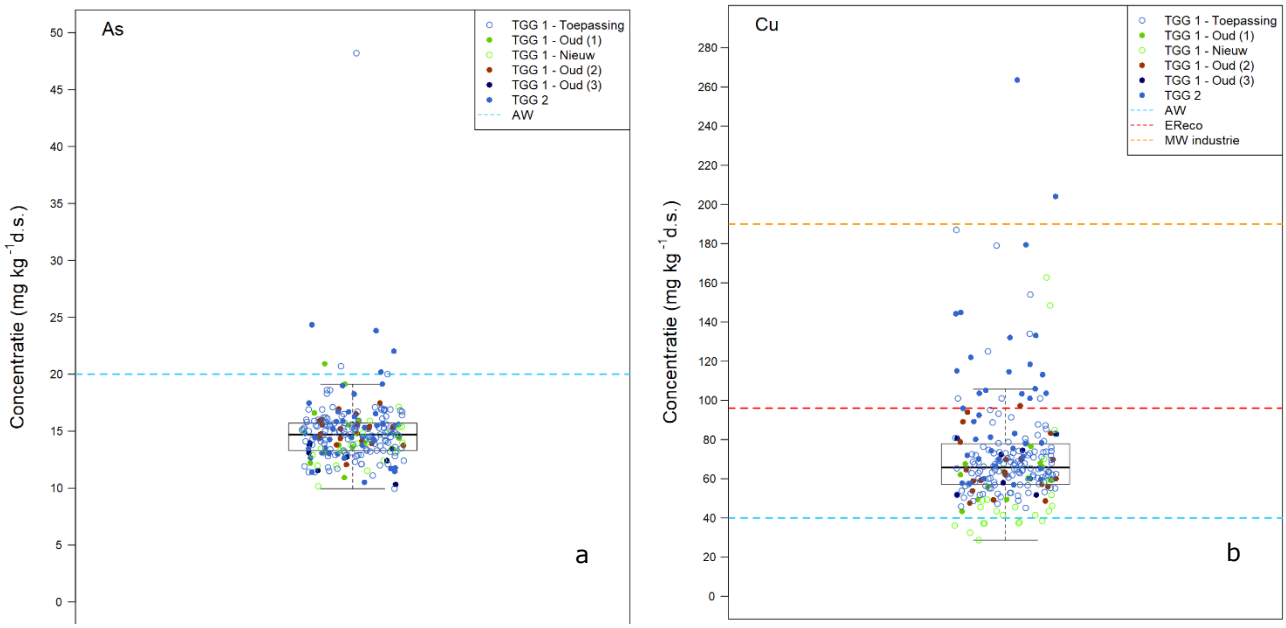
4.2 Chemische kwaliteit

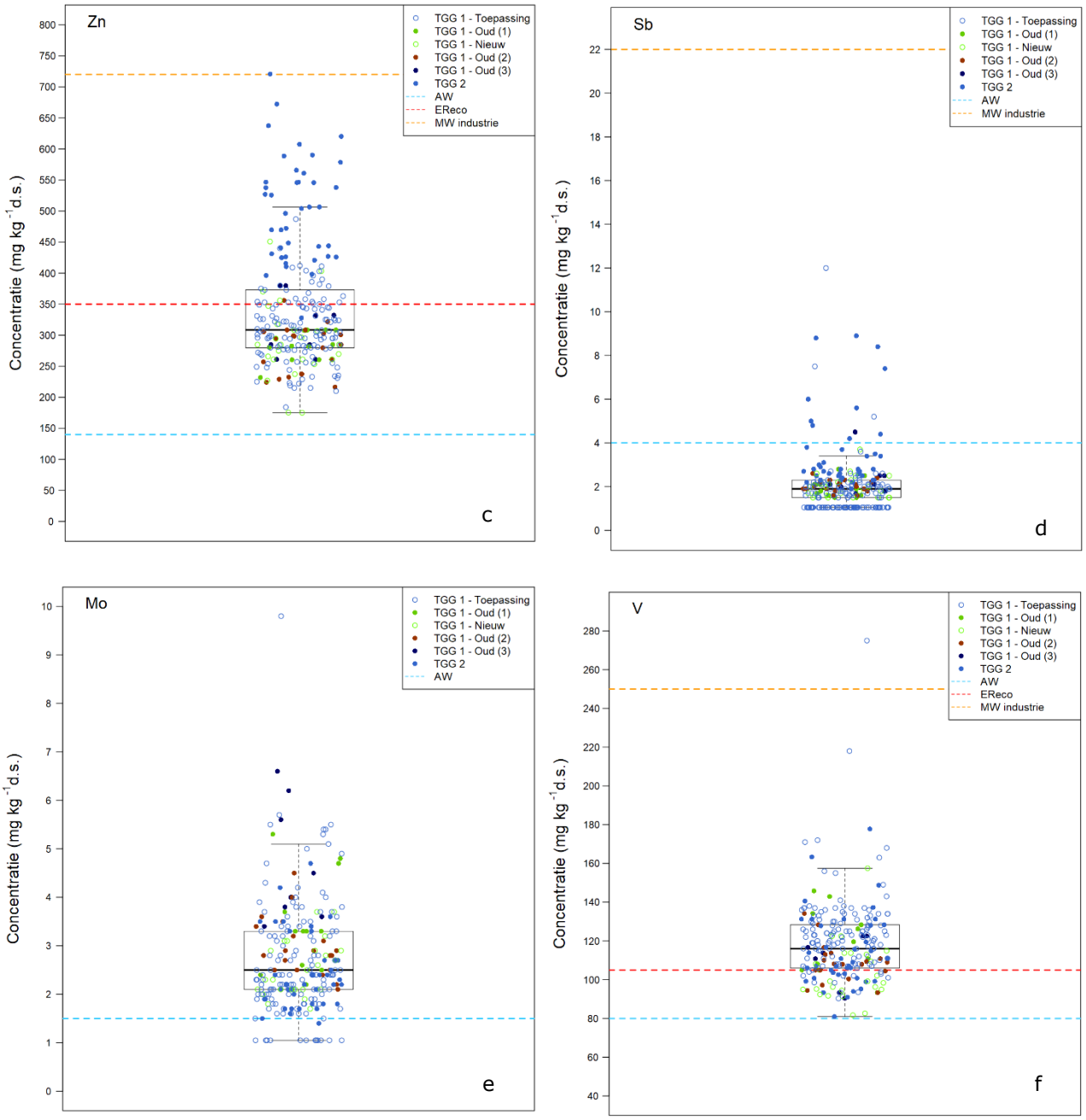
4.2.1 Heterogeen (licht) verontreinigd materiaal

4.2.1.1 Metalen

Om een indruk te krijgen hoe de chemische samenstelling van de verschillende partijen TGG zich tot elkaar verhouden zijn voor de TGG in de depots en de praktijkcasus Bunschoten de concentraties metalen en zouten in een aantal boxplots uitgezet. In totaal gaat het om 234 individuele monsters. In Figuur 4.1 zijn ter indicatie de boxplots weergegeven voor arseen, antimoon, koper, molybdeen, vanadium en zink. In bijlage 1 zijn de boxplots voor de overige metalen opgenomen.

Uit de data-analyse blijkt dat de chemische kwaliteit van TGG in depots en zoals toegepast in Bunschoten heterogeen van aard is. Dat wil zeggen dat per partij TGG variatie bestaat tussen het wel/niet voorkomen van stoffen en de concentraties van die stoffen. De mate van variatie is metaal afhankelijk, zo varieert de concentratie arseen aanzienlijk minder dan bijvoorbeeld zink. De 'nieuwe voorraad' TGG (in de figuren weergeven met open groene bolletjes) bevat doorgaans iets lagere concentraties metalen (bijvoorbeeld koper) dan de 'oude voorraad' maar dit is niet bij alle metalen even duidelijk (bijvoorbeeld zink en molybdeen).





Figuren 4.2 a t/m e Verdeling van concentraties arseen (a), koper (b), zink (c), antimoon* (d), molybdeen* (e) en vanadium** (f) in TGG zowel depot als praktijkcasus Bunschoten. De concentraties zijn omgerekend naar een standaard bodem. De blauwe lijn geeft de AW weer, de gele lijn de MW_I en de rode het Ernstig risico niveau voor ecologie (ER_{eco}).*

* Voor arseen, antimoon en molybdeen zijn de ER_{eco} en/of de MW_I niet opgenomen, omdat deze ver boven de gemeten concentraties in TGG liggen en daarmee buiten de boxplot vallen.

** De hoogste gemeten concentratie vanadium is 1120 mg kg^{-1} d.s.. Dit meetpunt is buiten het figuur gelaten ter bevordering van de leesbaarheid van het figuur en wordt daarom hier separaat vermeld.

Om te bepalen hoe TGG zich verhoudt tot natuurlijke gronden, is gebruik gemaakt van de wettelijk vastgestelde achtergrondwaarde (AW, blauwe lijn in boxplots) uit het Bbk. Bij het vaststellen van de AW zijn de effecten van diffuse verontreinigingen (als gevolg van depositie) en de aanwezigheid van organische verbindingen (die meestal niet van nature aanwezig zijn maar een antropogene oorsprong kennen) meegenomen. Als de concentratie in TGG lager is dan de AW dan voldoet TGG aan de wettelijke definitie van schone grond. Zijn de concentraties hoger dan de AW maar lager dan de MW_I, dan is er sprake van (licht) verontreinigde grond. Bij (licht) verontreinigde grond is er nog niet direct sprake van onaanvaardbare risico's voor mens, plant of dier. Ook is er bij een overschrijding van de AW geen directe noodzaak tot handelen of afwijzing van een partij TGG. Pas als de rekenkundig gemiddelde concentratie per monsterpunt hoger is dan de MW_I (gele lijn in boxplots) mag de TGG niet worden toegepast omdat onaanvaardbare risico's voor mens, plant of dier niet kunnen worden uitgesloten.

In tabel 4.1 zijn de concentraties metalen vergeleken met de AW en de MW_I. Met uitzondering van arseen en antimoon liggen de gemeten concentraties metalen in meer dan 80% van de TGG monsters boven de AW. Voor de metalen nikkel, lood en vanadium liggen de gemeten concentraties in alle monsters boven de AW. Voor de metalen cadmium, kobalt, molybdeen, tin en zink zijn in meer dan 98% van de monsters concentraties boven de AW gemeten.

Een beperkt aantal monsters bevat concentraties hoger dan de MW_I. Het gaat dan om de metalen chroom (0,9%), koper (0,9%), nikkel (1,7%), zink (0,4%) en vanadium (0,9%). Bij de afleiding van het MW_I wordt rekening gehouden met risico's voor zowel ecologie als mensen. De laagste risicogrens van beide is bepalend voor de uiteindelijk vastgestelde MW_I. De MW_I voor chroom, koper, nikkel, zink en vanadium zijn allen gebaseerd op de risicogrens voor ecologie. Hiermee zijn risico's voor mensen automatisch uitgesloten omdat de concentraties waarbij risico's voor mensen kunnen optreden hoger liggen. Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de MW_I voor een aantal stoffen gelijk is aan de Interventiewaarde voor grond (grens voor ernstige verontreiniging). Zo ook voor de hiervoor genoemde metalen. Beleidsmatig is de Interventiewaarde niet van toepassing op het hergebruik van TGG.

Tabel 4.1 Overzicht van het aantal TGG monsters in depots en de praktijkcasus Bunschoten waarin de concentraties metalen hoger zijn dan de AW en de MW_I. Ook de procentuele overschrijding van de achtergrondwaarde (AW) en MW_I zijn weergeven.

Stof	**AW (mg kg^{-1} d.s.)**	**Aantal monsters**		**% monsters > AW**	**MW_I (mg kg^{-1} d.s.)**	**Aantal monsters**		**% monsters > MW_I**
		< AW	**> AW**			**< MW_I**	**> MW_I**	
Arseen (As)	20	226	8	3,4	76	234	0	0,0
Barium (Ba)	-	-	-	-	-	-	-	-
Cadmium (Cd)	0,6	2	232	99,1	4,3	234	0	0,0
Chroom (Cr)	55	37	197	84,2	180	232	2	0,9
Kobalt (Co)	15	1	233	99,6	190	234	0	0,0
Koper (Cu)	40	8	226	96,6	190	232	2	0,9
Kwik, niet vluchtig (Hg)	0,15	19	215	91,9	4,8	234	0	0,0
Nikkel (Ni)	35	0	234	100	100	230	4	1,7
Molybdeen (Mo)	1,5	13	221	94,4	190	234	0	0,0
Lood (Pb)	50	0	234	100	530	233	1	0,4
Tin (Sn)	6,5	2	232	99,1	900	234	0	0,0
Zink (Zn)	140	0	234	100	720	233	1	0,4
Antimoon (Sb)	4	220	14	6,0	22	234	0	0,0
Seleen (Se)	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanadium (V)	80	0	234	100	250	232	2	0,9

Op basis van tabel 4.1 kan geconcludeerd worden dat TGG niet geclassificeerd kan worden als schone grond (AW) maar als (licht) verontreinigde grond. De chemische samenstelling van TGG voldoet voor het merendeel van de meetpunten aan de klasse industrie uit het Bbk maar er zijn ook enkele overschrijdingen. Dat TGG als (licht) verontreinigd wordt geclassificeerd, is met name relevant voor de uitloogproblematiek geassocieerd met TGG. Zoals in H3 is beschreven, concludeerde de TCB in 2003 dat voor schone grond (grond die voldeed aan de samenstellingswaarde SW1 uit het voormalige Bouwstoffenbesluit) geen uitloogonderzoek noodzakelijk zou zijn. Er werd geredeneerd dat de concentraties in schone grond dermate laag zouden zijn, dat deze geen probleem vormden bij uitloging. In de Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie is voor de stoffen antimoon, molybdeen, seleen en vanadium vervolgens een nadere invulling geven aan de vrijstelling van uitloogonderzoek (zie ook paragraaf 3.3.2) middels samenstellingswaarden. De samenstellingswaarden uit de Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie zijn ook overgenomen in het Bbk in de vorm van de nu geldende ETW. Op basis van de geanalyseerde dataset kan dus worden geconcludeerd dat TGG geen schone grond is en er geen zekerheid is dat de mate van uitloging nihil of ten minste aanvaardbaar is op basis van toetsing aan de ETW. In paragraaf 4.2.2 wordt de relatie tussen

samenstelling en uitloging van verontreinigingen uit TGG kwantitatief onderzocht.

Om de potentiele milieu-impact van TGG verder te duiden zijn de concentraties metalen in TGG ook vergeleken met de ecologische risicogrenzen (Tabel 4.2). Gezondheidsrisico's zijn immers uitgesloten middels toetsing aan de MW_I.

In de afgelopen jaren zijn om verschillende redenen een aantal herziene risicogrenzen voor onder andere ecologische effecten voorgesteld, die nog niet geformaliseerd zijn in beleid. Meestal zijn de voorstellen gedaan naar aanleiding van nieuwe data of nieuwe inzichten in de afleidingsmethodiek. De ecologische risicogrenzen (het Ernstig risiconiveau of ER_{eco}) zijn afgeleid over een periode van vele jaren, te weten de eerste ronde van afleiding interventiewaarden in de jaren negentig (Van den Berg et al. 1994; Kreule et al. 1995; Kreule et al. 1998), een evaluatie van de interventiewaarde begin 2000 (Lijzen et al. 2001) en een gedeeltelijke (her)evaluatie in 2012 (Brand et al. 2012). Met name de ER_{eco} waarden die afgeleid zijn in het onderzoek van Brand et al. (2012) evenals sommige ER_{eco} die gerapporteerd worden door Lijzen et al. (2001) zijn niet overgenomen in de thans vigerende wet- en regelgeving.

Het uitgangspunt van de Bbk is dat met een toetsing aan de MW_I, onacceptabele risico's voor mens en ecologie (plant en dier) kunnen worden uitgesloten. De MW_I is immers gebaseerd op de strengste risicogrens voor mens of ecologie. Op basis van nieuwe voorstellen voor de hoogte van de ER_{eco} kan deze waarde soms lager zijn dan de MW_I waardoor schadelijke effecten op ecologie kunnen optreden. Het omgekeerde komt overigens ook voor, waarbij de herziene ER_{eco} juist hoger ligt dan de MW_I.

Tabel 4.2 De $ER_{eco's}$ die door de tijd zijn berekend voor metalen (Van den Berg et al. 1994; Kreule et al. 1995; Kreule et al. 1998; Lijzen et al. 2001; Brand et al. 2012) en de mate van overschrijding in depots met TGG en de praktijkcasus Bunschoten. In de meest rechtse kolommen staan de percentages van monsters TGG waarin overschrijdingen van de diverse $ER_{eco's}$ zijn geconstateerd. Ter vergelijking is ook de MW_I opgenomen.

Stof	**ER_{eco} (mg kg^{-1} d.s.)**			**MW_I (mg kg^{-1} d.s.)**	**% monsters > ER_{eco}**		
	1995	**2001**	**2012**		**1995**	**2001**	**2012**
Arseen (As)	40	85	-	76	0,4	0,0	
Barium (Ba)	650	890	400	-	31,6	4,7	84,2
Cadmium (Cd)	12	13	-	4,3	0,0	0,0	-
Chroom (Cr)	230	220	-	180	0,4	0,4	-
Kobalt (Co)	240	180	-	190	0,0	0,0	-
Koper (Cu)	190	96	-	190	0,9	12,4	-
Kwik, niet vluchtig (Hg)	10	36	-	4.8	0,0	0,0	-
Nikkel (Ni)	220	100	-	100	0,0	1,7	-
Molybdeen (Mo)	480	190	-	190	0,0	0,0	-
Lood (Pb)	290	580	-	530	7,7	0,4	-
Tin (Sn)	-	-	-	900	-	-	-
Zink (Zn)	720	350	260	720	0,4	32,1	0,0
Antimoon (Sb)	-	-	1400	22	-	-	0,0
Seleen (Se)	-	-	1,9	-	-	-	5,1
Vanadium (V)	-	-	105	250	-	-	79,1

Uit de tabel 4.2 valt op te maken dat de concentratie voor barium en vanadium voor respectievelijk 84,2% en 79,1% van de monsters boven de meest recente ER_{eco} liggen. Voor barium is in de Rbk geen maximale waarde opgenomen omdat natuurlijke achtergrondconcentratie veelal hoger liggen dan de MW_I. Als de ER_{eco} van vanadium (105 mg/kg^{-1} d.s.) wordt vergeleken met de MW_I (250 mg/kg^{-1} d.s.) dan valt op dat de ER_{eco} meer dan de helft lager is dan de MW_I. Een toetsing aan MW_I is voor vanadium dan ook niet toereikend om effecten op ecologie uit te sluiten. Voor koper en zink geldt in mindere maten hetzelfde waarbij respectievelijk in 12,4% en 32,1% van de monsters onaanvaardbare ecologische effecten kunnen optreden. Ook voor chroom (0,4%), koper (12,4%), lood (0,4%), nikkel (1,7%) en seleen (5,1%) worden in concentraties boven het meest actuele ER_{eco} aangetroffen.
Bij toepassing van TGG kunnen ecologische effecten niet altijd worden uitgesloten. Of effecten kunnen optreden, is mede afhankelijk van de lokaal aanwezige concentraties in bodem en grondwater.

4.2.1.2 Organische verbindingen

Behalve de metalen zijn ook de in TGG gemeten concentraties aan de organische verbindingen vergeleken met de AW, MW_I en het ER_{eco}. In de diverse onderzoeken van TGG in depots en de praktijkcasus Bunschoten zijn onder andere de volgende organische stofgroepen onderzocht: minerale olie, organochloorbestrijdingsmiddelen (OCB), Polychloorbifenylen (PCBs), Polycyclische Aromatische koolwaterstoffen (PAK), chloorbenzenen, fenolen, perfluorverbindingen (PFAS) en dioxines. Vanwege het grote aantal geanalyseerde organische verbindingen (meer dan 150 individuele organische stoffen en

stofgroepen in circa 280 monsters) is in deze rapportage alleen een selectie aan stoffen weergegeven waarvoor in het de praktijkcasussen (Brand et al. (2018); Van der Star et al. (2019); en Brand et al. (2020)) overschrijdingen van de MW_I zijn geconstateerd of waarvoor de MW_I in de depot en de praktijkcasus Bunschoten werden overschreden. Voor de organische verbindingen die niet zijn opgenomen in deze rapportage wordt verwezen naar de rapportages van Mol Ingenieursbureau (2019a t/m e) en Certicon bodemexperts (2019) behorende bij het verificatieonderzoek. Voor deze stoffen is de volledige dataset in dit onderzoek wel is getoetst, waaruit bleek dat de gemeten aanwezige concentraties de MW_I niet overschrijden.

In Tabel 4.3 zijn de concentraties organische verbindingen van de TGG in de depots en de praktijkcasus Bunschoten afgezet tegen de AW en de MW_I voor een aantal geselecteerde stoffen.

Tabel 4.3 Vergelijking van concentratie organische verbindingen in TGG in depots en de praktijkcasus Bunschoten met de AW en MW_I. Weergegeven zijn de organische verbindingen die bij de toepassing van TGG in praktijk overschrijdingen van de MW_I gaven. Per stof is de achtergrondwaarde (AW; mg kg^{-1} d.s.) en MW_I (MW_I; mg kg^{-1} d.s.), en het aantal monsters TGG waarvan de concentratie kleiner (< AW; <MW_I) of groter (> AW; > MW_I) is dan de AW of MW_I.

Stof	**AW (mg kg^{-1} d.s)**	**Aantal monsters**		**% >AW**	**MW_I (mg kg^{-1} d.s)**	**Aantal monsters**		**% monsters > MW_I**
		< AW	**> AW**			**< MW_I**	**> MW_I**	
Minerale olie	190	255	23	8,3	500	277	1	0,4
α-HCH	0,001	180	98	35,3	0,5	277	1	0,4
β-HCH	0,002	43	235	84,5	0,5	277	1	0,4
Benzeen	0,2	51	229	81,8	1	255	25	8,9
Tolueen	0,2	90	190	67,9	1,25	279	1	0,4
PAK	1,5	236	42	15,1	40	278	0	0
Drins (som)	0,015	268	10	3,6	0,14	278	0	0

De organische verbindingen worden in alle datatsets in concentraties boven de AW aangetroffen. Daarbij moet worden opgemerkt dat voor veel organische verontreinigingen de AW is gebaseerd op de (zeer lage) bepalingsgrens (intralaboratorium reproduceerbaarheid). Dit is gedaan omdat er onvoldoende velddata (meetgegevens) beschikbaar zijn om een betrouwbare AW (het 95 percentiel) af te leiden. Hoewel een overschrijding van de AW geen directe aanleiding is tot het afkeuren van een partij TGG is het wel opmerkelijk dat de organische verbindingen regelmatig zijn gemeten in TGG omdat deze door thermische behandeling niet langer in de TGG aanwezig zouden moeten zijn.

Enkele keren worden benzeen, α-HCH, β-HCH, tolueen en minerale olie ook boven de MW_I aangetroffen. Het valt op dat het bij de aanwezige organische verbindingen om relatief vluchtige verbindingen kan gaan zoals benzeen en tolueen. Omdat de MW_I voor benzeen, β-HCH en tolueen een gezondheidskundige onderbouwing voor mensen kennen, kunnen er onder bepaalde omstandigheden risico's voor mensen niet

volledig worden uitgesloten. Het gaat hierbij voornamelijk om risico's door vervluchtiging van benzeen en tolueen in situaties waarbij bebouwing (laagbouw) op de TGG zou plaatsvinden. De vluchtige verontreinigingen kunnen zich dan verzamelen in de binnenruimte zoals de kelder of kruipruimte, waardoor blootstelling van mensen via inhalatie kan optreden. Zonder bebouwing is er geen sprake van risico's door inhalatie, omdat de verontreinigingen direct verwaaien in de buitenlucht waardoor de concentraties niet kunnen oplopen. In hoeverre er bebouwing op TGG voorkomt is onbekend.

Het is onduidelijk hoe de organische verbindingen in de TGG kunnen zijn achtergebleven. Mogelijke oorzaken zijn onvolledige reiniging of herverontreiniging van de TGG. Een verklaring voor het onopgemerkt blijven van deze stoffen tijdens de kwaliteitscontrole van TGG kan liggen in het feit dat de organische verontreinigingen alleen getoetst worden aan een aantal indicatorstoffen uit het SIKB protocol 7510 zijnde minerale olie, PAKs, PCBs en naftaleen (zie ook paragraaf 3.2.2). Deze organische verbindingen zijn minder vluchtig dan de in TGG aangetroffen verbindingen en er wordt verondersteld dat als de niet-vluchtige verbindingen afwezig zijn, ook de vluchtige verbindingen afwezig zijn. De organische verbindingen zoals tolueen en benzeen worden dan ook niet getoetst waardoor een overschrijding ook niet wordt opgemerkt.

4.2.1.3 Perfluoralkylstoffen (PFAS)

Er zijn 250 monsters onderzocht op PFAS. Naast PFOA en PFOS zijn 39 andere PFAS-verbindingen of isomeren onderzocht. Van sommige PFAS liggen de concentraties boven de detectiegrens. In het tijdelijk handelingskader PFAS (Ministerie van IenW 2020b) zijn de AW en MW_I voor PFOS, PFOA en overige PFAS gegeven. In tabel 4.4 zijn de PFAS waarvan de gemeten concentraties boven de detectiegrens liggen vergeleken met de AW en MW_I.

Tabel 4.4 Vergelijking van concentratie PFAS in TGG in depots en de praktijkcasus Bunschoten, met de AW en MWI. Weergegeven zijn de PFAS verbindingen die boven de detectiegrens zijn aangetroffen. Per stof is de achtergrondwaarde (AW; mg kg-1 d.s.) en MWI (MWI; mg kg-1 d.s.), en het aantal monsters TGG waarvan de concentratie kleiner (< AW; < MWI) of groter (> AW; > MWI) is dan de AW of MWI aangegeven.

Stof	**AW** (mg kg^{-1} d.s)	**Aantal monsters**		**% >AW**	**MW_I** (mg kg^{-1} d.s)	**Aantal monsters**		**% monsters > MW_I**
		< AW	**> AW**			**< MW_I**	**> MW_I**	
PFOS	0,0014	250	0	0	0,003	250	0	0
PFOA	0,0019	250	0	0	0,007	250	0	0
6:2 FTS*	0,0014	242	8	3,2	0,003	243	7	2,8
PFHxA*	0,0014	250	0	0	0,003	250	0	0
PFBA	0,0014	250	0	0	0,003	250	0	0
PFTeDA	0,0014	240	0	0	0,003	240	0	0

* Voor 6:2 FTS en PFHxA zijn geen achtergrondwaarde afgeleid. Echter, in het tijdelijk handelingskader voor PFAS is gesteld dat PFAS waarvoor geen achtergrondwaarden of MW_I zijn afgeleid te toetsen aan de waarden voor PFOS.

6:2 fluortelomeer sulfonzuur (6:2 FTS) is de meest voorkomende PFAS. Deze verbinding is in 13% van de monsters (n=32) boven de detectiegrens (0,0001 mg kg^{-1}) gemeten. De maximum gemeten concentratie is 0,0086 mg kg^{-1} d.s. 6:2 FTS is de enige PFAS die in de onderzochte monster van de depots boven het MW_I (welke gelijk is aan PFOS) wordt aangetroffen. PFOS is in 8,8 % van monsters (n=22) gemeten in concentraties boven de detectiegrens (0,0001 mg kg^{-1} d.s.). De maximum gemeten PFOS concentratie is 0,00035 µg kg^{-1} d.s.. De stof perfluorhexaanzuur (PFHxA) is in 6,4% van de monsters (n= 16) gemeten in concentraties boven de detectiegrens (0,0001 of 0,0002 mg kg^{-1}d.s.). Het maximum gemeten concentratie is 0,0002 mg kg^{-1} d.s. en komt daarmee niet boven de AW of MW_I.

Voor alle monsters geldt, dat de gemeten concentraties PFOS en PFOA niet boven de ER_{eco} komen. Voor 6:2 FTS en PFHxA zijn geen ER_{eco} beschikbaar.

4.2.1.4 Polygebromeerde difenylethers (PBDE)

Er zijn 282 TGG monsters onderzocht op PBDEs die gebruikt worden als brandvertragers. Voor PBDEs zijn vooralsnog geen achtergrondwaarde, MW_I of ecologische risicowaarden afgeleid waardoor een toetsing nog niet mogelijk is. In Tabel 4.5 is en overzicht gegeven van de gemeten PBDEs die boven de detectiegrens zijn aangetroffen en wat de maximale aangetroffen concentratie was.

Tabel 4.5 Het percentage van monsters in de depots en de praktijkcasus Bunschoten waarin concentraties boven de detectiegrens zijn gemeten en maximum gemeten concentratie per PBDE.

Stof	Aantal monsters*	% monsters boven detectiegrens	Maximum concentratie (mg kg^{-1} d.s.)
Som TriBDEs	282	0,4	0,0000635
Som TetraBDEs	282	1,4	0,00179
Som PentaBDEs	282	0,7	0,00278
Som HexaBDEs	282	0,7	0,00325
Som HeptaBDEs	282	0,7	0,0015
Som OctaBDEs	66	4,5	0,00345
Som NonaBDEs	66	6,1	0,0144
DecaBDE	282	20,9	0,362
Som PBDEs	66	37,9	-

* In vijf van de depots zijn de monsters (n= 66) geanalyseerd op 24 soorten PBDEs terwijl in één depot en de monsters afkomstig van de praktijkcasus (n= 216) op slechts 8 soorten PBDEs zijn geanalyseerd.

4.2.1.5 Conclusie

Op basis van de chemische samenstelling van de TGG in depots en de praktijkcasus Bunschoten wordt geconcludeerd dat TGG als (licht) verontreinigd materiaal kan worden geclassificeerd. Dat wil zeggen dat TGG concentraties verontreinigingen bevat die boven de grens van schone grond ligt zoals gedefinieerd in het Bbk. Per partij kan de chemische kwaliteit verschillen. De samenstelling van het merendeel van de partijen voldoet aan de klasse industrie (zowel metalen als

organische verbindingen). Uitzonderingen hierop zijn chroom (0,9%), koper (0,9%), nikkel (1,7%), zink (0,4%), vanadium (0,9%), benzeen (8,9%), α-HCH (0,4%), β-HCH (0,4%), tolueen (0,4%) en minerale olie (0,4%). Voor met name de metalen barium, vanadium, koper en zink liggen de concentraties in TGG boven de meest actuele risicogrens voor ecologie. De organische verbindingen worden niet boven de ecologische risicogrens aangetroffen. In TGG in depots en de praktijkcasus Bunschoten worden ook PFAS verbindingen en PBDEs aangetroffen. Met uitzondering van 6:2 fluortelomeer sulfonzuur worden PFAS niet boven de Achtergrondwaarde of MW_I aangetroffen. Voor de brandvertragers zijn momenteel geen risicogrenzen beschikbaar waardoor een toetsing nog niet mogelijk. In 23% van de geanalyseerde TGG monsters is één of meer PBDE gemeten boven de detectiegrens.

4.2.2 Chemische samenstelling versus uitloging

Zoals eerder geconstateerd vindt er bij de toepassing van TGG ongewenste hoge uitloging van metalen en zouten plaats. In Hoofdstuk 3 zijn de achtergronden van de huidige normen beschreven en is beargumenteerd dat toetsing van TGG aan deze normen op een aantal wetenschappelijke aspecten tekort schiet. Hierbij is ingegaan op het verschil tussen een toetsing op samenstelling en een toetsing op de mate van uitloging. In deze paragraaf wordt middels een kwantitatieve analyse hier verder invulling aan gegeven.

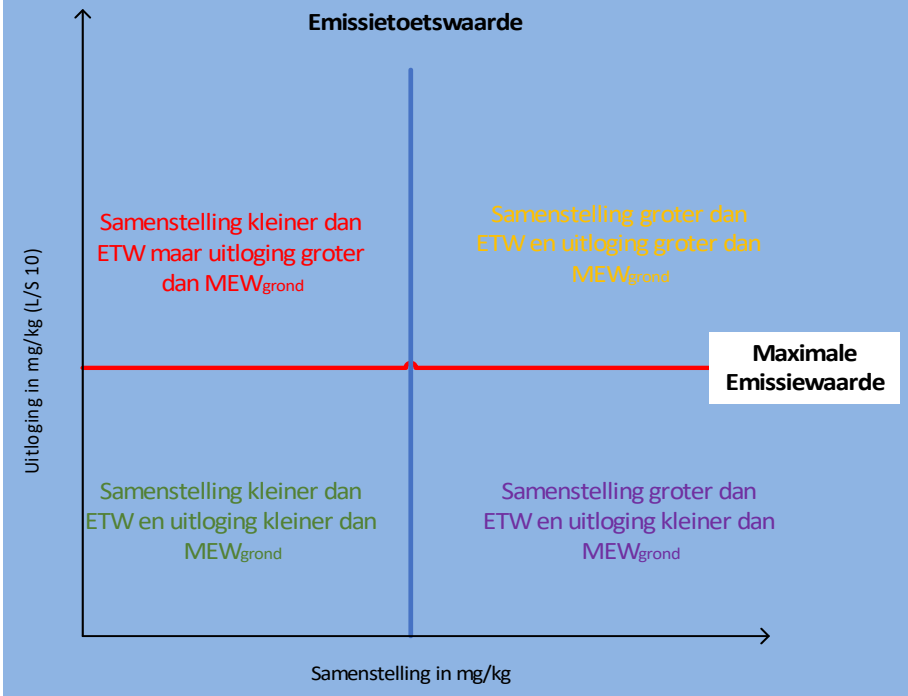
In figuren 4.4 a t/m f zijn de concentraties voor arseen, antimoon, koper, molybdeen, vanadium en zink in TGG uitgezet tegen de uitloogemissie tijdens een uitloogproef. De data zijn afkomstig van de TGG in de depots en de praktijkcasus Westdijk in Bunschoten. De figuren voor chroom, lood en nikkel zijn opgenomen in bijlage 2. In de figuren zijn ook de ETW (waarde voor samenstelling, in blauw), de MEW_{grond} (waarde voor uitloogemissie, in rood) en de Maximale Emissiewaarde voor vrij toepasbare bouwstoffen ($MEW_{bouwstoffen}$, in geel) aangeven. In het onderstaande kader 2 is een toelichting gegeven op hoe de figuren kunnen worden geïnterpreteerd.

Kader 3: Toelichting bij figuren 4.4 a t/m f

In de figuren 4.4 a t/m f zijn ook de ETW, MEW_{grond} en $MEW_{bouwstoffen}$ opgenomen. Hierdoor zijn in de figuren vier kwadranten waarneembaar (zie ook figuur 4.2). De kwadranten zijn groen of oranje (bij beide voldoet de ETW-toetsing) of paars en rood (bij de laatste twee voldoet de ETW-toetsing niet). Toelichting kwadranten:

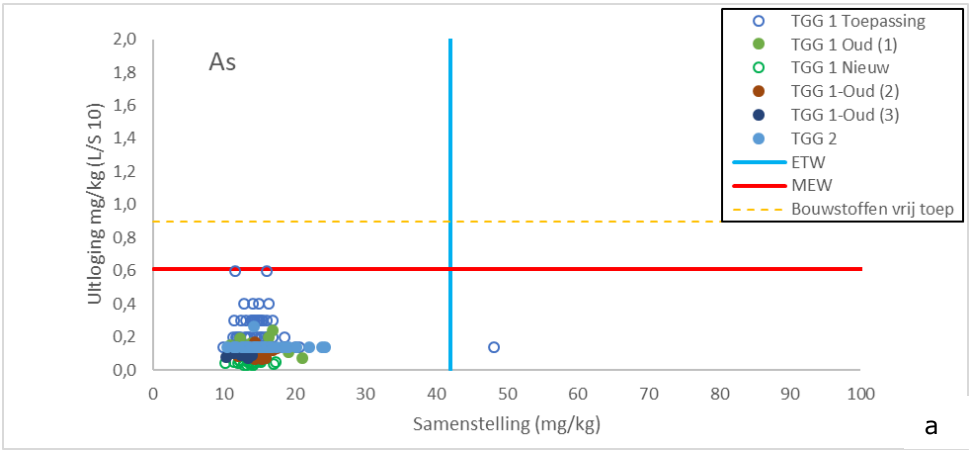
- Groen: de TGG voldoet aan het samenstellingscriterium ETW waardoor er geen uitloging wordt verwacht en er in praktijk ook geen uitloging plaatsvindt.
- Oranje: de TGG voldoet niet aan het samenstellingscriterium (ETW) waardoor er uitloging kan worden verwacht en er in de praktijk ook sprake is van uitloging. Dit wordt vastgesteld middels een uitloogproef.
- Paars: TGG voldoet niet aan het samenstellingscriterium (ETW) waardoor er uitloging kan worden verwacht maar in de praktijk blijkt er geen sprake van uitloging. Dit wordt ook wel een fout positief genoemd. Het uitblijven van uitloging wordt vastgesteld middels een uitloogproef.
- Rood: de TGG voldoet aan het samenstellingscriterium (ETW) waardoor er geen uitloging wordt verwacht maar in de praktijk is er sprake van uitloging boven de MEW_{grond}. Dit wordt ook wel een fout negatief genoemd. De uitloging wordt niet opgemerkt, omdat er geen uitloogproef is uitgevoerd.

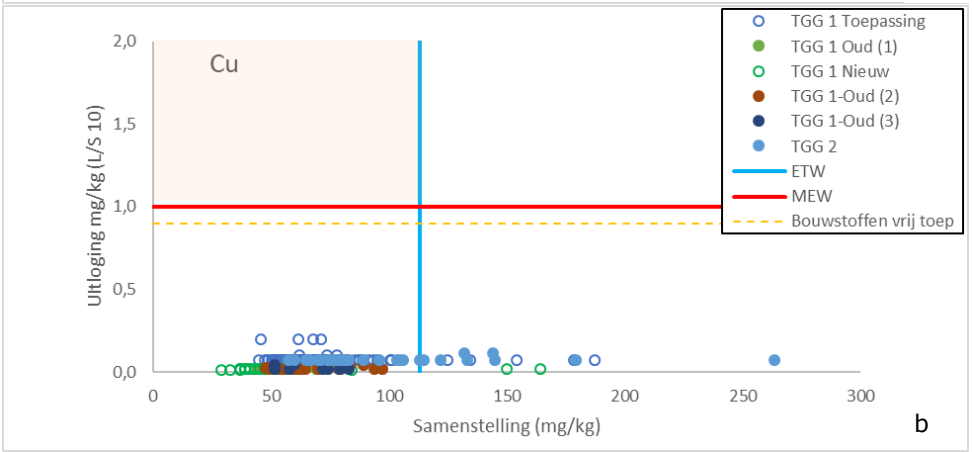
Zowel het paarse als het rode kwadrant geven een foutieve voorspelling van de te verwachten uitloging. Echter bij het paarse kwadrant is er geen sprake van uitloging in de praktijk, waardoor de gevolgen beperkt zijn. Bij het rode kwadrant daarentegen is er sprake van uitloging waar deze op basis van toetsing aan de ETW niet wordt verwacht. Hier treden in de praktijk veelal de problemen op.

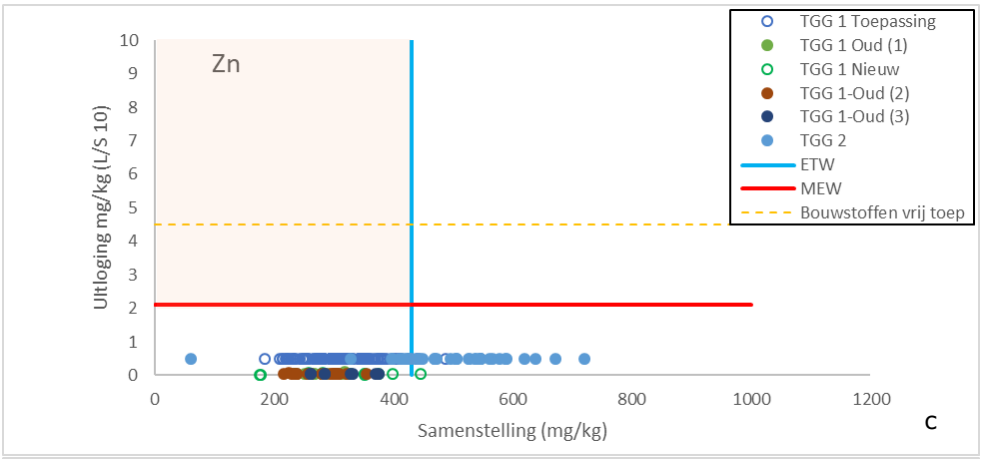


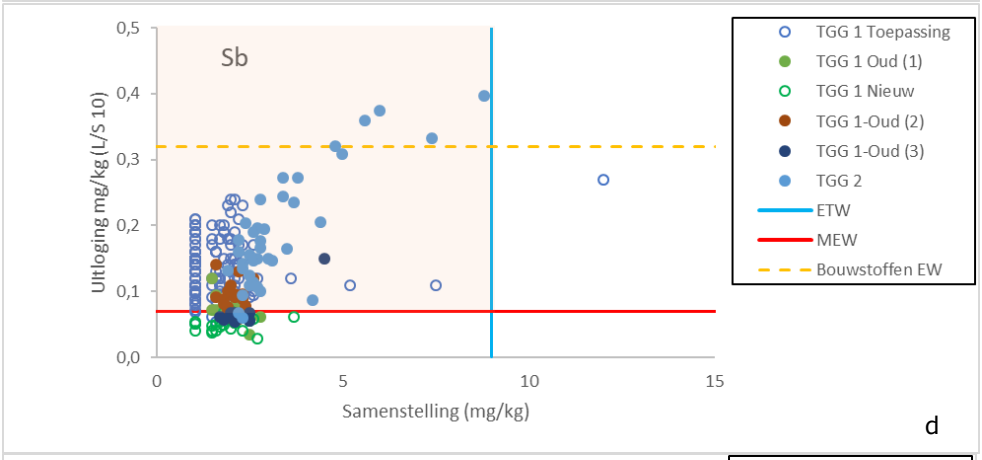
Figuur 4.3 het figuur geeft de mogelijke uitwerking weer van toetsing van TGG aan normeringskader.

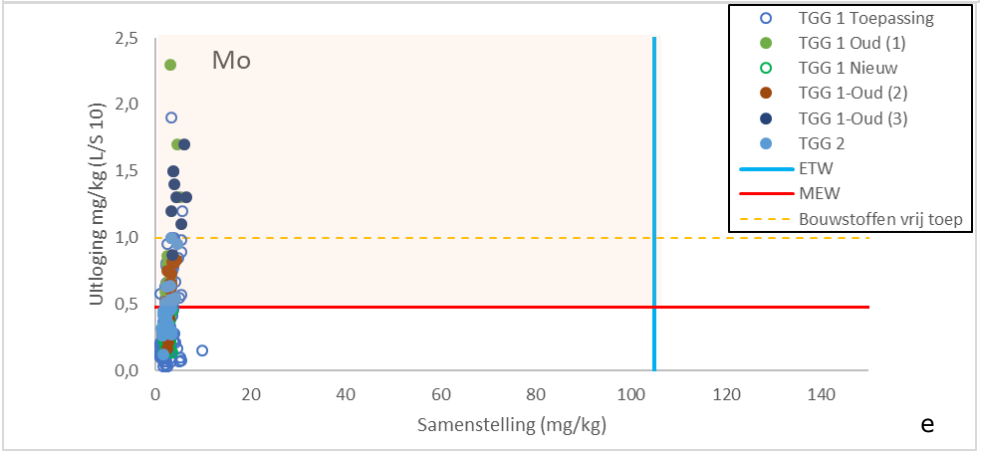
Uit de figuren 4.4 a t/m f valt op te maken dat de concentraties arseen voornamelijk in het groene kwadrant vallen. Hierdoor komt uitloging van arseen in kolomproeven overeen met de verwachting zoals voorspeld door te toetsen aan de ETW. Voor koper en zink valt het merendeel van de concentraties in het groene kwadrant maar ook in het paarse kwadrant. Hierdoor kan op basis van samenstelling uitloging worden verwacht, maar in de praktijk wordt er geen uitloging waargenomen. Voor de metalen antimoon, vanadium en molybdeen blijkt dat het gebruik van de ETW nauwelijks een voorspellende waarde heeft voor de uitloging van de metalen. Een groot deel van de concentraties valt in het rode kwadrant waardoor er geen uitloging wordt voorspeld, maar in de praktijk vindt er wel uitloging plaats tot boven de MEW_{grond}. Met andere woorden er vindt uitloging plaats tot boven de maximaal toegestane uitloging terwijl dit niet is verwacht.

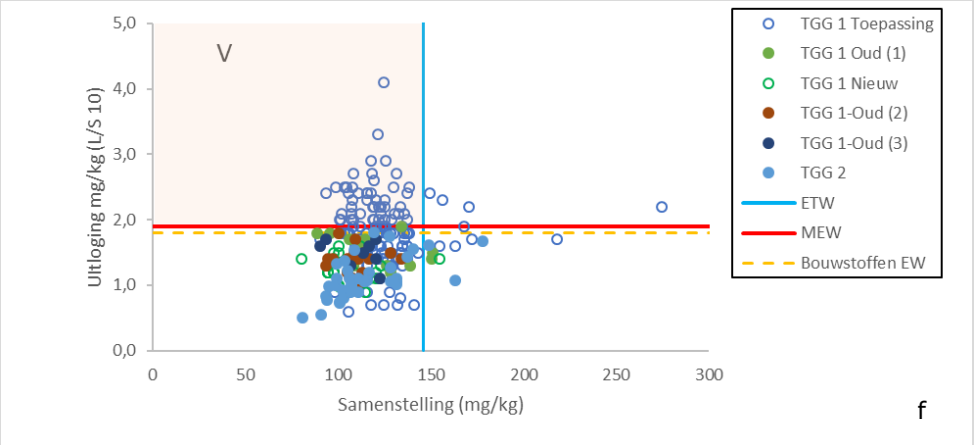





Zn
Uitloging mg/kg (L/S 10)
Samenstelling (mg/kg)
TGG 1 Toepassing
TGG 1 Oud (1)
TGG 1 Nieuw
TGG 1-Oud (2)
TGG 1-Oud (3)
TGG 2
ETW
MEW
Bouwstoffen vrij toep
c


Sb
Uitloging mg/kg (L/S 10)
Samenstelling (mg/kg)
TGG 1 Toepassing
TGG 1 Oud (1)
TGG 1 Nieuw
TGG 1-Oud (2)
TGG 1-Oud (3)
TGG 2
ETW
MEW
Bouwstoffen EW
d


Mo
Uitloging mg/kg (L/S 10)
Samenstelling (mg/kg)
TGG 1 Toepassing
TGG 1 Oud (1)
TGG 1 Nieuw
TGG 1-Oud (2)
TGG 1-Oud (3)
TGG 2
ETW
MEW
Bouwstoffen vrij toep
e



Figuur 4.4 a t/m f Samenstelling (x-as) versus uitloging (y-as) van een zestal metalen in TGG. a:arseen, b:koper, c:zink d:antimoon, e:molybdeen en f: vanadium.

De ETW geeft voor bepaalde metalen (in elke geval voor antimoon, molybdeen en vanadium) in TGG onvoldoende borging voor het voldoen aan eisen voor uitloging. TGG heeft, mede door de veel hogere pH, eigenschappen die niet van nature worden aangetroffen in Nederlandse bodems. Hierdoor gedragen sommige verontreinigen zich anders en vindt er bijvoorbeeld voor stoffen zoals antimoon en molybdeen weinig tot geen binding plaats aan de gronddeeltjes waardoor een versnelde uitloging van metalen uit TGG kan plaatsvinden. Hierbij kan verandering van de kristalstructuur en het lage gehalte organische stof door verhitting ook een rol spelen.

Samenvattend is de ETW gebaseerd op concentraties en eigenschappen van metalen in bodems die niet vergelijkbaar zijn met de eigenschappen en concentraties in TGG. De uitloging van metalen (tenminste antimoon, molybdeen en vanadium) in TGG kan niet voorspeld worden op basis van de toetsing aan de ETW. Deze verwachting dient wel als uitgangspunt voor de beoordeling en toepassing van de TGG. Daarnaast kent TGG een zwaardere metaal last dan een onbehandelde grond en er is dan ook geen sprake van schone grond. Gecombineerd met een verhoogde uitloging van antimoon, molybdeen en vanadium, de hoge pH van het percolaat, is beïnvloeding van het omliggende grond- en oppervlaktewater bij toepassing van TGG dan ook niet uit te sluiten op basis van de voorgeschreven toetsing. In hoeverre deze uitloging daadwerkelijk tot waarneembare effecten leidt, is afhankelijk van de lokale situatie en de aanwezigheid van receptoren zoals vee (met name molybdeen en vanadium), ecologische beschermingsdoelen of winningsgebieden voor drinkwater.

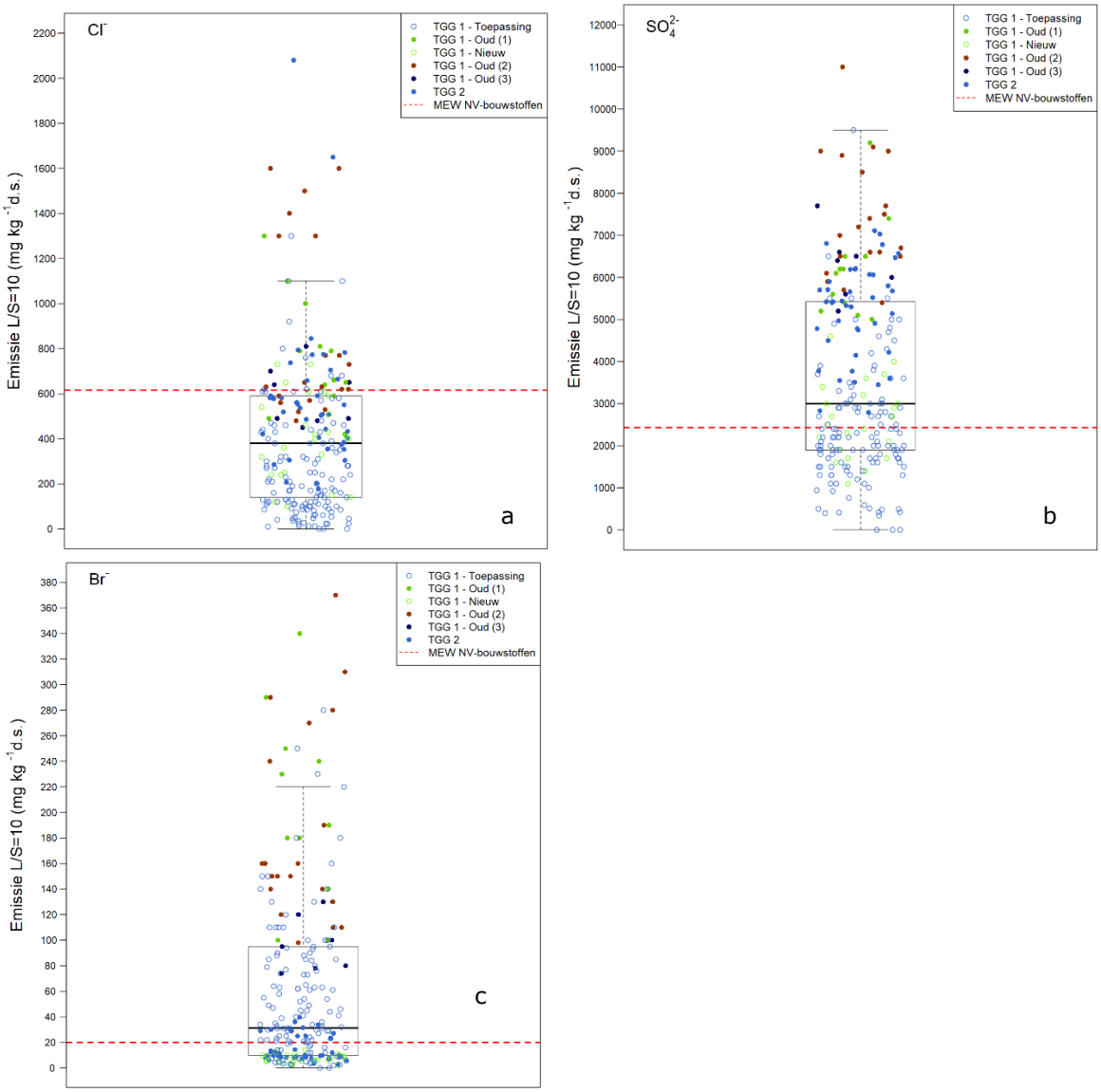
4.2.3 Uitloging zouten

Naast uitloging van metalen bevat TGG ook hoge concentraties zouten zoals chloride, bromide en sulfaat. In Figuren 4.5 a t/m c zijn de uitloogconcentraties voor chloride, sulfaat en bromide van de TGG in de depots weergegeven.

Voor zouten worden in het Bbk geen nadere eisen gesteld aan grond omdat dit zeer mobiele stoffen zijn en snel uitlogen naar grond- en/of

oppervlaktewater. In enkele praktijkcasussen is ook al gebleken dat er bij de toepassing van TGG sprake was van sterke uitloging van sulfaat, chloride en bromide uit de TGG en daardoor belasting van grond- en of oppervlaktewater (Brand et al. 2018; Van der Star et al. 2019, Römkens et al. 2019 en Brand et al. 2020). Ook de TGG in depots bevat hoge concentratie zouten. Ter vergelijking zijn in figuren 4.5 a t/m c de maximale emissiewaarden voor niet-vormgegeven bouwstoffen ($MEW_{bouwstoffen}$) opgenomen. De gemeten concentraties in TGG liggen ver boven deze waarden.

In de praktijk wordt bij gebrek aan MEW_{grond} voor chloride, sulfaat en bromide vaak teruggegrepen op de $MEW_{bouwstoffen}$. De parameterisatie en randvoorwaarden voor de afleiding van de $MEW_{bouwstoffen}$ wijken echter af van de parameterisatie en randvoorwaarden die ten grondslag liggen aan de MEW_{grond}. Zo is bij de afleiding van de $MEW_{bouwstoffen}$ een standaard toepassingshoogte van 0,5 meter gehanteerd, terwijl voor de MEW_{grond} een toepassingshoogte van 5 meter is gehanteerd. In de praktijk zorgt dit er dus voor dan het beschermingscriterium van beide normen niet gelijk is. Bij het bepalen of er sprake is van acceptabele risico’s is het belangrijk dit te realiseren.



Figuur 4.5 a t/m c uitloogconcentraties (mg kg^{-1} L/S10) Chloride (a), sulfaat (b) en bromide (c) uit TGG in depot. De rode lijn vertegenwoordigt de Maximale emissiewaarde voor niet-vormgegeven bouwstoffen.

Voor de mens zijn chloride, sulfaat en bromide veelal niet giftig. De US-EPA heeft een LOAEL[12] van 630 mg/l sulfaat afgeleid welke is gebaseerd op een onderzoek naar diarree bij peuters. De peuters kregen flesvoeding welke was aangemaakt met water dat een hoge sulfaatconcentratie bevatte (US-EPA, 1990). De laxerende werking is van korte duur en heeft verder geen nadelige gevolgen. Naast peuters kunnen ook andere risicogroepen (bijvoorbeeld ouderen of toeristen) een laxerende werking ervaren. Gezien dit effect, adviseert de WHO om sulfaatconcentraties in drinkwater boven de 500 mg/l te vermijden. Meestal zijn organoleptische (geur en smaak) of bedrijfstechnische argumenten een reden om deze zouten te normeren, bijvoorbeeld bij de inname van grond- of oppervlaktewater ter bereiding van drinkwater.

[12] Lowest Observed Adverse Effect Concentration

Ook voor planten en dieren leiden hoge concentraties zouten niet altijd direct tot schadelijk effecten behalve in het geval er sprake is van een zoet grond- en oppervlaktewatersysteem. In zoet grond- en oppervlaktewatersystemen zijn planten en dieren niet aangepast aan hoge concentraties zouten en kan er sprake zijn van schadelijke effecten. Voor sulfaat kan indicatief worden uitgegaan van een maximaal toelaatbaar risico (MTR_{eco}) in grondwater tussen de 10 en 100 mg/l. Het MTR_{eco} is het niveau waaronder nog geen schadelijke effecten zijn te verwachten als gevolg van directe toxiciteit. Voor chloride in zoetwatergebieden is in 2008 door Verbruggen et al. een MTR_{eco} afgeleid van 94 mg/l en ER_{eco} van 570 mg/l. Voor bromide zijn geen risicogrenzen bekend. In de vierde nota waterhuishouding (Ministerie van VWS, 1998) wordt een streefwaarde voor bromide genoemd van 0,3 mg/l maar de onderbouwing hiervan is onbekend. Daarnaast geeft een streefwaarde de grens aan tussen schoon en beïnvloed grondwater, waarbij er nog geen sprake is van effecten. Vanwege de hoge concentraties sulfaat en chloride die vrij kunnen komen bij toepassing van TGG zijn schadelijke effecten op planten en dieren in het zoete grond- en oppervlaktewater niet uitgesloten. In zoute grond- en oppervlaktewatersystemen is het ecosysteem aangepast aan hoge zout concentraties waardoor effecten beperkt zijn.

Daarnaast kan sulfaat ook secundaire effecten veroorzaken zoals de vorming van het toxische sulfide door afbraak van organische stof en eutrofiëring van oppervlaktewater (overmatige algenbloei). Hierdoor kunnen vissen sterven bijvoorbeeld als gevolg van zuurstofgebrek. Voor het optreden van beide processen zijn er wel enkele randvoorwaarden. Zo vindt de vorming van waterstofsulfide plaats bij de aanwezigheid van sulfaatreducerende bacteriën in een zuurstofarme omgeving. In het geval van interne eutrofiëring zal sulfaat onder anaerobe omstandigheden dienen als alternatieve elektronenacceptor voor de afbraak van organisch materiaal. Bij voldoende bicarbonaat, ontstaat een reactie waarbij sulfide samen met het aanwezige ijzer, ijzersulfiden (onder andere pyriet) vormt. Hiermee kan een groot deel van het aanwezige ijzer in de bodem worden gebonden. Dit ijzer speelt een rol in de binding van fosfaat in onder andere ijzerfosfaat ($FePO_4$). Daarnaast is een deel van het fosfaat gebonden aan ijzer(hydr)oxiden (FeOOH). Naarmate de sulfiden meer ijzer binden, zal de concentratie aan ijzer afnemen, waardoor fosfaat niet meer of slechts marginaal kan worden gebonden. Door de toename van fosfaat in het oppervlaktewater kan er overmatige algenbloei optreden, wat vervolgens voor zuurstofloze omstandigheden en sterfte van organismen kan zorgen. Interne eutrofiëring is een complex proces dat door verschillende factoren kan worden beïnvloed. Naast de aanwezigheid van sulfaat is de aanwezigheid van fosfaat en ijzer mede bepalend voor dit proces. Vanwege de complexiteit en lokale verschillen is het dan ook moeilijk een algemene concentratie af te leiden om te bepalen wanneer dit proces kan plaatsvinden. Interne eutrofiëring kan al optreden bij sulfaat concentraties tussen de 10-19 mg/l (Brand et al. 2008).

Naast ecologische effecten, kunnen zouten ook gevolgen hebben voor de landbouw en veehouderij. Voor de praktijkcasus Bunschoten is door Wageningen Environmental Research (WEnR) en RIVM een risicobeoordeling uitgevoerd naar de ecologische en landbouwkundige

risico's als gevolg van hoge zout concentraties in de sloot en het achterland naast de Westdijk waar TGG is toegepast (Römkens et al. 2019). Hieruit bleek dat er in het najaar, de winter en het vroege voorjaar sprake was van een verslechterde waterkwaliteit in de teensloot naast de dijk als gevolg van hoge concentraties bromide, chloride en sulfaat afkomstig uit TGG. De concentraties lagen boven de advieswaarden voor veedrenking waardoor uit voorzorg is geadviseerd om de teensloot gedurende het hele jaar niet te gebruiken voor veedrenking en irrigatie van het land.

Uit het bovenstaande blijkt dat door het ontbreken van kwaliteitseisen (normering) voor zouten in TGG een duurzame en veilige toepassing niet wordt gewaarborgd, met name in de gebieden met zoet oppervlaktewater. Daarom mogen oude voorraden TGG alleen nog worden toegepast in brakke en zoute grondwatergebieden (Ministerie van IenW, 2020).

4.3 Fysische en biologische eigenschappen van TGG

Een vitale bodem levert waardevolle ecosysteemdiensten. De bodem voorziet in onze maatschappelijke activiteiten bijvoorbeeld als, de drager van infrastructuur en gebouwen. We gebruiken de bodem als een productiefactor voor voedsel, voer, vezels en andere organische grondstoffen. Daarnaast vervult de bodem de randvoorwaarden voor de bovengrondse natuur en regulerende functies die de leefbaarheid van onze aarde bepalen, zoals klimaatmitigatie en -adaptatie en de biogeochemische kringlopen, zoals de koolstof-, stikstof- en zwavelkringloop. Ook is de bodem het reservoir van grondwater en het reinigend vermogen van de bodem zorgt dat dit beschermd wordt tegen verontreinigingen. Verder heeft de bodem door haar structuur een belangrijke rol bij de waterberging, waardoor bijvoorbeeld overstromingen door zware regenval kunnen worden voorkomen en plantenwortels worden voorzien van water. De bodem is zelf ook een ecosysteem, waarin veel organismen leven, die aan de basis van alle gewenste bodemfuncties staan, en ons in de toekomst kunnen voorzien van onbekend en onontgonnen genetisch materiaal (Rutgers & Dirven-van Breemen, 2012).

Volgens de Wbb mogen de bovenstaande functionele eigenschappen van de bodem niet verminderd of bedreigd te worden bij het gebruik van de bodem. Door hergebruik van grond op of in de bodem wordt het daarmee een integraal onderdeel van die bodem die meerdere functies moet kunnen vervullen. Een goede kwaliteit grond heeft naast een goede chemische kwaliteit ook een goede fysische en goede biologische kwaliteit.

Hoewel TGG deels uit gereinigde grond bestaat, wijkt TGG op de volgende kritische punten af van natuurlijke grond. Hierdoor kan het een groot deel van de hiervoor beschreven functionele eigenschappen (ecosysteemdiensten) niet vervullen en heeft het soms zelfs een schadelijk effect op de kwaliteit van de ontvangen de bodem en het grondwater:

- TGG heeft een (initieel) hoge pH van ± 9-11,5, terwijl de grond in Nederland een reguliere pH heeft van ± 2,8-8,5 (Mol et al.

2012; Rutgers et al. 2007). De effecten van een dergelijk hoge pH op het bodemleven kunnen schadelijk zijn omdat de meeste organismen bij neutrale pH voorkomen en daarom deze hoge pH niet overleven. Ook het gedrag van mineralen en zouten (de uitloging) verandert sterk door een dergelijk hoge pH waardoor deze een ander uitlooggedrag vertonen dan een bodem bij een pH van rond de 6,5. Als de pH ook het naastgelegen grond- en oppervlaktewater beïnvloed kan dit in landbouwgebieden bijvoorbeeld nadelige effecten hebben op de waterkwaliteit zodat drenking van vee (rund, kalf en paard) moet worden ontraden (Römkens et al. 2019);

- Tijdens de verwerking van TGG gedraagt het zich in eerste instantie hydrofoob (waterafstotend) en in droge conditie verstuift TGG snel (Brand et al. 2018). Nadat TGG (onder druk) is verwerkt en enige tijd heeft gelegen werkt het materiaal juist hygroscopisch (water aantrekkend). Hierdoor bestaat de kans tot verkitting (verkleving) en hard worden.
- Door het vrijwel ontbreken van organische stof is de binding van stoffen (zoals water, voedingsstoffen en verontreinigingen) verminderd.
- TGG bevat geen bodemleven zoals schimmels, bacteriën en andere bodemorganismen terwijl een vitale bodem een volwaardig ecosysteem is met een zeer rijk bodemleven.
- Door de thermische reiniging is de kristalstructuur van de minerale bodemdeeltjes (zoals klei) in de TGG veranderd waardoor deze afwijkt van de deeltjes in natuurlijke onbehandelde grond, ook dit draagt bij aan een verminderde binding van stoffen en een versnelde uitloging van stoffen uit TGG.
- TGG bevat ten opzichte van onbehandelde grond hogere concentraties kalk, sulfaat, chloride en bromide dan natuurlijke grond.
- De afwijkende structuur van TGG, de neiging tot verkleving, de hoge concentraties zouten, de hoge pH en het lage organische stofgehalte beperken de kolonisatie van de TGG door organismen. Studies tonen aan dat organismen (zowel planten als bodemleven) de grond mijden en dat onbehandelde TGG ook na jaren nog geen onderdeel vormde van de omliggende bodem en het zich daarin bevindende ecosysteem (Kappers, 1990; Tamis, 1988; van Gestel, 1992 en Tamis, 1993). Slechts één studie vermelde enige vorm van herstel na toevoeging van organisch stof en een verdere veroudering van de TGG in het veld (in de studie tot 7 jaar) (Tamis, 1993). Zolang de TGG niet gekoloniseerd wordt, kan deze geen onderdeel vormen van de omliggende bodem ecosysteem.
- De initieel hoge pH als gevolg van de mineralogische samenstelling heeft TGG gemeen met industriële reststoffen die eveneens bij hoge temperatuur zijn gevormd zoals staalslakken (pH 12-13), AEC bodemas (pH 11-12) en betongranulaten uit bouw- en sloopafval (pH 12) (Dijkstra et al. 2019). Deze materialen worden in Nederland toegepast als bouwstof met een daarbij behorend normeringskader.

Vanwege de beschreven eigenschappen is bij het gebruik van TGG de beïnvloeding van de omliggende bodem, grondwater en oppervlaktewater te verwachten. Bij toepassing van TGG wordt dan ook aanbevolen om niet alleen rekening te houden met de chemische kwaliteit, maar ook een afweging te maken van de invloed van de fysische en biologische eigenschappen van TGG op het omringende gebied.

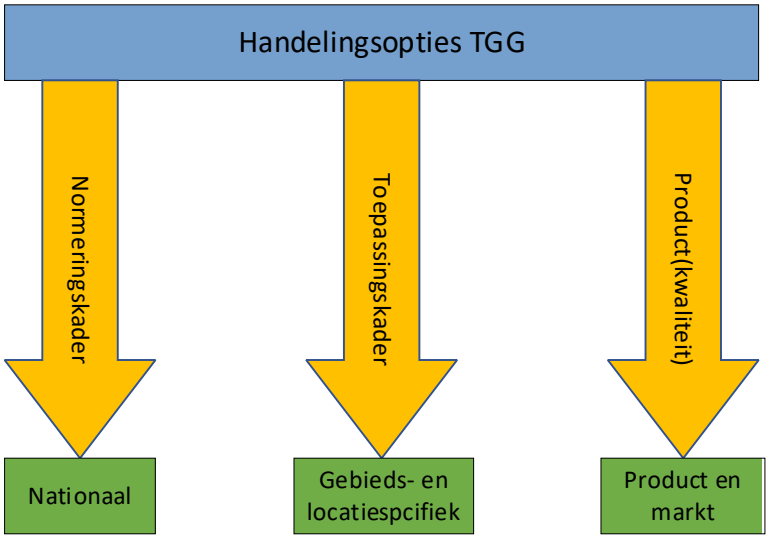
5 Verkenning van handelingsopties voor de toepassing van TGG

Om te kunnen beslissen of TGG duurzaam en veilig (voor mens, plant en dier) kan worden toegepast worden in dit hoofdstuk opties voor afweging, toetsing en besluitvorming gepresenteerd. Tezamen vormen deze opties een aanzet voor een toepassingskader op basis waarvan beslissingen kunnen worden genomen met betrekking tot de toepassing van TGG voor uiteenlopende situaties. Het toepassingskader TGG wordt daarmee een samenstel van criteria, normen en regels. De verschillende opties kunnen worden ingedeeld naar:

1. aanpassingen binnen het bestaande normeringskader;
2. aanpassingen in het toepassingskader;
3. kwaliteitsverbetering van het product.

In figuur 5.1 is dit schematisch weergegeven. Afhankelijk van de mogelijke opties van het kader zijn verschillende partijen aan te wijzen die verbeteringen (aanpassingen) kunnen doorvoeren.

In de volgende paragrafen worden diverse handelingsopties voor TGG verkend. Hierbij zijn in eerste instantie handelingsopties binnen de bestaande hergebruikskaders onderzocht. Een eventuele aanpassing van het bestaande normenkader vraagt meer tijd en onderzoek.



Figuur 5.1 Schematische weergave van de drie kaders waarbinnen handelingsopties voor toepassing van TGG zijn verkend.

5.1 Normeringskader

5.1.1 Aanpassing ETW voor TGG

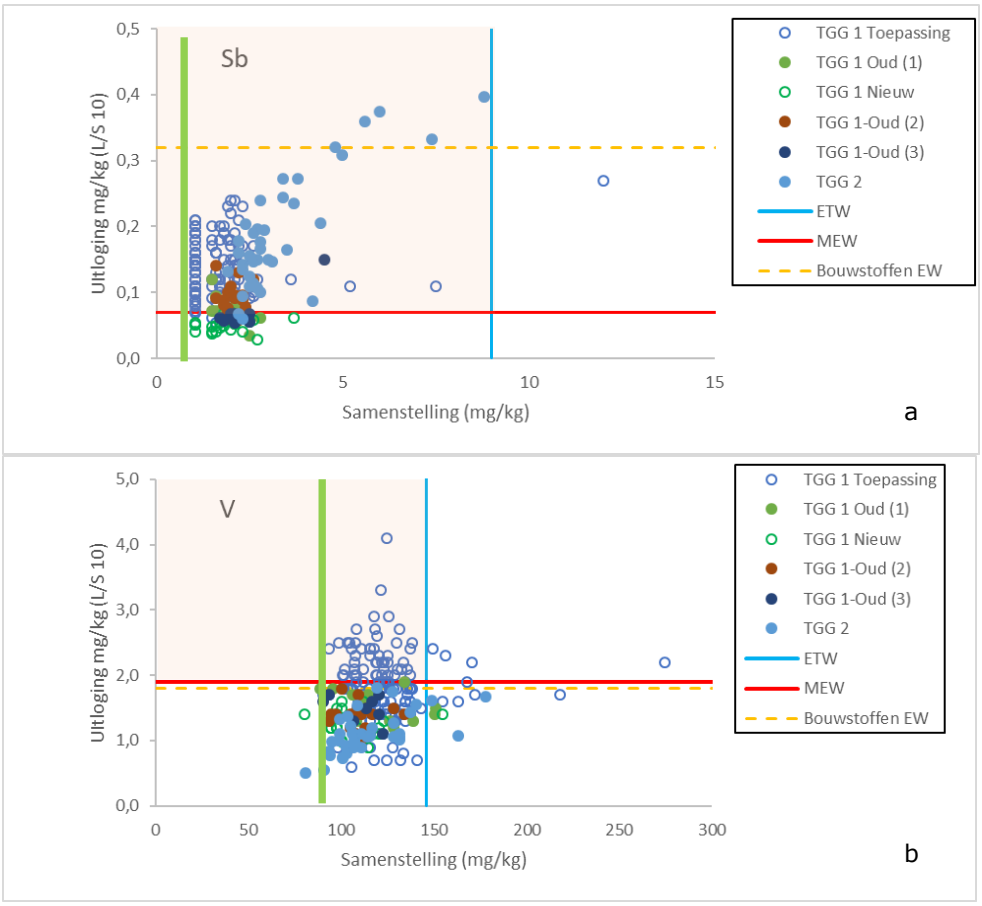
Ook als de TGG voldoet aan het normeringskader van het Bbk en de Rbk, blijkt er in de praktijk ongewenste uitloging op te treden voor enkele metalen en zouten. In hoofdstuk 3 en 4 is besproken dat deze ongewenste uitloging onder andere voortkomt uit de zogenoemde mismatch tussen de samenstellingsnormen uit het Bouwstoffenbesluit

(de 'tussenwaarde' tussen SW1 en SW2, resulterend in de emissietoetswaarden in de Rbk) versus de uitlogingsnormen uit de Rbk. Onderliggend probleem hierbij is dat voor veel stoffen de chemische samenstelling van TGG (zeer) zwak gerelateerd is aan de uitloging. Daarnaast heeft TGG afwijkende eigenschappen ten opzichte van natuurlijk grond waardoor metalen zich anders gedragen.

Eén van de onderzochte handelingsopties is een verlaging van de ETW voor verontreinigingen in TGG. Hoewel dit de inconsistentie tussen samenstellingsnormen en uitlogingswaarden niet verandert is het een redelijk eenvoudige aanpassing waardoor de huidige werkwijze kan worden behouden en de onderzoekslast bij hergebruik van TGG gelijk blijft.

Om te bepalen welke verlaging van de ETW zou leiden tot een gewenste beperking van de uitloging en daarmee de bescherming van het grondwater is gebruik gemaakt van de Figuren 4.4 a t/m f en in bijlage 1. Hieruit kan worden afgelezen welke ETW op basis van de data van TGG in depot, tot de gewenste beperking zou leiden. Uit de grafieken van figuren blijkt echter dat een verlaging van de ETW voor TGG geen werkbare oplossing biedt voor het probleem. De ETW moet voor een aantal metalen (voornamelijk antimoon, vanadium en molybdeen) namelijk dusdanig omlaag, dat er bij gehaltes die voorkomen in de praktijk altijd sprake zou zijn van een verplicht uitloogonderzoek. Het vooraf toetsen van de samenstelling aan de ETW zou dan geen toegevoegde waarde meer hebben ten opzichte van de uitloogproef. Dit principe is geïllustreerd in Figuur 5.2 voor antimoon en vanadium. De groene lijn geeft aan tot welke waarde de ETW moet worden verlaagd om bij uitlogingsproeven de maximale emissiewaarde niet te overschrijden. Hierbij ligt de bulk van de samenstellingsmetingen van antimoon en vanadium in TGG boven de nieuwe waarde en is uitloogonderzoek noodzakelijk.

Het uitvoeren van een uitloogonderzoek geeft wel uitsluitsel over de mate van uitloging van metalen. Als gevolg hiervan neemt de onderzoekslast voor de toepassing van TGG toe (en ook de kosten en tijd benodigd hiervoor). Bovendien zal een kwaliteitsverbetering van TGG voor de metalen antimoon, vanadium en molybdeen noodzakelijk zijn omdat uit eerder onderzoek door Nieuwenhuis en Lame (2006b) en uit de grafieken van Figuren 4.4 d t/m f blijkt dat deze metalen de maximale emissiewaarden voor toepassing van grond in GBT's nog vaak overschrijden.



Figuur 5.2 illustratie van de benodigde verlaging (verticale groene lijn) van de ETW voor antimoon (a) en vanadium(b) (groen lijn) om ongewenste uitloging boven de MEW_{grond} te voorkomen.

5.1.2 *Toetsing aan maximale emissiewaarden voor bouwstoffen*

Een in de praktijk veel geopperd alternatief voor de huidige toetsing van TGG is de toetsing aan de maximale emissiewaarden voor niet-vormgegeven bouwstoffen ($MEW_{bouwstoffen}$). De voornaamste reden hiervoor zijn de afwijkende eigenschappen van TGG versus onbehandelde grond.

Uit de Figuren 4.4 a t/m f en 4.5 a t/m c blijkt dat een toetsing aan $MEW_{bouwstoffen}$ niet zondermeer een oplossing geeft voor de uitlogingsproblematiek van TGG. De uitloogconcentraties voor met name vanadium, bromide en sulfaat en in mindere mate antimoon, molybdeen en chloride zijn regelmatig hoger dan de maximale emissiewaarden voor niet-vormgegeven bouwstoffen. Bovendien is het belangrijk om te realiseren dat bij de totstandkoming van de $MEW_{bouwstoffen}$ deels andere uitgangspunten gehanteerd zijn dan de MEW_{grond}. Zo is de gehanteerde toepassingshoogte bij afleiding van de emissiewaarden voor bouwstoffen gelijkgesteld aan 0,5 meter terwijl deze voor grond op 5 meter is gesteld. Hierdoor is het uiteindelijke beschermingsniveau dus anders voor grond en bouwstoffen.

Daarnaast is er de laatste jaren veel aandacht voor nieuwe vormen van hergebruik van grond, bouw- en reststoffen (tezamen secundaire

grondstoffen) die in- of op de bodem worden toegepast. Deze producten voldoen weliswaar aan de normen uit de Rbk, maar het is de vraag of dit normenkader en de uitgangspunten om de $MEW_{bouwstoffen}$ te bepalen is toegerust om de variatie in materialen te kunnen beoordelen. Een belangrijke gemene deler die de secundaire grondstoffen en TGG hebben, is de hoge pH, die op zichzelf maar ook in de context van verhoogde uitloging een invloed kan hebben op het omliggende milieu. Hieruit volgen toenemende vragen van (lokale) overheden, ontwikkelaars en grondroerders die terug te voeren zijn op een prudente en haalbare invulling van de zorgplicht.

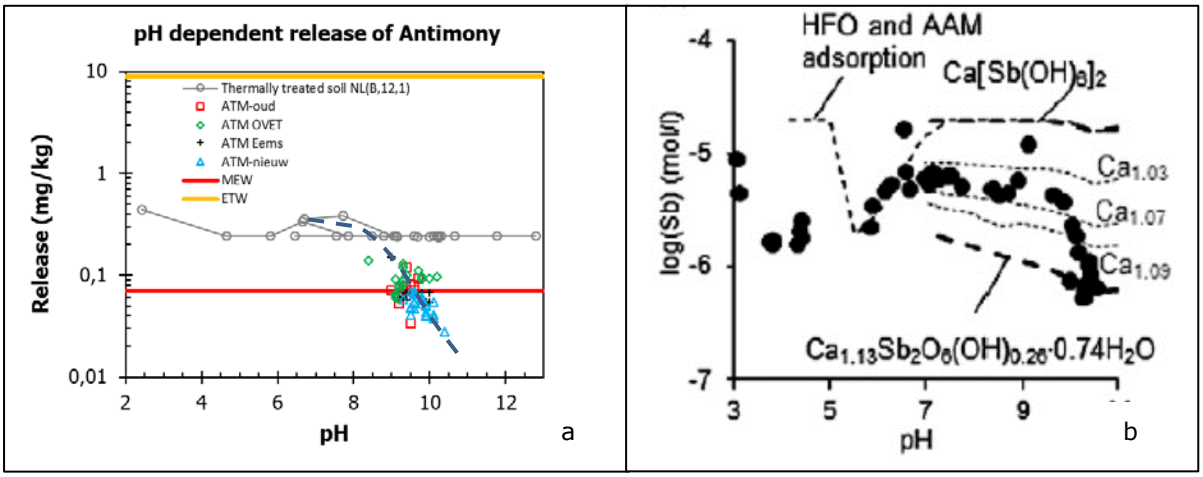
De aandacht voor diverse reststromen, grond en bouwstoffen leiden tot de noodzaak om de kennis van uitloging en effecten te verstevigen. Het RIVM vindt het wenselijk om hier in een breder kader de komende jaren structureel aan verder te werken alvorens TGG generiek te toetsen aan de $MEW_{bouwstoffen}$.

5.1.3 Uitloging en relatie met pH in normstelling

pH is meermaals aangemerkt als één van de kwaliteitsbepalende factoren voor TGG. Naast dat de pH zelf een effect kan hebben op de omgeving en het bodemleven waar TGG wordt toegepast, heeft pH ook effect op de mate van uitloging van metalen. Metalen kunnen in verschillende vormen voorkomen in de bodem bijvoorbeeld als anionen (negatief geladen, zoals antimoon, molybdeen en vanadium), of kationen (positief geladen, zoals cadmium, koper en zink). De mobiliteit van metalen is mede afhankelijk van de pH. Naarmate de pH van een materiaal verandert, kan de mobiliteit van een metalen toenemen of afnemen. Daarnaast reageren niet alle metalen op dezelfde wijze op een pH verandering. Zo kan het ene metaal juist mobieler worden als de pH daalt, terwijl een ander metaal juist minder mobiel wordt (Dijkstra et al. 2009).

In de Figuren 5.3a en b is een eerste verkenning van de invloed van de pH weergeven op de uitloogconcentraties van antimoon in TGG zoals deze zijn aangetroffen in de depots. De grijze datapunten verbonden door lijnen in beide figuren zijn afkomstig van TGG die is gebruikt bij de aanleg van de Hoge snelheidslijn (HSL) (beschikbaar uit geanonimiseerde data TNO). Deze datapunten zijn opgenomen om de relatie met veroudering van de TGG te illustreren. Naarmate de TGG veroudert neemt de pH af van de begin-pH van ongeveer 12 naar een verwachtte eindwaarde van ongeveer 8. Die pH-verandering en eind-pH van ongeveer 8 is ook karakteristiek voor de veroudering van alkalische reststoffen (Dijkstra et al. 2019 en referenties daarin) zoals staalslakken. De uitloging van antimoon lijkt op basis van de beschikbare data eerst toe te nemen naarmate de pH daalt van pH 12 tot ongeveer pH 8 (Figuur 5.3a). Bij pH 8 is de uitloging van antimoon op het maximum. Hierna neemt de uitloging af tot een pH van ongeveer 4. Bij een lagere pH neemt de uitloging weer toe. Het is dus mogelijk dat TGG die bij aflevering voldoet aan de normstelling voor uitloging, na een eerste initiële veroudering tot een pH 8 alsnog de MEW_{grond} kan gaan overschrijden. Dit geldt ook voor andere metalen (kat- en anionen) die verschillend reageren op de verandering van pH.

Het pH-afhankelijke uitlooggedrag van antimoon in TGG (Figuur 5.3a) lijkt een duidelijk ander patroon te volgen dan in onbehandelde verontreinigde grond (Dijkstra et al. 2009) en is meer vergelijkbaar met dat in een AEC bodemas welke als bouwstof wordt toegepast (Cornelis et al. 2012, Figuur 5.3b). Voor AEC-bodemas wordt verondersteld dat antimoon bij hoge temperatuur en in aanwezigheid van CaO versneld van oxidatietoestand verandert van het relatief immobiele antimoon-III naar het zeer goed uitloogbare antimoon-V (Cornelis et al. 2008; Cornelis et al. 2012). Tussen pH 10 en 12 pH wordt het vastleggingsproces van antimoon-V bepaald door cementmineralen, die oplossen bij veroudering door reactie met koolzuurgas (Cornelis et al. 2012). Nader onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre deze reacties van antimoon bij thermische reiniging van grond eveneens een rol spelen en/of dat de mobiele vorm van antimoon (ook) afkomstig kan zijn uit het vliegas dat als vulstof in TAG in TGG terecht is gekomen (zie hoofdstuk 2).



Figuur 5.3a relatie tussen uitloging antimoon versus de pH van TGG. Data verbonden door de grijze lijnen betreffen TGG data van pH-afhankelijke proeven (data afkomstig van metingen bij aanleg hoge snelheidslijn, geanonimiseerde data TNO) en worden begrensd door de toenmalige hoge detectielimiet. De overige data betreffen TGG kolomproefresultaten (bij dezelfde L/S verhouding) uit depots van reinigers (verificatie onderzoek 2019). De donkerblauwe onderbroken lijn is indicatief voor de trend.
Figuur 5.3b pH afhankelijk uitlooggedrag van antimoon in AEC Bodemas (Cornelis et al., 2012). Het pH – afhankelijke patroon is vergelijkbaar als in TGG, de concentratieniveaus in AEC bodemas van Cornelis et al. (2012) zijn omgerekend hoger dan in TGG.

Naast TGG is bekend dat ook in bepaalde bouwstoffen zoals staalslakken eenzelfde relatie met pH kan worden waargenomen. Er is in het verleden reeds onderzoek gedaan naar de invloed van pH op uitloging van diverse metalen. Het wordt aanbevolen om de wetenschappelijke kennis over relatie tussen uitloging van metalen en pH in een breder perspectief te inventariseren met als doel om deze relatie in normstelling voor TGG en andere bouwstoffen te kunnen verwerken. Hierdoor wordt een betere relatie verwacht tussen samenstelling enerzijds en uitloging anderzijds.

5.1.4 Niet genormeerde stoffen

Voor de zouten chloride, sulfaat en bromide worden er in het Bbk geen verdere eisen of normen gesteld voor TGG. Ervaringen uit de praktijk tonen aan dat de uitloging van deze zouten wel tot knelpunten kan leiden bij toepassing van TGG. Zouten zijn in het algemeen erg mobiel en spoelen daarom gemakkelijk uit naar grondwater en oppervlaktewater met in meer of mindere mate schadelijke effecten op de waterkwaliteit en ecologie. De mate van schadelijkheid wordt sterk bepaald door de wijze van toepassing, locatie, bodemgebruiksfunctie en hydrologische situatie. Dit is met algemene regels of met een generieke norm niet te beoordelen.

Bij het afleiden van de MEW_{grond} voor metalen (volgens de systematiek beschreven in Verschoor et al. 2006, maar specifiek voor het GBT scenario met een toepassingshoogte van 5 meter) zijn tegelijk ook maximale emissiewaarden voor de zouten chloride, bromide en sulfaat afgeleid volgens dezelfde methodiek als voor de metalen. Deze waarden zijn niet overgenomen in beleid en ook niet gerapporteerd maar konden voor dit onderzoek wel achterhaald worden uit persoonlijke dossiers. De waarden zijn respectievelijk 16 mg/kg (L/S10) voor bromide, 320 mg/kg (L/S10) voor chloride en 337 mg/kg (L/S10) voor sulfaat voor situaties met zoet grondwater (projectdossier van Dhr. Dijkstra (TNO) en Dhr. Comans (WUR) beide voormalig onderdeel van ECN en betrokken bij de totstandkoming van de maximale emissiewaarden van grootschalige bodemtoepassingen).

In 2006(b) hebben Nieuwehuis en Lamé reeds onderzocht wat het effect zou zijn van toetsing van TGG aan deze emissiewaarden. Hierbij werd geconcludeerd dat onder andere voor antimoon, vanadium, sulfaat en fluoride het hergebruik van TGG wezenlijk zou worden ingeperkt. Als deze voorstellen worden vergeleken met de uitloging van de zouten zoals weergegeven in Figuren 4.5 a t/m c dan blijkt dat ook bij de huidige kwaliteit TGG bijna alle uitloogconcentraties boven deze voorstellen liggen. Bij een eventuele invoering van deze waarden, zou een gelijktijdige kwaliteitsverbetering van de TGG dus noodzakelijk zijn. Ook wordt bij een eventueel gebruik van deze voorstellen nog geen rekening gehouden met lokale condities. Het is aannemelijk dat een hogere emissie van zouten acceptabel is in het geval van brakke en zoute grondwatersystemen. Het stellen van een landelijke en generieke norm voor zouten in TGG wordt daarom afgeraden. In paragraaf 5.3 wordt een eerste aanzet voor lokaal toepassingskader voor het hergebruik van grondstromen met een hoge zoutlast verkend.

5.2 Toepassingskader voor secundaire grondstoffen

5.2.1 Ladder voor toepassing van een secundaire grondstof

Om de vraag naar primaire grondstoffen te verminderen en het storten van verontreinigde grond te beperken wordt het op verantwoorde wijze opnieuw gebruiken van grond, bouw en reststoffen gestimuleerd. Vanwege de afwijkende eigenschappen die deze producten soms hebben (zoals pH, weinig of geen organische stof), is er voor toepassing in of op de bodem naast de beoordeling van chemische kwaliteit ook behoefte aan een handelingsperspectief waarbij rekening wordt gehouden met de fysische en biologische kenmerken van deze materialen en de wijze van

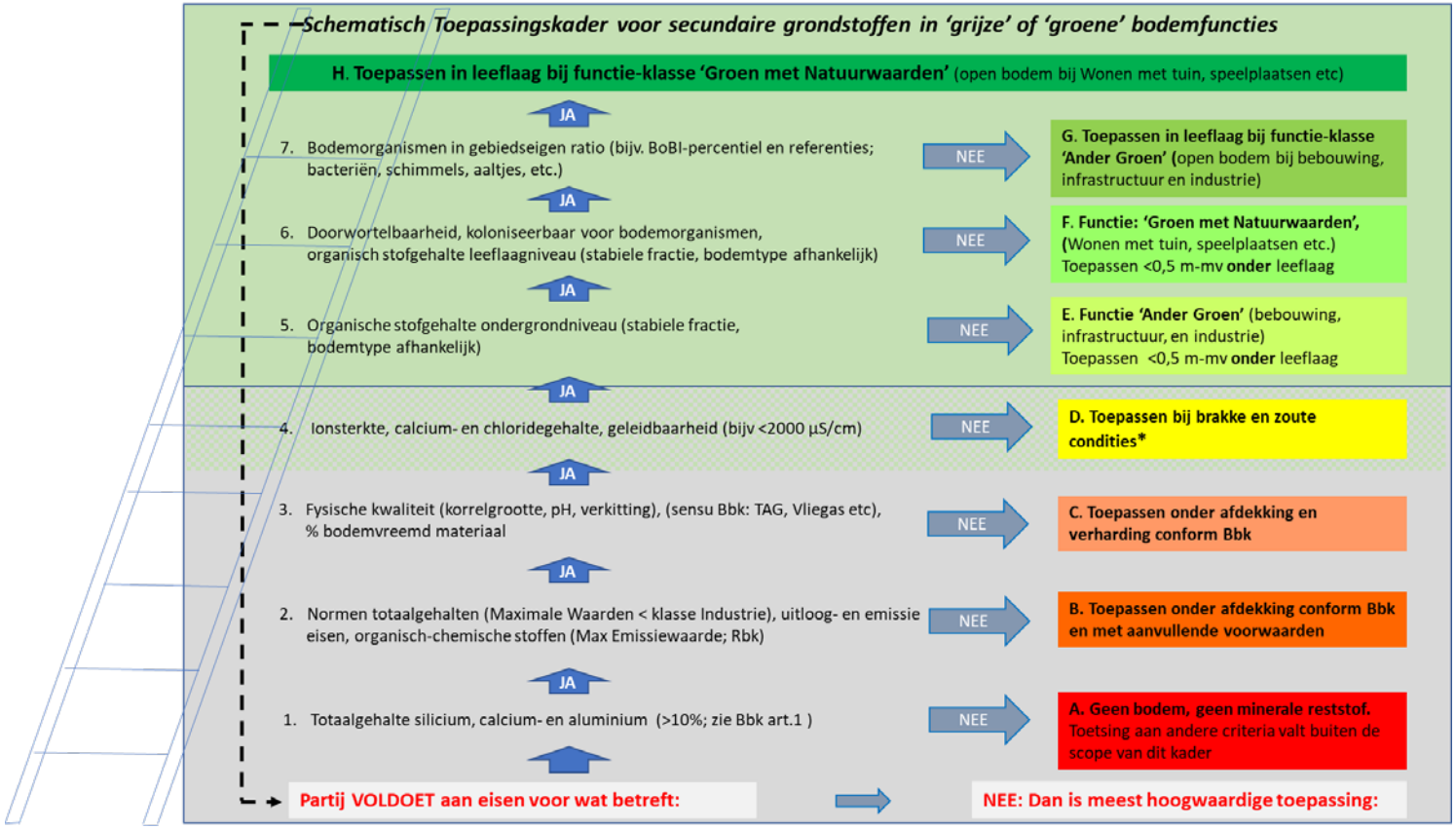
toepassing. In deze paragraaf wordt daarom een aanzet (prototype) voor een 'toepassingskader' gegeven waarin rekening wordt gehouden met de fysische en biologische kenmerken van het materiaal enerzijds en de ontvangende bodem, functie, locatie et cetera anderzijds. Hiermee kan een locatiespecifieke afweging worden gemaakt voor de toepassing van het materiaal.

De problematiek rondom het hergebruik van TGG vormde de aanleiding om een verkenning te doen naar een opzet voor een toepassingskader. Zoals eerder in paragraaf 1.2 is benoemd, spelen dezelfde vragen ook bij andere hergebruiksmaterialen zoals staalslakken en bodem-assen. In deze paragraaf wordt daarom de neutrale term 'secundaire grondstof' gebruikt om discussies te vermijden over de beleidsmatige status van het materiaal zoals grond of bouwstof.

Het toepassingskader is nog in ontwikkeling en is met name bedoeld om de gedachtenvorming en discussie rondom het duurzaam hergebruik van secundaire grondstoffen te stimuleren. Het prototype kan worden verbeterd en aangevuld bij het beschikbaar komen van praktijkervaring, nieuwe inzichten, meer gegevens en duidelijk omschreven toepassingen. Daarom is het wenselijk om in een vervolgfase het toetsingskader verder uit te werken en ook de inbreng van decentrale overheden mee te nemen.

Artikel 1 in de Wbb en artikel 1 in het Bbk bieden een kader om de kenmerken van grond en bodem te definiëren, op een zodanige wijze dat deze voldoet aan de eisen van een vitale bodem die in staat is om ecologisch te functioneren. Hier wordt onder verstaan dat de bodem een habitat is voor planten, dieren en micro-organismen, die gezamenlijk en in interactie met hun abiotische omgeving een ecosysteem in stand houden. In de huidige praktijk ligt de focus vaak eenzijdig op de risico's van verontreiniging, maar dat is slechts één van de aspecten die het functioneren van het ecosysteem in de weg kan staan. Ook andere eigenschappen zoals pH van de bodem en organische stof zijn essentieel.

Sommige secundaire grondstoffen vinden een weg naar bodemtoepassingen. In het verleden zijn hierbij problemen opgetreden die de vraag doet rijzen aan welke eisen deze grondstoffen moeten voldoen om geschikt te zijn voor een bodemtoepassing. Figuur 5.4 presenteert een ladder die gebruikt kan worden om stapsgewijs te toetsen of een secundaire grondstof aan criteria voldoet. Afhankelijk van de specifieke bodemtoepassing moet een bepaald niveau van bescherming van mens, plant, dier én een goed functionerend ecosysteem in een vitale bodem, geborgd zijn. De trapsgewijze aanpak maakt inzichtelijk bij welke bodemfunctie de secundaire grondstof maximaal hoogwaardig kan worden toegepast. Hierbij geldt dat hoe hoger op de ladder, hoe hoogwaardiger de toepassing.



Figuur 5.4 Eerste aanzet tot een afwegingsladder voor toepassing van een secundaire grondstof in of op de bodem. De criteria om een trede te stijgen zijn genummerd. De toepassingen zijn aangeduid van A tot en met H (de meest hoogwaardige toepassing).

* Toepassing D 'brakke en zoute condities' is uitgewerkt in een separate ladder (paragraaf 5.3).

De ladder stelt eisen aan de secundaire grondstof die afgestemd zijn op 'grijze' en 'groene' bodemfuncties. Bij de 'grijze functies' worden eisen gesteld aan de chemische samenstelling, structuur en het uitlooggedrag en worden er geen aanvullende specifieke ecologische eisen gesteld. Voor de 'groene' functies is het ecologisch functioneren wel een eis. Dan is bijvoorbeeld organische stof, goede pH en koloniseerbaarheid door het bodemleven als kenmerk nodig om een hoogwaardig habitat te realiseren.

Dit toepassingskader wordt niet geschikt geacht om secundaire grondstoffen te beoordelen voor een bodemtoepassing in natuurgebieden, omdat de ontwikkeling van natuur en natuurdoeltypen hoge eisen stelt aan de abiotische en biologische kenmerken en de relatie tot natuurdoelen. De natuurdoelen zijn als einddoel te divers om in een generiek beslisschema uit te werken.

5.2.1.1 Ontwerpcriteria

Het toepassingskader is samengesteld op basis van de uitgangspunten voor de bescherming van het ecosysteem, zoals deze benoemd zijn in de Wbb en uitgangspunten in het Bbk. Waar uitwerking van het beleid leidde tot inconsistenties, werd teruggegrepen naar de uitgangspunten hiervan (NOBO, 2008).

In het toepassingskader zijn drie beschermingsdoelen gehanteerd:

- bescherming van mens (Wbb: gezondheid),
  - Voor de bescherming van de mens (gezondheid) werd het huidige beschermingsniveau conform de regelgeving toegepast (Bbk).
- bescherming plant en dier voor stoffen (Wbb: ecosysteem)
  - Voor bescherming van het ecosysteem (plant en dier) tegen effecten van stoffen werden de huidige beschermingsniveaus conform regelgeving toegepast (Bbk; Dirven-Van Breemen et al. 2007; NOBO, 2008).
- Passend bij een ecosysteem beoogde bodemfunctie (bescherming ecosysteem; niet uitgewerkt wel benoemd in de Wbb).
  - De habitateisen voor groene functies werden geselecteerd op basis van belangrijke kenmerken voor het functioneren van het bodemecosysteem. Dit zijn pH, zoutgehalte, organisch stofgehalte, structuur, koloniseerbaarheid en aanwezigheid van bodemorganismen.

Voor de drie beschermingsdoelen zijn de volgende beschermingsniveaus gehanteerd:

- Beschermingsniveaus voor de mens volgens de huidige regelgeving (Bbk): het MTR_{humaan}.
- Ecologische beschermingsniveaus voor gehaltes van stoffen in de bodem volgens het Bbk en de Circulaire bodemsanering, zijnde: de Achtergrondwaarden (AW), Middenwaarden (HC20[13]) en het Ernstig risico ($ER_{eco,}$ HC50) (Dirven-Van Breemen et al. (2007) en NOBO 2008).
- Voor de habitat-bepalende bodemkenmerken (pH, organische stof, zoutgehalte, et cetera) worden voorstellen gedaan omdat

[13] Hazardous concentration

hiervoor geen wettelijke eisen zijn opgesteld. In dit stadium van het prototype wordt hier een beperkte getalsmatige uitwerking aan gegeven. Er is aangesloten bij de systematiek van bodemfuncties in het Bbk, en de Circulaire Bodemsanering door overkoepelende (groene) categorieën te formuleren. Deze hebben een aflopende gevoeligheid voor de sleutelkenmerken van het bodemecosysteem, namelijk 'gevoelig' (zoals natuur), een grote groep 'gemiddeld gevoelig' (bijvoorbeeld. 'Groen met natuurwaarden' zoals landbouw, tuin, volkstuin, recreatiegebied), en als laatste een groep 'matig gevoelig' ('Groen zonder natuurwaarden' zoals industrie en infrastructuur).

Daarnaast wordt de toepassing van secundaire grondstoffen, onderscheiden in de leeflaagtoepassing of in de ondergrond (dieper dan 0,5 m). De leeflaag bevat de grootste dichtheden organismen, de hoogste organische stof gehalten en is door de hoge biologische activiteit kwetsbaar. Daarnaast staat de leeflaag het meest direct in contact met bovengrondse onderdelen van het ecosysteem, inclusief de mens die een grote invloed heeft op de leeflaag. De ondergrond bevat in het geheel genomen vergelijkbare aantallen organismen, maar deze zijn in een (zeer) lage dichtheid aanwezig, waardoor verstoring minder makkelijk optreedt. Hierdoor worden de toepassingseisen die gesteld worden aan de secundaire grondstof in eerste instantie gedicteerd door de vraag of het een ondergrond of leeflaagtoepassing betreft en in tweede instantie pas of het geschikt is voor de functieklasse 'industrie en infrastructuur' of 'groen met natuurwaarden'.

De bodemfunctie 'natuur' valt in de hoogste gevoeligheidsklasse, maar werd uitgesloten voor toepassing van gebiedsvreemd materiaal op ecologische gronden, omdat deze functie de hoogste, en vaak zeer gebiedsspecifieke, eisen stelt aan de bodemkwaliteit. Een dermate specifieke invulling kan niet in een generiek kader worden gevat.

5.2.1.2 Korte omschrijvingen van de potentiele toepassingen

In de ladder zijn acht toepassingen geformuleerd, van A, de meest laagwaardige toepassing, tot en met H, de meest hoogwaardige denkbare toepassing voor een secundaire grondstof (de letters komen overeen met die in Figuur 5.4). De acht toepassingen worden hieronder kort omschreven: A tot en met D betreft de 'grijze' toepassingen, D tot en met H betreft de 'groene' toepassingen waaraan aanvullende eisen worden gesteld voor wat betreft het habitat van het specifieke ecosysteem. Toepassing D kan afhankelijk van de situatie, zowel in de 'grijze' als 'groene' categorie vallen.

De ingang tot de toetsingsladder is een secundaire grondstof waarvoor een optimale toepassing moet worden gevonden.

A. De eerste toepassing is de beoordeling of een secundaire grondstof al dan niet voldoet aan de basiskenmerken van een minerale stof, namelijk een minimum totaalgehalte aan silicium, calcium en aluminium (10%). Indien de grondstof hieraan niet voldoet valt de beoordeling buiten dit kader.
B. Toepassing onder afdekking of verharding in werken conform de voorwaarden uit het Bbk en met aanvullende voorwaarden zoals isoleren, beheersen en controleren, die onaanvaardbare

blootstelling van mens, plant en dier aan stoffen in het materiaal voorkómen. Bovendien moet het materiaal terugneembaar zijn.

C. Toepassing onder afdekking of verharding en in werken conform de voorwaarden uit het Bbk.
D. Toepassing bij brakke en zoute condities. Hieronder valt een waaier aan brakke of zoute toepassingen die verder niet worden uitgewerkt in dit prototype (zie ook paragraaf 5.3).
E. Toepassing in de **ondergrond** bij de ecologische functieklasse 'Ander Groen' zonder natuurwaarden. Dat is open bodem naast bebouwing, industrie en/of infrastructuur in de bodemfunctieklasse met een **matige gevoeligheid** voor ecologische risico's. De secundaire grondstof dient bedekt te worden met een leeflaag van minimaal 0,5 m dikte of meer, met bij voorkeur gebiedseigen grond.
F. Toepassing in de **ondergrond** bij de functieklasse 'Groen met natuurwaarden', met een **gemiddelde gevoeligheid**. Dit betreft de open bodem bij diverse bodemfuncties: wonen met tuin, sport- en recreatieterreinen en parken. De secundaire grondstof dient bedekt te worden met een leeflaag van 0,5 m dikte of meer, met bij voorkeur gebiedseigen grond.
G. **Leeflaagtoepassing** bij de functieklasse 'Ander Groen' zonder natuurwaarden. Dat is open bodem naast bebouwing, industrie en/of infrastructuur in de bodemfunctieklasse met een **matige gevoeligheid** voor ecologische risico's. De secundaire grondstof kan toegepast worden in de leeflaag, als de ontvangende bodem een vergelijkbare structuur heeft.
H. **Leeflaagtoepassing** bij de functieklasse 'Groen met natuurwaarden'. Dit betreft open bodem geschikt voor diverse bodemfuncties zoals wonen met tuin, sport- en recreatieterreinen en parken in de bodemfunctieklasse met een **gemiddelde gevoeligheid**. De secundaire grondstof kan toegepast worden in de leeflaag, als de ontvangende bodem een vergelijkbare structuur heeft. De functieklasse groen met natuurwaarden is afhankelijk van een 'gezonde bodem'. De eigenschappen hiervan variëren met het bodemtype (zand, klei, veen en löss) en het type natuurwaarden. Uit het voormalige Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit, en het meetprogramma met de Bodembiologische Indicator, zijn referentiebeelden afgeleid voor een goede ecologische bodemkwaliteit (Rutgers et al. 2007). Wanneer grond van elders wordt toegepast moet die vergelijkbaar zijn qua samenstelling met de lokale bodem.

5.2.1.3 Eisen die aan de secundaire grondstof gesteld worden voor een toepassing.

Hieronder worden de eisen die aan de secundaire grondstof gesteld worden voor een bepaalde toepassing kort omschreven. De opsomming komt overeen met die in Figuur 5.4.

1. In stap 1 wordt bepaald of het toe te passen materiaal geschikt is om als een minerale reststof in aanmerking te komen voor eventuele toepassing in of op de bodem, of in werken. Het criterium is een gesommeerd gehalte van minimaal 10% silicium, calcium en aluminium.
2. In deze stap wordt getoetst aan a) de chemische samenstelling, en b) andere chemische karakteristieken zoals uitloging. In deze

stap wordt aangesloten bij de bestaande formele beoordelingskaders zoals het Bbk.

a) De chemische samenstelling wordt getoetst aan (lokale) Maximale waarden uit de Rbk zodat de risico's voor mens, plant en dier voldoen aan gestelde beschermingsnvieaus. Van belang hierbij is dat de juiste Maximale waarden of Lokale maximale waarden bij de beoogde bodemfunctie worden toegepast respectievelijk wonen of industrie.
b) Een adequate toetsing van de mate van uitloging. Uit de eerdere analyse in deze rapportage blijkt dat toetsing aan de ETW voor TGG onvoldoende zekerheid biedt ten aanzien van het voorkómen van ongewenste uitloging. Daarom moet overwogen worden om aanvullend representatieve uitloogexperimenten te doen, dan wel het normeringskader te herzien om de uitloging van materiaal met een afwijkende pH of zoutgehalte adequaat te kunnen beoordelen. Voor een representatief onderzoek dient ook een toekomstige verandering in de pH of zoutlast gemodelleerd en experimenteel geverifieerd te worden.

Ten opzichte van de gangbare praktijk in het Bbk, biedt stap 2 uit het toepassingskader een extra gebruiksmogelijkheid voor grond en TGG waarvan de chemische samenstelling en/of uitloging boven respectievelijk de Maximale waarden en Maximale emissiewaarden liggen. Namelijk toepassing onder voorwaarden zoals aanvullende beheersmaatregelen. Welke voorwaarden dit zijn is afhankelijk van de secundaire grondstof en de locatie (locatiespecifieke eigenschappen en functie of gebruik) van toepassing. In de verdere ontwikkeling van het toepassingskader is het dan ook wenselijk om deze stap definitief vorm te geven samen met de decentrale en landelijke overheden. In dat geval moet namelijk ook een besluit worden genomen over in hoeverre het wenselijk is om voor secundaire grondstoffen een onderscheid te maken (voor wat betreft de beoordeling) tussen grond en bouwstoffen en de daarbij behorende normenkaders zoals we dat nu kennen vanuit de Rbk.

3. Deze stap is aanvullend op de chemische toetsing op basis van abiotische kenmerken van de reststof, zoals de zuurgraad, verkitting, verklevingsgedrag, compactie en andere waterregulerende kenmerken. Tevens wordt getoetst op de aanwezigheid van het aandeel bodemvreemd materiaal zoals plastic, steenslag en hout. Met uitzondering van het % bodemvreemd materiaal, bestaan voor toetsing in deze stap (nog) geen formele normen of criteria waaraan dient te worden voldaan. De criteria die in de ladder kunnen worden gehanteerd hebben geen formele status. Voor sommige eisen zijn eenvoudige indicatoren en meetmethoden beschikbaar, zoals de zuurgraad of gehalte bodemvreemd materiaal. Voor andere indicatoren zijn er modificaties van standaard protocollen nodig. In de verdere ontwikkeling van het toepassingskader is het wenselijk om deze stap definitief vorm te geven samen met de decentrale en landelijke overheden.
4. Deze stap toetst aan de zoutlast van het materiaal, omdat sommige secundaire grondstoffen hoge concentraties of grote hoeveelheden zout bevatten. Dit is via een simpele

geleidbaarheidsmeting aan representatieve monsters en volumegegevens van het materiaal te kwantificeren. Ook de ionensamenstelling is een geschikte indicator. De verdere toetsing voor de diverse brakke en zoute condities is niet uitgewerkt in dit prototype van de ladder, maar als zelfstandig toepassingskader zoals beschreven in paragraaf 5.3.

5. Deze stap betreft een toetsing aan een minimum organische stofgehalte, voor toepassing in de ondergrond. Organische stof is een sleutelkenmerk voor vitale (bodem)ecosystemen. Voor verschillende functies en voor toepassing in een leeflaag of in de ondergrond dienen specifieke criteria te worden gehanteerd. Op basis van daadwerkelijk gemeten organische stofgehalten in de Nederlandse bodem kunnen in een vervolg voorstellen worden gedaan.
6. Naast het organische stofgehalte is doorwortelbaarheid en koloniseerbaarheid van de secundaire grondstof voor planten en (bodem)dieren een factor om te toetsen. Er zijn testsystemen beschikbaar om dit te meten, maar toetscriteria moeten nog nader worden uitgewerkt.
7. Als laatste kan de reststof of secundaire grondstof getoetst worden op de aanwezigheid van bodemleven, de dichtheid en de diversiteit aan bodemorganismen. Er wordt voorlopig voorgesteld om de 5 percentiel van de Nederlandse bodem te nemen als een (niet formele) minimale waarde voor de dichtheid en diversiteit van het bodemleven. Voor regenwormen, potwormen, bacteriën, aaltjes en mijten en springstaarten zijn die gegevens bekend.

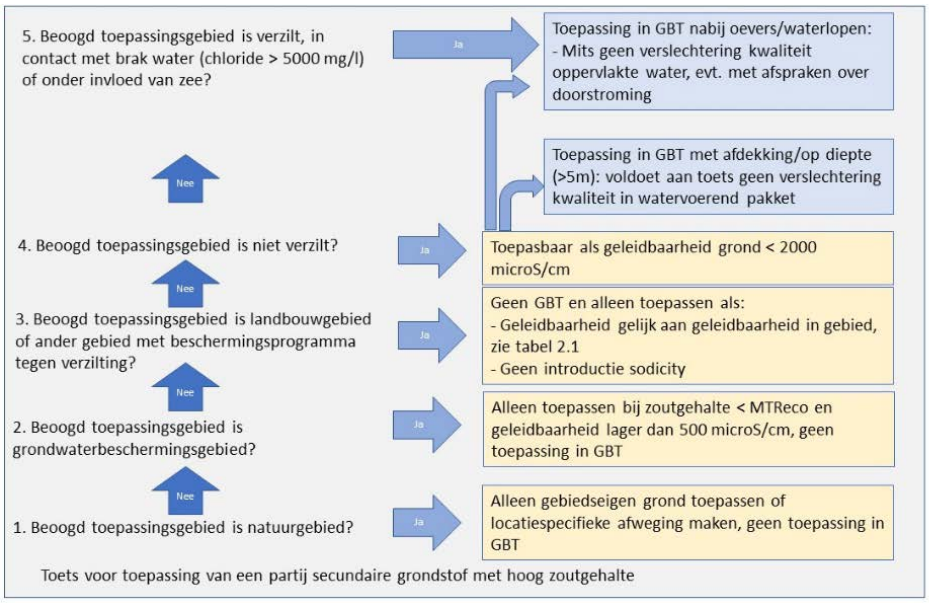
Als vervolgstap in de ontwikkeling van het toepassingskader wordt aanbevolen om toetscriteria van de ladder verder in te vullen en de ladder te testen op basis van praktijkervaring en voor de toepassing van diverse secundaire grondstoffen. Daarnaast is het wenselijk om ook de inbreng van decentrale overheden mee te nemen. In hoofdstuk 6 van deze rapportage wordt een vervolg nader toegelicht. Tenslotte is van belang om te onderzoeken welke incentives (of prikkels) er kunnen worden ontwikkeld voor de stimulering van hoogwaardige toepassingen.

5.3 Toepassingskader voor secundaire grondstoffen met hoge zoutlast

Voor de toepassing van secundaire grondstoffen met een hoog gehalte aan zouten geldt dat de hoge mobiliteit van zouten een nadere invulling van het toepassingskader vraagt. In figuur 5.5 is een eerste aanzet daarvoor. Figuur 5.5 zou als specifieke invulling van stap D van de afwegingsladder (figuur 5.4) kunnen dienen.

Het toepassingskader voor zouten is in de eerste plaats ontwikkeld voor secundaire grondstoffen met hoge concentraties chloride. Bij TGG en mogelijk ook bij andere secundaire grondstoffen is ook sulfaat van belang. Sulfaat is daarom in dit verband in de toetsing meegenomen op dezelfde manier als bij de toetsen voor chloride uitgaande van directe effecten als gevolg van verzilting. De afweging voor sulfaat is hierbij nog onvolledig omdat naast verzilting ook secundaire effecten van belang kunnen zijn zoals eutrofiering, sulfidevorming en effecten op vee (koper tekort als gevolg van effect sulfaat op metabolisme). Deze secundaire

effecten van sulfaat zijn in deze versie van de ladder nog niet verder uitgewerkt.



Figuur 5.5 eerste aanzet tot een geschematiseerde weergave van het toepassingskader voor secundaire grondstoffen met een hoge zoutlast.

In stap 1 wordt bepaald of de beoogde toepassing plaatsvindt in een natuurgebied. Zoals ook bij de toepassingskader voor secundaire grondstoffen is beschreven stelt de ontwikkeling van natuur en natuurdoeltypen hoge eisen aan de abiotische en biologische omgevingsfactoren. Daarom wordt voor een toepassing van secundaire grondstoffen in een natuurgebied geadviseerd een locatiespecifieke beoordeling uit te voeren waarbij expliciet rekening wordt gehouden met de natuurdoeltypen of alleen gebiedseigen grond toe te passen.

Als basis voor stap 2 in de zoutladder worden kunnen de volgende toetswaarden worden gehanteerd voor respectievelijk chloride en sulfaat:

Chloride:
- drinkwaterbereiding (bedrijfstechnische parameter) 150 mg/l;
- oppervlaktewater ten behoeve van drinkwaterbereiding 150mg/l;
- MTR_{eco} oppervlaktewater 200 mg/l.

Sulfaat:
- drinkwaterbereiding (organoleptische/esthetische prameters) 150 mg/l;
- oppervlaktewater ten behoeve van drinkwaterbereiding 100 mg/l;
- MTR_{eco} oppervlaktewater 100 mg/l.

Vooralsnog is het $MTR_{ecologie}$ als uitgangspunt aangehouden. Indien de secundaire grondstof wordt toegepast in of nabij een grondwaterbeschermingsgebied kan overwogen worden om de waarde voor drinkwaterbereiding te hanteren.

Om het effect van verzilting in te schatten (stap 2 en 3) is gebruik gemaakt van tabel 5.1 bij toepassing in landbouwgebied of een ander gebied met een beschermingsprogramma tegen verzilting. De mate van verzilting wordt bepaald op basis van de bijbehorende geleidbaarheid in microS/cm. Een mogelijk nevenprobleem bij verzilting is sodicity. Sodicity is een overmaat van natrium vergeleken met calcium en magnesium. Het probleem is daarbij dat een overmaat aan Na^+ ionen de Ca^{2+} ionen in het bodemcomplex verdringt met als gevolg verlies aan bodemstructuur en verslemping. Sodicity is te verhelpen met bekalking en laten uitregenen/uitloging van de zoutlast.

Tabel 5.1 Oogstreductie ten gevolge van niveaus van verzilting bij verschillende bodemtypen (Moebius-Clune et al. 2017).

Geleidbaarheid [µS/cm]*1	**Effect**	**Grof zand tot lemig zand**	**Lemige fijn zand tot leem**	**Siltig leem tot kleileem**	**Siltige kleileem tot klei**
Graad van verzilting	Oogst opbrengst	mediaan	mediaan	mediaan	mediaan
Niet verzilt	Verwaarloosbaar effect	550	600	650	700
Licht verzilte grond	Alleen oogstreductie van meest gevoelige gewassen	1800	2200	2000	1900
Matig verzilt	Oogstreductie voor de meeste gewassen	3500	4300	3800	3600
Sterk Verzilt	Alleen tolerante gewassen geven goede opbrengst	6700	8800	7600	7200
Zeer sterk verzilt	Alleen zeer tolerante gewassen geven goede opbrengst	>9000	>11500	>10100	>9500

In stap 4 is de generieke bovengrens voor toepassing in een gebied met zoet grondwater voorgesteld van 2000 µS/cm. Dit komt overeen met de geleidbaarheid in een licht verzilte grond.

In stappen 4 en 5 wordt toepassing in een GBT onder afdekking mogelijk gemaakt. De functie van een afdekking is voornamelijk om blootstelling van organismen in de bovenlaag van de bodem te voorkomen en om (door het waterbergend effect) het effectief infiltrerende regenwater in de lagen daaronder te verminderen.

Net als voor het toepassingskader voor secundaire grondstoffen wordt voor het toepassingskader voor zouten aanbevolen om de afwegingsladder (Figuur 5.5) te testen op basis van praktijkervaring voor diverse secundaire grondstoffen. Daarnaast is het wenselijk om de mogelijkheden voor een afweging van secundaire effecten als gevolg van hoge sulfaat concentraties verder te verkennen.

5.4 Verbetering productkwaliteit

In paragraaf 2.2.1 van deze rapportage zijn kwaliteit bepalende processen voor TGG geïdentificeerd. Samen met de geconstateerde knelpunten bij de toepassing van TGG zijn verschillende verbeteringsopties voor de productkwaliteit geïdentificeerd. Benadrukt wordt dat dit een eerste verkenning is en dat de technische- en economische haalbaarheid om nader onderzoek vraagt. In de paragraaf wordt daarom volstaan met een korte kwalitatieve beschouwing van de wenselijkheid en mogelijkheden van kwaliteitsverbetering en een maximaal hoogwaardige toepassing. Door de producenten wordt op dit moment (2021) gewerkt aan een verbeteringsslag waardoor mogelijk overlap bestaat met het hetgeen hieronder wordt voorgesteld.

5.4.1 Hoogwaardig hergebruik bestaand product

Het reinigen en hergebruik van licht verontreinigde grond heeft de voorkeur boven storten van grond. Hierdoor neemt de vraag en het gebruik van primaire grondstoffen zoals zand en grind af en wordt de afvaldruk naar de komende generaties verminderd.

Het Nederlandse beleid is er op gericht om de circulaire economie (kringloopeconomie) te stimuleren. Hoewel er meerdere definities van circulaire economie bestaan, is het gedeelde uitgangspunt:
Een economisch systeem van gesloten kringlopen waarin grondstoffen, onderdelen en producten hun waarde zo min mogelijk verliezen, hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt en systeemdenken centraal staat. Veel definities raken aan het sluiten van materiaalkringlopen zoals dit ook in een natuurlijk ecosysteem gebeurt. Afval en vervuiling zouden door slim ontwerp uitgebannen moeten worden, zodat producten en materialen in gebruik gehouden kunnen worden en een circulaire economie kan zelfs leiden tot het regenereren van natuurlijke systemen door nutriënten terug te geven aan bodem en ecosystemen (Ellen MacArthur Foundation, 2021; Het Groene Brein, 2021 en Corona et al. 2019).

De circulaire economie richt zich dus op het zo hoogwaardig mogelijk inzetten en hergebruiken van grondstoffen in de verschillende schakels van de productieketen. Hierbij geldt dat verbranding van producten bijvoorbeeld om energie te creëren vaak wordt beschouwd als een laagwaardig hergebruik. Ook het storten van bouwafval als verharding onder wegen kan worden beschouwd als hergebruik, maar van laagwaardige kwaliteit.

Dit geldt in zekere zin ook voor het hergebruik van TGG. TGG kan niet zonder meer worden beschouwd als restproduct van een productieproces. TGG is immers het eindproduct van een reinigingsproces met de intentie om grond weer herbruikbaar te maken ten opzichte van het beginproduct. Toch is ook voor TGG een kwaliteitsverbetering binnen de definities van een Circulaire Economie mogelijk wat tot een hoogwaardiger gebruik kan leiden en negatieve gevolgen van hergebruik kunnen worden ondervangen. Bijvoorbeeld door nabehandeling van het eindproduct waardoor het meer overeenkomsten krijgt met de kenmerken van natuurlijke onbehandelde gronden.

Hierbij valt de denken aan:

- Kunstmatige veroudering van TGG door (een combinatie van):
  - Carbonatatie: chemische reactie waarbij koolstofdioxide reageert met calciumhydroxide en calciumcarbonaat gevormd wordt wat leidt tot pH verlaging. Er zal dan onderzoek gedaan moeten worden naar het effect op de uitloging van enkele probleemmetalen zoals vanadium, antimoon en molybdeen.
  - Toevoegen hoogwaardige organische stof aan TGG.
  - Wassen van TGG: door stimuleren van uitloging van zouten en mobiele metalen is er mogelijk minder ongewenste uitloging bij toepassing. Dit principe wordt reeds toegepast bij AEC bodemassen.

Naast behandeling van het eindproduct kan ook fractionering van TGG in diverse bruikbare fracties de toepasbaarheid vergroten. Problematische fractiestromen (fracties met hoge concentraties metalen en de fijne fractie met vliegas) kunnen gescheiden worden van bijvoorbeeld de relatief schone fracties grind en zand. De resterende verontreinigde fractie is qua omvang kleiner en komt wellicht voor een verdere nabehandeling in aanmerking.

5.4.2 Transitie naar systeemdenken en nieuwe producten

Materialen verliezen vaak een deel van hun waarde wanneer zij worden gerecycled. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer verschillende soorten plastic worden vermengd, waardoor gebruiksmogelijkheden worden beperkt (RIVM, 2021). Ook TGG wordt gemengd met verschillende materiaalstromen die de kwaliteit van het eindproduct beïnvloeden en waardoor de gebruiksmogelijkheden kunnen afnemen.

Een tweede en wellicht nog belangrijker aspect dat binnen een circulaire economie centraal staat is het 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, of in het geval van TGG het reinigingsproces, staat het eindproduct centraal.

Voor TGG kan hierbij gedacht worden aan:

- Het bij voorkeur separaat reinigingen van verschillende materiaalstromen en in het bijzonder TAG, zodat individuele materiaalstromen een hoogwaardigere eindkwaliteit krijgen.

Indien het om procestechnische redenen toch gewenst is om verontreinigde grond en andere materiaalstromen (zoals TAG) gezamenlijk te reiniging:

- De bijmenging te optimaliseren tot het meest hoogwaardige eindproduct, ofwel bijmenging van andere materiaalstromen beperken tot een minimum.
- Alleen materiaalstromen te mengen van vergelijkbare chemische en fysische kwaliteit.
- De blootstellingsduur, belading, menging en temperatuurscontrole van het reinigingsproces verbeteren,

bijvoorbeeld een lagere belading van de trommel en langere verblijftijd.

- Voorafgaand aan het reinigingsproces de partij- en proceskritische parameters van een materiaalstroom beter te definiëren. Een voorbeeld hiervan is de hoeveelheid kalk of vliegas in een partij TAG welke nu niet als proceskritische parameters zijn aangemerkt (zie ook H3), maar wel een grote impact hebben op de eindkwaliteit en eigenschappen van TGG.

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1 Conclusies

TGG bestaat uit een mengsel van verontreinigde grond en andere materiaalstromen (voornamelijk TAG), die gezamenlijk zijn verhit om organische verbindingen te verwijderen. TGG wordt voor toepassing in en op de bodem beoordeeld als zijnde grond conform het Bbk en Rbk en voor toepassing getoetst aan het bijbehorende normenkader. Ondanks toetsing aan het normenkader zijn in het recente verleden problemen ontstaan nadat TGG is toegepast. Zo bleken monsters met TGG niet altijd te voldoen aan de MW_I voor metalen en organische verbindingen. Met name de aanwezigheid van vluchtige organische verbindingen werd niet verwacht vanwege de thermische behandeling. Ook bleek er in de praktijk sprake te zijn van hoge gehalten aan zouten, een hoge pH en als gevolg daarvan een ongewenste uitloging van metalen en zouten naar grond- en oppervlaktewater. Op basis van toetsing aan de normen werd dit niet verwacht.

Uit een nadere analyse van verschillende datasets van TGG blijkt dat TGG heterogeen van samenstelling is. Dat wil zeggen dat per partij variatie bestaat in de concentraties van stoffen in TGG. Het merendeel van de onderzochte monsters voldoet aan de klasse industrie. Op basis van de chemische samenstelling wordt TGG geclassificeerd als (licht) verontreinigd materiaal. TGG bevat verontreinigingen met concentraties boven de Achtergrondwaarde. Dat TGG niet kan worden geclassificeerd als schone grond is met name relevant voor de uitloogproblematiek welke geassocieerd wordt met TGG.

De uitloging van metalen uit TGG wordt getoetst aan de hand van de ETW en de MEW_{grond} uit de Rbk. De ETW fungeert hierbij als drempelwaarde voor nader uitloogonderzoek. Als de concentraties in TGG voldoen aan de ETW is geen uitloogonderzoek noodzakelijk omdat wordt aangenomen dat de daadwerkelijke uitloging de MEW_{grond} niet overschrijdt. In de praktijk is echter gebleken dat met name voor de stoffen antimoon, molybdeen en vanadium de voorspellende waarde van de ETW niet overeenkomt met de daadwerkelijke uitloogemissies. Er vindt uitloging plaats tot boven MEW_{grond} terwijl dit op basis van de toetsing aan de ETW dus niet wordt voorspeld. Het omgekeerde komt overigens ook voor, waarbij bijvoorbeeld voor de metalen koper en zink op basis van de toetsing uitloging wordt verwacht, maar bij nader uitloogonderzoek blijkt de MEW_{grond} in praktijk niet te worden overschreden. De data-analyse van de TGG in depots en praktijkcasus Bunschoten bevestigen dit beeld. Een verklaring voor dit verschil is deels terug te voeren op het verschil in de onderbouwing van de ETW en de MEW_{grond} en deels terug te voeren op de specifieke eigenschappen van TGG.

Het hergebruik van TGG werd tot 2008 beoordeeld middels het Bouwstoffenbesluit. De bijbehorende emissiewaarden voor uitloging waren gebaseerd op het principe van marginale bodembelasting. In de praktijk leidde dit tot problemen met het hergebruik van gereinigde en

licht verontreinigde grond door uitloging van antimoon, molybdeen, seleen, vanadium, fluoride, sulfaat, chloride en bromide. De TCB heeft in 2003 geadviseerd vrijstelling van een uitloogtoets te verlenen als de samenstellingswaarde voor schone grond uit het Bouwstoffenbesluit (SW1) niet wordt overschreden. In de daaropvolgende vrijstellingsregeling, en later middels de ETW in de Rbk, is hier invulling aan gegeven door een samenstellingswaarde vast te stellen als gemiddelde van SW1 (criterium voor 'schone grond') en SW2 (criterium voor 'niet-schone grond'), of Achtergrondwaarde en interventiewaarde voor stoffen waarvoor geen SW1 of SW2 beschikbaar waren.

In het advies van de TCB wordt gesteld dat de uitloging van schone grond beperkt is vanwege de relatief lage concentraties in schone grond. Deze opmerking is correct, maar alleen in de context dat onder het Bouwstoffenbesluit de immissienormen gebaseerd waren op het concept 'vracht' (oftewel marginale bodembelasting), gekoppeld aan toepassingshoogte, en nog niet op de risicobenadering zoals die gebruikt wordt in het Bbk. Bovendien is de samenstellingswaarde zoals uiteindelijk opgenomen in de Vrijstellingsregeling en als ETW in de Rbk niet gelijk aan de samenstellingswaarde voor schone grond (SW1) zoals de TCB voorstelde, maar het gemiddelde van SW1 en SW2. Feitelijk een verruiming van de definitie van schone grond. De keuze van de ETW als drempelwaarde voor het doen van een uitloogproef, afkomstig uit het Bouwstoffenbesluit enerzijds, en de onderbouwing van de MEW_{grond} in de Regeling Bodemkwaliteit anderzijds, is vanwege de later ingestelde risicobenadering voor de MEW_{grond} niet goed te verantwoorden want uitgangspunten en onderbouwing sluiten niet op elkaar aan. Uit dit voorliggend onderzoek blijkt namelijk dat de samenstelling van een partij TGG geen zeggingskracht heeft voor de uitloging van verontreiniging uit diezelfde partij. Voor TGG geeft de eerder afgeleide samenstellingseis van het Bouwstoffenbesluit dan ook onvoldoende borging voor het voldoen aan de nieuw afgeleide MEW_{grond} (uitloging) onder het Bbk.

Daarnaast heeft TGG eigenschappen die afwijken van onbehandelde (natuurlijke) grond waar bij de vaststelling van ETW van is uitgegaan. Deze verschillen zijn van invloed op de uitloging van met name de metalen antimoon, molybdeen en vanadium. TGG heeft bijvoorbeeld een veel hogere pH dan onbehandelde grond, waardoor verontreinigingen zich anders gedragen. De mobiliteit van metalen is onder andere afhankelijk van de pH. Op termijn zal de pH door veroudering van TGG dalen en kan de uitloging van metalen dus veranderen ten opzichte van het pas gereinigde product. Voor sommige metalen zal dit naar verwachting tot een toename leiden van de uitloging, voor andere tot een afname. Voor een langdurig duurzame toepassing van TGG is het daarom wenselijk om het pH effect nader te verkennen en in normstelling te verdisconteren.

Een ander aandachtspunt is dat door de verhitting TGG geen organische stof bevat en er een verandering van de kristalstructuur van de minerale bodemdeeltjes (zoals klei) kan optreden, waardoor verontreinigingen vatbaarder worden voor uitloging. Dit draagt eveneens bij aan een hoge uitloging van metalen. Naast uitloging van metalen is er ook sprake van een hoge uitloging van bromide, chloride en sulfaat. Voor deze stoffen

worden in de Rbk voor grootschalige bodemtoepassingen (GBT) geen nadere eisen gesteld. In gebieden met zoet grond- en oppervlaktewater kunnen hierdoor schadelijke effecten optreden voor plant en dier omdat deze van nature niet gewend zijn aan de hoge zoutgehaltes.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat het toetsingskader van het Besluit bodemkwaliteit niet- of onvoldoende toereikend is voor beslissingen met betrekking tot een veilige en duurzame toepassing van TGG in of op de bodem, specifiek in GBT.

Tot slot zijn in deze evaluatie diverse handelingsopties onderzocht binnen het bestaande beleidskader. Deze opties zijn in te delen in voorstellen voor aanpassing van de normstelling, het toepassingskader en kwaliteitsverbetering van het product. In tabel 6.1 worden deze opties samengevat.

Tabel 6.1 samenvattend overzicht van de handelingsopties.

Knelpunt	**Handelingsopties**		
	Normeringskader	**Toepassingskader**	**Productie**
Mismatch normen voor samenstelling en uitloging	• Altijd uitloog-onderzoek • Bij overschrijding ETW uitloog-onderzoek op alle stoffen • pH-range definiëren waarvoor toetsing aan de ETW-grond toepasbaar is • Verkenning herziening ETW op basis van risicobeoordeling en mate van uitloging		• Zorg voor pH in normale range van bodems
Uitloging zouten (niet genormeerde stoffen)	• Uitloogonderzoek • Vrachtbenadering • Risico's voor de kwaliteit grondwater beoordelen en toetsen	• Locatiespecifieke beoordeling middels toepassingsladder zouten	• Aanpassing productieproces door beheersing effecten van bijmenging andere materiaalstromen beperken • Kwaliteitsverbetering door wassen als nabehandeling
Uitloging metalen	• Uitloogonderzoek	• Expliciet beoordelen op molybdeen-gehalte bij gebruik in gebieden met veeteelt ivm specifieke werking	• Aanpassing productieproces door optimalisatie bijmenging (TAG) • Kwaliteitsverbetering door wassen als nabehandeling • pH verlaging

Knelpunt	Handelingsopties		
	Normeringskader	**Toepassingskader**	**Productie**
Organische verontreinigingen boven maximale waarde industrie		• Bij overschrijding maximale waarden industrie niet toepasbaar	• Optimalisatie reinigings- en productieproces • Uitsluiten herverontreiniging bijv. door hergebruik restwater en bijmenging na reiniging
Hoge pH	• Aandacht voor uitloogkarakteristieken (onder invloed van pH verandering, 'aging', wijze van toepassing)	• Locatiespecifieke beoordeling middels toepassingsladder	• Aanpassing productieproces door optimalisatie van de bijmenging van ander materiaal (zoals TAG) • Kwaliteitsverbtering door nabehandeling (zoals wassen)[1] • Carbonatatie als kunstmatige veroudering tot meer stabiel product
Ontbreken bodemleven	• Bij beoordeling grond ook ecologische criteria meewegen	• Locatiespecifieke beoordeling middels toepassingsladder	• Koloniseerbaar maken voor bodemleven door toevoegen organisch stof, bodemverbeteraars en evt. meststoffen (als voorbehandeling of in-situ, eventueel herhaald)
Fysische eigenschappen wijken af van onbehandelde gronden	• Bij beoordeling grond ook fysische criteria meenemen	• Locatiespecifieke beoordeling middels toepassingsladder	• Korrelverdeling verbeteren door fractionering van TGG in diverse bruikbare fracties

[1] Vraagt nog onderzoek naar effectiviteit

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Hergebruik van TGG

Voor de toepassing van TGG wordt aanbevolen niet alleen te toetsen aan de chemische samenstellings- of emissienormen maar ook aan de fysische en biologische kwaliteit van de TGG, in relatie tot de kwaliteit en functie van de omliggende (ontvangende) bodem. Daarom wordt aanbevolen de wijze van toepassing mede in beschouwing te nemen en te streven naar een zo hoogwaardig mogelijk hergebruik (of hoogwaardige toepassing). In deze rapportage is hiervoor een eerste aanzet opgesteld voor een toepassingskader met de afwegingsladder voor de toepassing van een secundaire grondstof in of op de bodem

(Figuur 5.4) en de afwegingsladder voor secundaire grondstoffen met hoge zoutenlast (Figuur 5.5).

Naast een toepassingskader is het wenselijk om een stimulans te ontwikkelen die de kwaliteit van grond, bouw- en reststoffen en de hoogwaardige toepassing ervan verbetert. Hierdoor wordt beter aangesloten op een circulaire werkwijze. Zo is het denkbaar om een laagwaardige toepassing te ontmoedigen terwijl een hoogwaardige toepassing zou kunnen worden gestimuleerd. Ook is hiervoor een gelijktijdige kwaliteitsverbetering van de TGG noodzakelijk om ongewenste effecten op het milieu te voorkomen.

6.2.2 Breder onderzoek naar uitloging uit grond, bouw- en reststoffen

De problematiek rond de toepassing van TGG staat niet op zichzelf. De laatste jaren is een veel aandacht voor nieuwe vormen van hergebruik van grond, bouw- en reststoffen (tezamen secundaire grondstoffen) die in- of op de bodem worden toegepast. Deze producten voldoen weliswaar aan de normen uit de Rbk, maar het is de vraag of dit normenkader is toegerust op de producten die thans op de markt komen. Hieruit volgen toenemende vragen van (lokale) overheden, ontwikkelaars en grondroerders die terug te voeren zijn op een prudente en haalbare invulling van de zorgplicht. Een toenemende zorg is de uitloging van stoffen uit deze partijen en de effecten op de kwaliteit van grondwater en oppervlaktewater en als gevolg hiervan effecten op mens, plant en dier (ecosystemen). Een belangrijke gemene deler die de secundaire grondstoffen hebben, is de hoge pH, die op zichzelf maar ook in de context van verhoogde uitloging een invloed kan hebben op het omliggende milieu. Het Bbk en Rbk geven, zo is de ervaring, thans onvoldoende handvatten voor het beheersen van de risico's met betrekking tot certificering, vergunningverlening, handhaving en invulling van de zorgplicht.

De aandacht voor diverse reststromen, grond en bouwstoffen leidt tot de noodzaak om de kennis van uitloging en effecten te verstevigen. Op termijn kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving. Het is wenselijk om hier de komende jaren meer structureel aan verder te werken. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan het ontwikkelen van een alternatief voor normering op basis van samenstelling (ETW), de periodieke monitoring van bodem en grondwater en hergebruik van secundaire grondstoffen en een verdere uitwerking van de toepassingskaders waarvoor in deze rapportage een eerste aanzet is gedaan. Deze kennis en een daaruit voortkomend toetsings- en toepassingskader zal ook bijdragen aan een prudente invulling van de zorgplicht.

6.2.3 Interpretatie wet- en regelgeving

In deze evaluatie zijn in de praktijk ervaren onduidelijkheden en mogelijke interpretatieverschillen van wet- en regelgeving besproken. Deze inconsistenties kunnen tot vragen leiden en voor meerdere interpretaties uitlegbaar zijn waardoor onduidelijkheid bestaat over het risico op schadelijke effecten bij toepassing van TGG.
Het gaat hierbij met name om de definities van grond en bodem zoals omschreven in de Wbb, het Bbk (inclusief Rbk) en het op TGG van

toepassing zijnde protocol 7510 voor de procesmatige reiniging van grond en baggerspecie (zie ook paragraaf 3.4). Het zou dan ook onderzocht moeten worden of de afstemming van de definities van grond en bodem leidt tot een begrijpelijker en meer adequaat stelsel. Bovendien moet voor de invulling van het begrip bodemkwaliteit naast de chemische-fysische eigenschappen ook de biologische kwaliteit worden meegenomen bij de afweging. Ook worden in deze rapportage enkele inhoudelijke aandachtspunten gegeven gedaan voor de huidige beoordelingsprotocollen.

Ook het bijmengen van andere materiaalstromen (zoals TAG) voorafgaand aan de gezamenlijke reiniging in relatie tot het gehalte bodemvreemd materiaal roept in de praktijk vragen op. In het protocol 7510 wordt de term 'grond cum annexis' geïntroduceerd voor afvalstoffen die tot grond kunnen worden omgevormd, door deze samen te reinigen met grond. In het Bbk is hierover echter geen eenduidige toelichting terug te vinden. Het wordt aanbevolen om hier duidelijkheid in te geven en indien nodig randvoorwaarden te stellen aan het mengen van verontreinigde grond en afvalstromen.

Verder wordt opgemerkt dat volgens het protocol 7510 voor TAG geen wettelijk bewijs voor vooracceptatie noodzakelijk is, terwijl het hoge aandeel kalk in TAG de voornaamste verklaring lijkt te zijn van de hoge pH van TGG en de daarmee geassocieerde (uitloog)problematiek. Het wordt daarom aanbevolen om de aanwezigheid van kalk in TAG aan te merken als een proceskritische parameter voor de gezamenlijke reiniging van verontreinigde grond en TAG.

Daarnaast worden bromide, chloride en sulfaat in TGG slechts als mogelijke proceskritische parameter aangewezen afhankelijk van beoogde toepassing (protocol 7510), terwijl deze stoffen in gebieden met zoet grond- en oppervlaktewater effecten geven op planten en dieren. Het wordt aanbevolen om zouten standaard als proceskritische parameter aan te wijzen, zodat de kwaliteit van TGG hierop getoetst kan worden. Een nadere invulling voor het toetscriterium is in dit geval noodzakelijk. Daarnaast wordt aanbevolen om nadere eisen te stellen aan het bijmengen van TAG in verband met het hoge aandeel kalk daarin. Het doel hiervan is om de pH van TGG structureel te verlagen en daarmee de uitloogproblematiek te verkleinen.

Referenties

Aalbers Th. G., Van der Zwan J. Th., Van Ruiten L.H.A.M., (1998) BET-2: Eerste orde kosten markteffecten bij de invoering van het Bouwstoffenbesluit. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 771402023

Bal, (2018). Besluit activiteiten in de fysieke leefomgeving. Staatsblad 293, 2018. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2018-293.html (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Bbk, (2007). Besluit bodemkwaliteit. Geldend van 18-12-2019 t/m heden. https://wetten.overheid.nl/BWBR0022929 (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Bodemrichtlijn, (2019). Factsheet thermische reiniging grond. https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond (geraadpleegd op 20-03-2020)

Bodemrichtlijn, (2019b). https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/asfalt-beton-teerhoudend-99381 (voor het laatst geraadpleegd op 20-03-2020)

Bouwstoffenbesluit, (1995). Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterenbescherming. Geldend van 23-11-1995 t/m 01-07-2007. https://wetten.overheid.nl/BWBR0007667 (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Brand E., Baars A.J., Verbruggen E.M.J., Lijzen J.P.A., (2008). Afleiding van milieurisicogrenzen voor sulfaat in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701069

Brand E., Bogte J., Baars B., Janssen P., Tiesjema G., Van Herwijnen R., Van Vlaardingen P., Verbruggen E., (2012). Proposal for revised 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., 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

Certicon bodemexperts, (2019). Rapportage partijkeuring. Onderzoek TGG Eemshaven deelpartijen 1-20 (individuele rapportages per deelpartij). Certicon, Ede, Nederland. Rapportnrs. P2019-0401 t/m P2019-0420.

Comans R.N.J., Dijkstra J.J., Meeussen J.C.L., Spijker J., Groenenberg J.E., (2014). Inventarisatie van bodemproceskennis in relatie tot gevoeligheden en onzekerheden in modellen voor uitloging en reactief transport van stoffen in de bodem . ECN, Petten, Nederland.

Cornelis G., Johnson C.A., Van Gerven T., Vandecasteele C., (2008). Leaching mechanisms of oxyanionic metalloid and metal species in alkaline solid wastes: A review. Appl. Geochemistry 23, 955–976.

Cornelis G., Van Gerven T., Vandecasteele C., (2012). Antimony leaching from MSWI bottom ash: Modelling of the effect of pH and carbonation. Waste Manag. 32, 278–286.

Corona B., Shen L., Reike D., Rosales Carreon J., Worrell E., (2019). Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. Resources, Conservation & Recycling 151 (2019) 104498

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

De Wilde P.G.M., Anthonissen I.H., Van de Beek A.I.M., Keijzer J., (1996). Afzet Afvalstoffen als Secundaire grondstoffen: Milieuhygiënische kwaliteit van secundaire bouwstoffen. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 771401005

Dijkstra J.J., Meeussen J.C.L., Comans, R.N.J., (2009). Evaluation of a generic multi-surface sorption model for inorganic soil contaminants. Environ. Sci. Technol. 43, 6196–6201.

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

Dirven-Van Breemen E.M., Lijzen J.P.A., Otte P.F., Van Vlaardingen P.L.A., Spijker J., Verbruggen E.M.J., Swartjes F.A., Groenenberg J.E., Rutgers M., (2007). Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701053

Ellen Macarthur foundation. (2019). *What is the Circular Economy?* : https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Het groene brein, (2021). Kenniskaarten, Circulaire economie. https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/kenniskaart-circulaire-economie/is-definitie-circulaire-economie/ (voor het laatst geraadpleegd op 18-06-2021)

Kappers, F.I., (1990). Ecologische herstel van Thermisch gereinigde grond. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 718601002

Kreule P., Van den Berg R., Waitz M.F.W., Swartjes F.A., (1995). Calculation of human-toxicological serious soil contamination concentrations and proposals for Intervention Values for clean-up of soil and groundwater: third series of compounds. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 715810010.

Kreule P. en Swartjes F.A., (1998). Proposals for Intervention values for soil and groundwater, including the calculation of the human toxicological serious soil contamination concentrations: fourth series of compounds. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701005

Lamé F.P.J. en Derksen G.B., (2003). Onderbouwing Uitloogbeslissystematiek BRL 9308. TNO-NITG, Utrecht, Nederland. Rapportnr. TNO-NITG 03-32-A.

Lame, F.P.J., 2005. Definitie van een nieuw standaard stoffenpakket voor milieuhygiënisch onderzoek van bodem en grond. TNO-NITG, Utrecht, Nederland. Rapportnr. 05-061-A410

Lijzen J.P.A., Baars A.J., Otte P.F., Rikken M.G.J., Swartjes F.A., Verbruggen E.M.J., Van Wezel A.P., (2001). Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater. Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701023

Ministerie van IenW, (2018). Kamerbrief van 11 december 2018, betreft Diepe plassen, Thermisch gereinigde grond en Barneveld. Ministerie van IenW, Den Haag, Nederland. Kenmerk IENW/BSK-2018/272542

Ministerie van IenW, (2020). Kamerbrief van 14 april, betreft stand van zaken toezeggingen en aanpak thermisch gereinigde grond Rijkswaterstaat. Ministerie van IenW, Den Haag, Nederland. Kenmerk RWS-2020/24717.

Ministerie van IenW, (2020b). Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie. (Geactualiseerde versie 2 juli 2020). https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/07/03/aanbiedingsbrief-geactualiseerd-tijdelijk-handelingskader-pfas (voor het laatst geraadpleegd op 18-06-2021)

Ministerie van IenW, (2021). Kamerbrief van 28 februari 2021, betreft kamervragen van het lid Schonis (D66) over het gebruik van vervuilde grond voor de aanleg van de Perkpolder. Ministerie van IenW, Den Haag, Nederland. Kenmerk RWS-2021/6711.

Ministerie van VWS, (1998). Vierde nota waterhuishouding Regeringsbeslissing. Ministerie van VWS, Den Haag, Nederland. https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/@176068/nota/ voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.,J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Ristow A.J., Van Es H.M. , Thies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Kurtz K.M.S., Wolfe D.W., Abawi G.S., (2017). Comprehensive assessment of soil health, The Cornell Framework (3rd ed) Cornell University, Ithaca, New York

Mol G., Spijker J., Van Gaans P., Römkens P., (2012). Geochemische bodematlas van Nederland. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Nederland.

Mol Ingenieursbureau (2019). 4 partijkeuringen conform het Besluit bodemkwaliteit: Kwelderweg 15 Eemshaven. Mol Ingenieursbureau, Wateringen, Nederland. Projectnummer: A4697

Mol Ingenieursbureau (2019b). 6 partijkeuringen conform het Besluit bodemkwaliteit: Vlasweg 12 Moerdijk. De "oude voorraad". Mol Ingenieursbureau, Wateringen, Nederland. Projectnummer: A4697

Mol Ingenieursbureau (2019c). 12 partijkeuringen conform het Besluit bodemkwaliteit Vlasweg 12 Moerdijk. De "nieuwe voorraad". Mol Ingenieursbureau, Wateringen, Nederland. Projectnummer: A4697

Mol Ingenieursbureau (2019d). 3 partijkeuringen conform het Besluit bodemkwaliteit: Monacoweg 3 Nieuwdorp. Ovet – depot 1. Mol Ingenieursbureau, Wateringen, Nederland. Projectnummer: A4697

Mol Ingenieursbureau (2019e). 7 partijkeuringen conform het Besluit bodemkwaliteit
Monacoweg 3 Nieuwdorp. Ovet – depot 2. Mol Ingenieursbureau, Wateringen, Nederland. Projectnummer: A4697

Nieuwenhuis R.H. en Lamé F.P.J., (2005). Analyse van het ATM gegevensbestand in het kader van het voorkomen van bijzondere parameters in grond. TNO Geological Survey of The Netherlands, Utrecht, Nederland. Rapportnr. NITG 05-169-B.

Nieuwenhuis R.H. en Lamé F.P.J., 2006. Overkoepelend rapport van het onderzoek naar de samenstelling en emissie van bijzondere parameters in grond. TNO Geological Survey of The Netherlands, Utrecht, Nederland. Rapportnr. 2006-U-R0002/B.

Nieuwenhuis R.H. en Lamé F.P.J., (2006b). Effecten van voorgestelde wijzigingen van normwaarden op de kwalificatie van grond (Werkdocument en niet openbaar beschikbaar). TNO bouw en ondergrond, Utrecht Nederland. Rapportnr. 2006-U-R0141/B

NOBO (2008) NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling. Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007. Rapport 8395. Ministerie van VROM, Den Haag.

Nota van toelichting Bbk, (2007). Besluit inzake de kwaliteit van de bodem en Nota van toelichting. Staatsblad 469, 2007. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2007-469.html (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Nota van toelichting Rbk, (2007). Regeling bodemkwaliteit en Nota van toelichting. Staatsblad 469, 2007. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2007-247-p67-SC83483.html (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Pardo P., Deydier A., Anxionnaz-Minvielle Z., Rougé S., Cabassud M., Cognet P., (2014). A review on high temperature thermochemical heat energy storage. Renew. Sustain. Energy Rev. 32, 591–610.

Provincie Noord-Brabant, (2009). Beschikking: vergunning ingevolge de Wet milieubeheer. Provincie Noord Brabant, 's Hertogenbosch, Nederland. Kenmerk: 1538449

Rbk, (2007). Regeling bodemkwaliteit. Geldend van 30-11-2018 t/m heden. https://wetten.overheid.nl/BWBR0023085 (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

RIVM, (2021). Webpagina Circulaire economie. https://www.rivm.nl/circulaire-economie (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

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.

Rutgers M., Mulder C., Schouten A.J., Bloem J., Bogte J.J., Breure A.M., Brussaard L., de Goede R.G.M., Faber J.H., Jagers op Akkerhuis G.A.J.M., Keidel H., Korthals G.W., Smeding F.W., ten Berg C., van Eekeren N., (2007). Typeringen van bodemecosysteem in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 607604008

Rutgers M. en Dirven-van Breemen L. (2012). Een gezonde bodem onder een duurzame samenleving. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 607406001

Seinen S, Versluijs C.W., Valentijn E.A., De Wilde P.G.M., (1991). Samenstelling en uitloging van bouwstoffen. Samenvatting uit Mammoetonderzoek en aanvullende onderzoeken. Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Den Haag. Reeks Bodembescherming 1991/3)

SIKB, (2014). SIKB protocol 7510: Procesmatige ex situ reiniging en immobilisatie van grond en baggerspecie. Versie 4. SIKB, Gouda, Nederland.

SIKB, (2016). Accreditatieprogramma. Keuring van partijen grond, bouwstoffen en korrelvormige afvalstoffen Onderdeel : Uitloogonderzoek. AP04 – U. SIKB, Gouda, Nederland.

SIKB, (2018a). BRL SIKB 7500: Bewerken van verontreinigde grond en baggerspecie. SIKB, Gouda, Nederland.

SIKB, (2018b). SIKB protocol 7510: Procesmatige ex situ reiniging/bewerking en immobilisatie van grond en baggerspecie versie 5. SIKB, Gouda, Nederland.

SIKB, (2017). BRL SIKB 9335: Nationale beoordelingsrichtlijn voor Grond. SIKB, Gouda Nederland.

SIKB, (2017b). SIKB Protocol 9335-2: Grond uit projecten. Milieuhygiënische keuring
van partijen grond uit projecten in het kader van het Besluit bodemkwaliteit. SIKB, Gouda, Nederland.

SIKB, (2020). https://www.sikb.nl/over-sikb/organisatie (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Staatscourant, (2008). Wijziging Regeling bodemkwaliteit. Staatscourant, 122, blz 27. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2008-122-p27-SC86257.html (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Tritium Advies, (2018). Verkennend bodemonderzoek Plas van Heenvliet te Zwartewaal (thermisch gereinigde grond). Tritium advies, Prinsenbeek, Nederland. Kenmerk: 1801/193/DH-01

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

Tijdelijke vrijstellingsregeling grond en baggerspecie (2004). Geldend van 29-02-2004 t/m 31-12-2005. https://wetten.overheid.nl/BWBR0016439 (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

Tamis W.L.M., (1988). Ecologische herstelbaarheid van gesaneerde bodems. Inventarisatie van veldlokaties en verkennend onderzoek naar het hergebruik van gereinigde grond. + Bijlagen I t/m VII. Rijksuniversiteit Leiden, Leiden, Nederland.

Tamis W.L.M., Udo de Haes H.A., 't Hart M.J., Meelis E., (1993). Altered availability of heavy metals for grasses in thermally cleaned field soils. Sci Total Environ 1993; (Suppl):335-46

Taylor H.F.W., (1997). Cement Chemistry, 2nd ed. Thomas Telford Publishing, London.

Theo Pouw, (2015). Kenmerken van het project, bijlage 1 en bijlage 3 behorende bij vergunningsaanvraag 4335541. Theo Pouw, Eemshaven, Nederland

US-EPA., (1990). National Primary and Secondary Drinking Water Regulations, Synthetic
Organic Chemicals and Inorganic Chemicals. US Environmental Protection Agency,
Washington DC, USA. Federal Register. Vol. 55. No. 143, 30370.

Van Bruchem R., (2019). Westdijk Bunschoten/Spakenburg: Samenvatting partijkeuringen TGG. Beschrijving resultaat en uitgevoerde werkzaamheden. Royal HaskoningDHV, Amersfoort Nederland. Referentie: BD9964TPRP1908271447

Van den Berg R., Bockting G.J.M., Crommentuyn G.H., Janssen P.J.C.M., (1994). Proposals for Intervention values for soil clean-up. Second series of chemicals. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 715810004

Van der Star W., Spaak G., De Louw P., Van der Ruyt M., (2019). Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder. Eindrapportage. Deltares, Delft, Nederland. Kenmerk: 11200482-000-GEO-0022

Van Gestel C.A.M., Dirven-van Breemen E.M., Kamerman J.W., (1992). Beoordeling van gereinigde grond. V. Toepassing van bioassays met planten en regenwormen op verontreinigde en gereinigde gronden. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 216402005

Verbruggen E.M.J., Moermond C.TA., Janus J.A., Lijzen J.P.A., (2008). Afleiding van milieurisicogrenzen voor chloride in oppervlaktewater, grondwater, bodem en waterbodem. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701075.

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., (2006). Kritische emissiewaarden voor bouwstoffen. Milieuhygiënische onderbouwing en consequenties voor bouwmaterialen. RIVM, Bilthoven, Nederland. Rapportnr. 711701043

Versluijs C.W., Anthonissen I.H., Valentijn E.A., (1990). Integrale evaluatie van de deelonderzoeken van het Mammoetproject. RIVM, Bilthoven Nederland. Rapportnr. 738504008

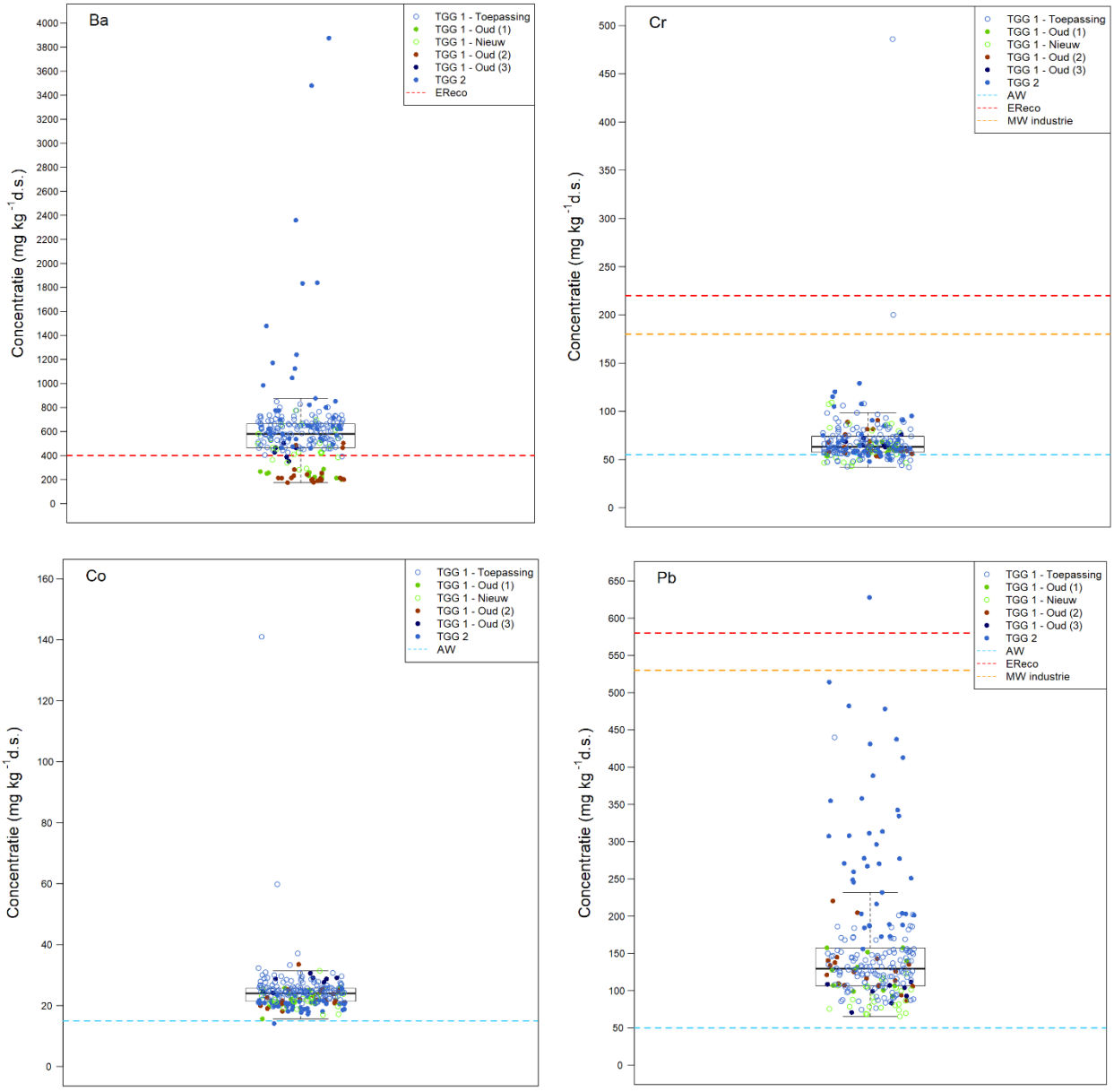
Wbb, (1986). Wet bodembescherming. Geldend van 01-01-2017 t/m heden. https://wetten.overheid.nl/BWBR0003994 (voor het laatst geraadpleegd op 26-05-2021)

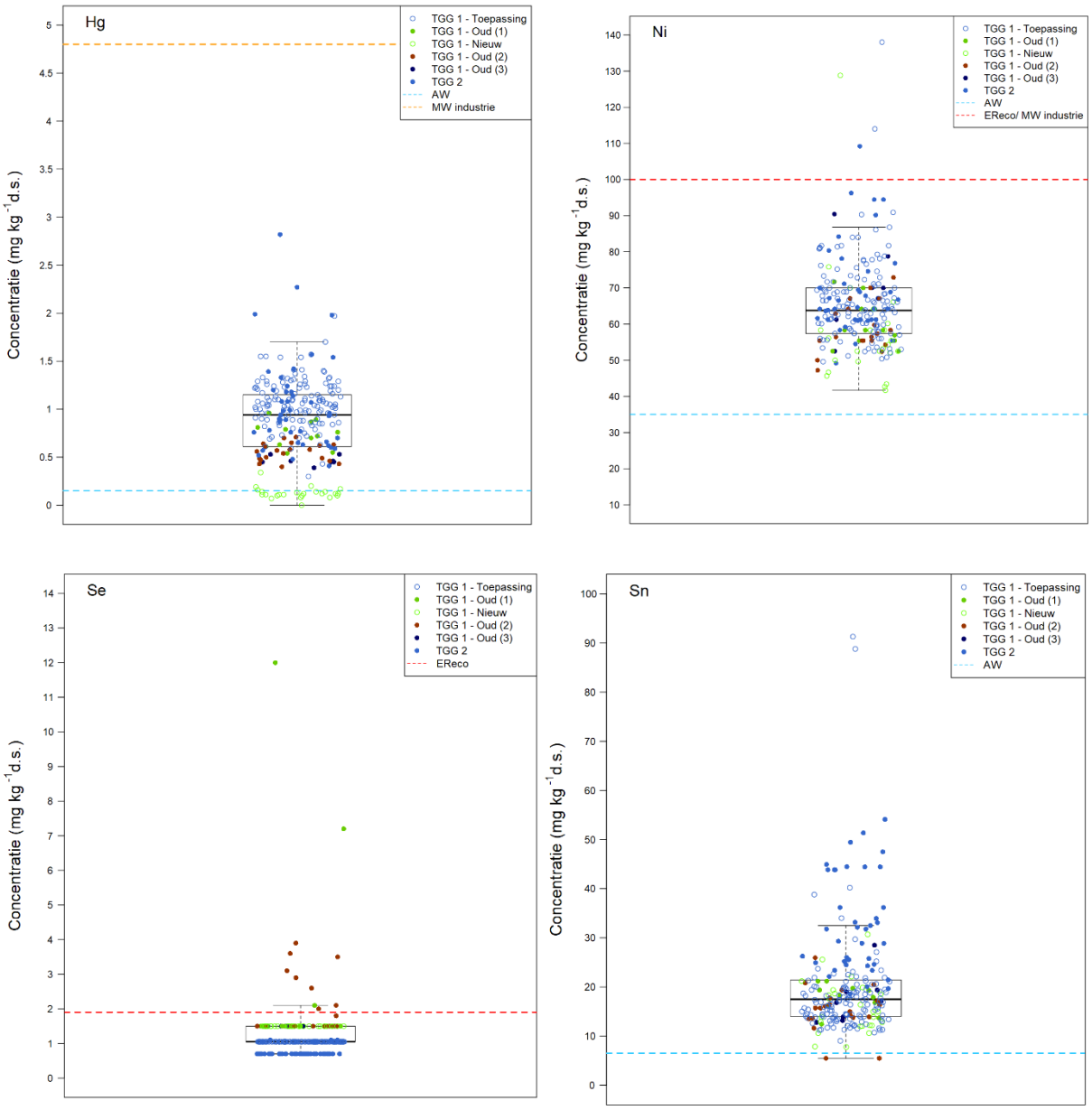
Lijst met afkortingen

ABC-waarden	Tot 1994 de toetsingswaarden voor bodemkwaliteit
ATM	Afvalstoffen terminal Moerdijk
AW	Achtergrondwaarde
BAL	Besluit activiteiten leefomgeving
Bbk	Besluit bodemkwaliteit
BRL	Beoordelingsrichtlijn
BTEX	Groep aromatische koolwaterstoffen, met name benzeen, tolueen, ethylbenzeen en xyleen
ER_{eco}	Ernstig risico voor ecologie (ook wel HC50)
ETW	Emissietoetswaarde
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
6:2 FTS	Fluortelomeersulfonzuur
HC20	Hazardous concentration 20%, de concentratie waarbij 20% van de organismen en natuurlijke processen in de bodem invloed ervaren
HC50	Hazardous concentration 50%, de concentratie waarbij 50% van de organismen en natuurlijke processen in de bodem invloed ervaren
GBT	Grootschalige bodemtoepassing
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
MEW_{grond}	Maximale emissiewaarde voor grond
$MEW_{bouwstof}$	Maximale emissiewaarde voor bouwstof
MTR_{eco}	Maximaal toelaatbaar risico
MW_W	Maximale waarde kwaliteit wonen
MW_I	Maximale waarde kwaliteit industrie
Min IenW	Ministerie van infrastructuur en waterstaat
NEN	Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut
NOBO	Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling
NVCI	Nederlandse vereniging certificatie-instellingen.
OCB	Organochloorbestrijdingsmiddelen
PAK	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PCB	Polychloorbifenyl
PFAS	Poly- en perfluoralkylstoffen
PFHxA	Perfluorhexaanzuur
PBDE	Polygebrommeerdedifenylethers
PFOA	Perfluoroctaanzuur
PFOS	Perfluoroctaanzuur
Rbk	Regeling bodemkwaliteit
RIVM	Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu
SIKB	Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer
SW	Samenstellingswaarden uit voormalig Bouwstoffenbesluit
TAG	Teerhoudend asfaltgranulaat
TCB	Technische commissie bodem
TGG	Thermisch gereinigde grond
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
UvW	Unie van waterschappen
VNG	Vereniging van Nederlandse gemeenten

VNO-NCW	Ondernemersvereniging ontstaan uit het voormalige Verbond van Nederlandse Ondernemingen en het Nederlands Christelijk Werkgeversverbond
VROM	Voormalig Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer
VVMA	Brancheverenigingdie actief is in voornamelijk het werkveld van bodem (onderzoek en sanering) en bouwstoffen
Wbb	Wet bodembescherming

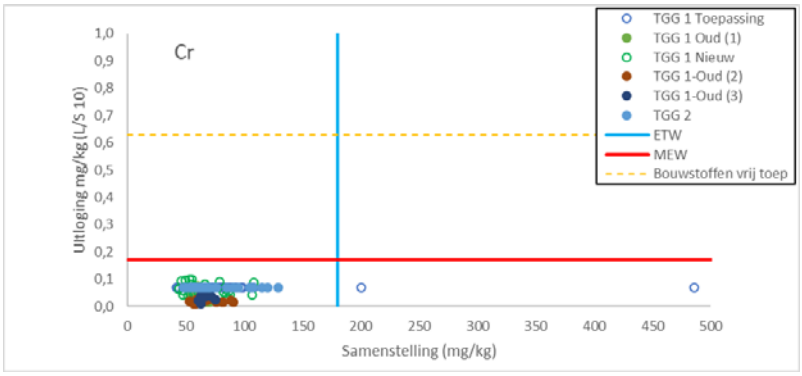
Bijlage 1 Boxplots chemische samenstelling TGG

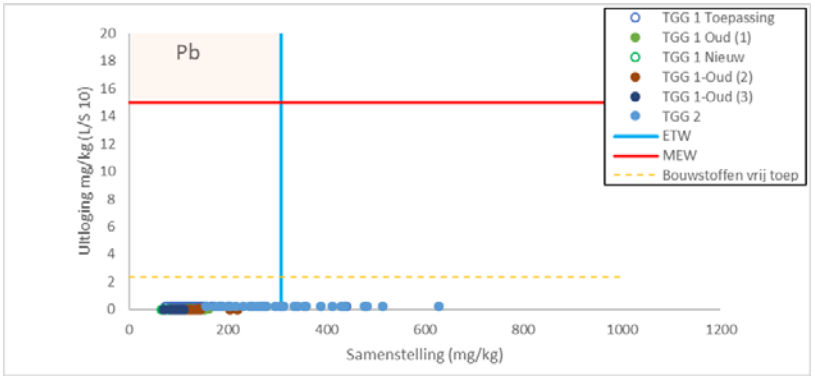


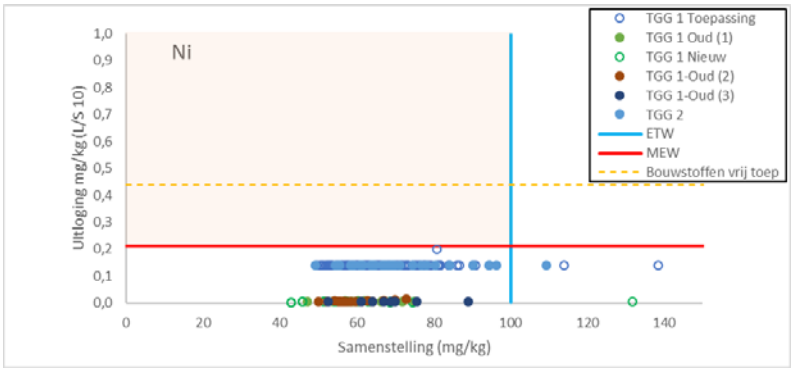


Figuren B1.1 Verdeling van Barium (Ba), Chroom (Cr), kobalt (Co), lood (Pb), kwik (Hg), nikkel (Ni), seleen (Se) en tin (Sn) in TGG zowel depot als praktijkcasus Bunschoten. De blauwe lijn geeft de AW weer, de gele lijn de MW_I en de rode het Ernstig risico niveau voor ecologie (EReco). Voor sommige metalen is er geen AW beschikbaar of liggen de ER_{eco} en/of de MW_I buiten de grenzen van de boxplot.

Bijlage 2 Samenstelling versus uitloging







Figuren B2.1 Samenstelling (x-as) versus uitloging (y-as) van een chroom (Cr), Lood (Pb) en nikkel (Ni) voor TGG in depots en praktijktoepassing.

RIVM
De zorg voor morgen begint vandaag