



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

Milieuhygiënische kwaliteit **LD-staalslakken**

Literatuurstudie

Colofon

© RIVM 2023

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 zijn 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-2022-0180

M.H. Broekman (auteur), RIVM

Contact:

M.H. Broekman

Milieu-incidenten, Veiligheid en Security, centrum Veiligheid

marcel.broekman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport in het kader van het programma ondersteuning ILT kennisvragen M&V.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Milieuhygiënische kwaliteit LD-staalslakken.

Literatuurstudie

Staalslakken ontstaan bij de productie van staal en lijken op steen. Nederland gebruikt dit materiaal in grote hoeveelheden als bouwstof. Bijvoorbeeld als ondergrond van wegen en om dijken, geluidwallen en stortplaatsen op te vullen of op te hogen. Als staalslakken in contact komen met regen- of grondwater, komen er schadelijke stoffen uit die in dat water terecht komen. Vrijwel alle denkbare zware metalen komen dan via dit "uitspoelwater" in de bodem of het oppervlaktewater terecht. Het uitspoelwater heeft ook een heel lage zuurgraad. Deze effecten zijn schadelijk voor het milieu.

De hele lage zuurgraad verstoort chemische, biologische en ecologische processen in de bodem en het oppervlaktewater. Zandbodems zijn er het gevoeligst voor als de zuurgraad verandert, omdat zij deze verandering minder goed kunnen neutraliseren. Al deze milieueffecten kunnen tientallen jaren optreden.

Dit blijkt uit literatuuronderzoek van het RIVM in opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). De effecten zijn vooral te zien wanneer met grotere hoeveelheden staalslakken wordt gewerkt. Het onderzoek maakt ook duidelijk dat de gevolgen voor het milieu in de bodem nog onbekend zijn.

Verder blijkt dat de gemeten concentraties schadelijke stoffen in het uitspoelwater van laboratoriumtesten anders zijn dan op locaties waar de staalslakken in de praktijk zijn gebruikt. De laboratoriumtesten zijn ontwikkeld voor het gebruik van staalslakken in minder dikke lagen en hoeveelheden dan nu in de praktijk gebeurt. Het is daarom belangrijk om te onderzoeken of de testen die hiervoor wettelijk zijn voorgeschreven, nog geschikt zijn.

Kernwoorden: milieuhygiënische kwaliteit, staalslakken, milieu, zuurgraad, zware metalen, bouwstof, uitloging, grondwater, bodem

Synopsis

Literature study into the environmental quality of LD steel slag

Steel slag is a by-product of the steel production process. It resembles stone. In the Netherlands, large quantities of this material are used in construction. Among other things, it can serve as a substrate for roads or be used to fill in or raise the level of dykes, noise barriers and landfill sites. When steel slag comes into contact with rainwater or groundwater, hazardous substances found in the slag leach into that water. Virtually every kind of heavy metal imaginable then makes its way into the soil or surface water via this water, known as leachate. The leachate also has an extremely high pH value. Both effects are harmful to the environment.

The extremely high pH value disrupts chemical, biological and ecological processes in the soil and in surface water. Sandy soils are most vulnerable to changes in pH value, because they are less able to neutralise such changes. All these environmental effects may last for decades.

This is the outcome of a literature study commissioned by the Human Environment and Transport Inspectorate (ILT) and carried out by RIVM. The effects are especially evident when larger quantities of steel slag have been used. The study also makes it clear that the environmental risks for the impact remains unknown.

In addition, the concentrations of hazardous substances measured in leachate under laboratory conditions differed from those measured at sites where the steel slag was actually used. The laboratory tests were developed on the assumption that steel slag would be used in thinner layers and lesser quantities than is currently the case in practice. It is therefore vital to investigate whether the tests required by law for such use are still fit for purpose.

Keywords: environmental quality, steel slag, environment, pH value, heavy metals, building material, leaching, groundwater, soil

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Probleemstelling — 12
- 1.2 Vraagstelling — 13
- 1.3 Doelstelling — 14
- 1.4 Leeswijzer — 14

2 Werkwijze — 15

3 Staalproductie — 17

- 3.1 Productiemethoden — 17
- 3.2 Staalslakken — 18
- 3.3 Samenvatting — 20

4 Chemische en minerale samenstelling — 21

- 4.1 Samenvatting — 26

5 Wettelijk kader — 29

- 5.1 Inleiding — 29
- 5.2 REACH – Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals — 29
- 5.3 CLP – Classification, Labelling and Packaging — 29
- 5.4 Bbk en Rbk – Besluit en Regeling bodemkwaliteit — 30
- 5.5 NL-BRL 9345 en BRL 9310 – (nationale) beoordelingsrichtlijnen — 31
- 5.6 Wm – Wetmilieubeheer, Kra- Kaderrichtlijn afvalstoffen en Wbb – Wet Bodembescherming — 32
- 5.7 Leidraad product of afvalstof, versie 1.2 (2021) — 33
- 5.8 Gevaarsindeling LD-staalslakken – als product en afvalstof — 34
- 5.9 Samenvatting — 35

6 Milieueffecten toepassing LD-staalslakken — 37

- 6.1 Inleiding — 37
- 6.2 RIVM- en ECN-onderzoek in de periode 1990 tot 2010 — 37
- 6.3 Milieueffecten — 40
- 6.4 Casus: dijk/omwalling opslagplaats baggerspecie — 44
- 6.5 Casus uitbreidingslocatie golfbaan The Dutch te Spijk — 45
- 6.6 Samenvatting — 48

7 Beantwoording onderzoeksvragen — 51

8 Conclusies — 61

- 8.1 Mineralogische – en chemische samenstelling — 61
- 8.2 Productie en levering LD-staalslakken — 62
- 8.3 Wettelijk kader — 62
- 8.4 Milieueffecten — 63
- 8.5 Eindconclusie — 66

Referenties — 69

Samenvatting

In opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport heeft het RIVM een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken.

Op grond van wetenschappelijke publicaties is informatie verzameld over de staalproductie, het oxystaalproces, de morfologie en de chemische en minerale samenstelling van de LD-staalslakken, de toepassingen en de milieueffecten hiervan.

LD-staalslakken ontstaan bij de omzetting van gesmolten ruw ijzer afkomstig van de hoogovens naar staal. Tijdens dit zogeheten oxystaalproces of Linz-Donawitz-proces worden door toevoegingen van een flux van kalksteen, dolomiet en het inblazen van zuurstof de onzuiverheden als oxiden in het vloeibare mengsel van de gevormde slakken opgenomen. De LD-staalslakken worden na het scheiden van het gesmolten staal gekoeld en vervolgens mechanisch bewerkt. Uiteindelijk worden ze in verschillende fracties gesorteerd op deeltjesgrootte in een traject van <0,25mm tot maximaal 180 mm in diameter.

De belangrijkste bestanddelen van LD-staalslakken zijn calciumsilicaten en oxiden van magnesium (Mg), calcium (Ca), ijzer (Fe), aluminium (Al) en mangaan (Mn). Op sporen niveaus tot rond 50 mg/kg is een groot aantal zware metalen aanwezig. Enkele metalen komen in hogere gehalten tussen 1.000 en 5.000 mg/kg voor, zoals: chroom, tin, vanadium en strontium.

Het onderzoek naar de morfologie toont aan dat de LD-staalslakken voor een groot deel zijn opgebouwd uit microcellen van 1 tot 3 micrometer in dicalciumsilicaten en grotere cellen van 20 tot 100 micrometer in de kristalstructuren van de diverse soorten calciumsilicaten.

Verschillende stoffen, waaronder het vrije calciumoxide, kunnen hierdoor zijn ingesloten. Dit verklaart de korrelvormige LD-staalslakken door de mechanische bewerkingen met de kleinste deeltjesgrootte zoals <0,25mm, een factor 3 hogere ongebonden CaO- (calcium oxide of ongebluste kalk) gehalten kunnen bevatten dan de meer grofkorrelvormige fracties van de LD-staalslakken.

LD-staalslakken kunnen door chemische reactie met koolstofdioxide uit de lucht carbonatie ondergaan. Dit wil zeggen dat de beschikbare oxiden en hydroxiden van vooral calcium en magnesium met water kunnen worden omgezet in carbonaten. Behalve hun voorkomen als zouten vormen calciumcarbonaten net als de calciumsilicaten door hydratatie kristalstructuren, wat leidt tot gesteentevorming. In de literatuur zijn geen aanwijzingen gevonden, dat carbonatie voor een waterdichte laag aan de oppervlakte van LD-staalslakken zorgt.

De stoffen die in de LD-staalslakken via uitloging kunnen vrijkomen, zijn alle genormeerde stoffen in tabel 1 van bijlage A van de regeling bodemkwaliteit (Rbk). Dit zijn: antimoon (Sb), arseen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), chroom (Cr), kobalt (Co), koper (Cu), kwik (Hg),

lood (Pb), molybdeen (Mo), nikkel (Ni), seleen (Se), tin (Sn), vanadium (V) en zink (Zn). Dit is aangevuld met anionen zoals: bromide, chloride, fluoride en sulfaat. Ter aanvulling zien we ook niet-genormeerde stoffen uitlogen, zoals natrium (Na), calcium (Ca), aluminium (Al), strontium (Sr), titanium (Ti), beryllium (Be) en boor (B). Afhankelijk van hun speciatie en hun emissies kunnen ze schadelijk zijn voor het milieu. Verder ontbreekt normstelling voor de pH.

De extreem hoge pH van het uitloogwater, variërend tussen 11 en 12, is te verklaren door de reactie van water met hoge gehalten van calciumoxide in de LD-staalslakken en verder met aanwezige magnesiumoxide, calciumhydroxide en calciumsilicaten tot de vorming en oplossing van calcium- en magnesiumhydroxiden. Wateroplossingen met dergelijke pH-waarden zijn gevaarlijk, vanwege corrosiviteit en kunnen dodelijk zijn voor in het milieu levende organismen.

Er zijn uitloog-, model-, experimentele - en veldstudies die erop wijzen, dat de extreem hoge pH-uitloging een gevaar is voor de ontvangende milieucompartimenten. De pH beïnvloedt de heersende natuurlijke evenwichten in tal van abiotische en biotische bodemprocessen die ook met elkaar interacteren. Zo speelt het bodemgehalte *dissolved organic carbon* (DOC) een cruciale rol in het transport van in de bodem van nature aanwezige zware metalen, maar ook in de buffercapaciteit van de bodem. Bodem met een beperkte buffercapaciteit is kwetsbaar, waardoor de hoge pH van de LD-staalslakken in de bodem wordt opgelegd.

De uitloging van zware metalen, die niet de maximale emissiewaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen overschrijden, en de hoge pH-waarden vertaald naar de praktijktoepassingen, kunnen decennia lang manifesteren. Tot wel 50 à 80 jaren. Dat is opvallend. Deze situatie kan voorkomen als onvoldoende maatregelen zijn getroffen om het contact van vooral grootschalige hoeveelheden LD-staalslakken met het hemel- of grondwater te voorkomen.

Het literatuuronderzoek wijst uit dat er nog weinig bekend is over de risico's van milieueffecten in de bodem, veroorzaakt door de hoge pH-uitloging over een lange periode van blootstelling. In de bodem levende organismen kunnen acute en chronische schadelijke effecten ondervinden. De oppervlaktewaterkwaliteit verslechtert door de verontreiniging met zware metalen, hoge alkaliteit en de vorming van slecht oplosbare calciumcarbonaten. De hoge pH-uitloging in oppervlaktewater van vijvers, beken en sloten veroorzaakt onder meer vissterfte.

Uit de recente casuïstiek blijkt dat de naleving van de toepasselijke wet- en regelgeving aandacht vraagt. Het toezicht op grootschalige open toepassingen zou verbeterd kunnen worden, omdat de risico's op schadelijke milieueffecten door de uitloging van schadelijke stoffen groot kunnen zijn. LD-staalslakken hebben op grond van het rechtsoordeel van Rijkswaterstaat (2017) de status van (bij)product, wanneer het als secundair bouwstof specifiek wordt toegepast in GWW-werken. Ze kunnen echter een afvalstof worden als de LD-staalslakken (moeten) worden teruggenomen en er geen duidelijke nieuwe bestemming bekend is. Dit heeft gevolgen voor de wijze waarop de materialen in verschillende omstandigheden moeten worden behandeld.

1 Inleiding

Naar aanleiding van mediaberichtgeving zijn er maatschappelijke zorgen ontstaan over een veilige toepassing van LD-staalslakken in infrastructurele grondwerken.

Het programma "De Vuilnisman" bracht in de uitzending van 21 maart 2021 de problematiek van de staalslakken publiekelijk in beeld. De aflevering toonde onder meer een projectuitvoering, waarbij omwonenden gezondheidsklachten hadden bij de toepassing van circa 60.000 ton staalslakken, afkomstig van de staalproductie van Tata Steel IJmuiden. Dit was in een grondwerk op een locatie in de gemeente Hellevoetsluis. De klachten die veroorzaakt werden door de blootstelling aan opwaaiend stof van de LD-staalslakken betroffen: bloedneuzen, irritatie van de huid, ogen en de luchtwegen. Een van de omwonenden liep ook brandwonden aan de huid op. De klachten waren vrijwel zeker veroorzaakt door de hoge gehalten van ongebluste kalk (CaO , calciumoxide) in de LD-staalslakken. De gemeente had na een jaar besloten om het materiaal te laten verwijderen en de locatie naar de oorspronkelijke staat terug te brengen. De partij is teruggenomen, vervoerd en toegepast op een industrieterrein in Oude Tonge binnen de gemeente Goeree Overflakkee (GO). Bij regenval is te zien dat het water dat in contact komt met de LD-staalslakken wit kleurt en bij metingen een hoge pH geeft met een waarde van 12 tot 13. Het gaat hier zeer waarschijnlijk om kalkmelk, ofwel gebluste kalk (Ca(OH)_2 , calciumhydroxide). De stof ontstaat na een chemische reactie van water met ongebluste kalk. De staalslakken zijn dan ook niet voldoende geïsoleerd in het vermijden van contact met hemel- of grondwater. De gemeente GO heeft samen met de omgevingsdienst DCMR aan de eigenaar van de LD-staalslakken een last onder dwangsom opgelegd om isolatiemaatregelen te treffen.

In het eerdergenoemde televisieprogramma is een tweede toepassing behandeld, te weten het project *Uitbreiding golfbaan The Dutch* in Spijk waar circa 670.000 ton LD-staalslakken liggen. Deze komen van de staalproductie van Tata Steel IJmuiden. De LD-staalslakken zijn bedoeld om een circa 10 meter hoge geluids- en zichtwal te realiseren langs de Noordkant van de A15 nabij Spijk. Vanwege observaties op het terrein is op last van het bevoegd gezag in maart 2019 het project stilgelegd. Zo bleek op basis van luchtfoto's dat het oppervlaktewater van plassen, vijvers en sloten een vreemde kleur had. Uit voorzorg moest een boer op dringend advies zijn grazende koeien van het weiland weghalen. De boer gebruikte namelijk het (vervuilde) slootwater om de mest te verdunnen en vervolgens over zijn landbouwgrond te verspreiden. Het gevaar zou zijn dat zijn land vervuuld zou kunnen raken. De waterbeheerder, het waterschap Rivierenland, heeft op basis van eigen meet- en monitoringsresultaten van gevaarlijke stoffen Deltares opdracht gegeven een risicobeoordeling te geven van de kwaliteit van de oppervlaktewateren.

Een van de onderzoeksbevindingen van Osté (2019) was de hoge pH-uitspoeling en de uitspoeling van zware metalen. De hoge pH is te

verklaren door de aanwezigheid en uitspoeling van hoge gehalten ongebluste kalk in de LD-staalslakken. Het resulterende kalkmelk, oftewel de gebluste kalk, verklaart mogelijk de vreemde kleur van het oppervlaktewater van de plassen.

Omroep Gelderland heeft in april 2021 een reportage gemaakt over de toepassing van LD-staalslakken. Aanleiding waren de zorgen van omwonenden nabij een omvangrijke toepassing van circa 200.000 ton LD-staalslakken, afkomstig van de staalproductie van Tata Steel IJmuiden. Deze was bedoeld voor de afdichting van een voormalige stortplaats in Eerbeek. De dikte van de afdeklaag van minstens 80 cm is ook gebruikt als fundering voor het aanbrengen van een zonnepark met circa 15.500 zonnepanelen (zie website van aannemer Ploegam). De zorgen van omwonenden betreffen onder meer gezondheidsklachten, zoals vaker voorkomende bloedneuzen, de witte kleur van het drainagewater en de verontreiniging van de onderliggende bodem en het grondwater met zware metalen. De witte kleur is vermoedelijk het gevolg van de hoge pH-uitloging door gebluste kalk.

1.1 Probleemstelling

In het verleden zijn na het in werking treden van het bouwstoffenbesluit (Staatsblad 567, 1995) ook al praktijkvoorbeelden geweest waarin de hoge pH-uitloging voor problemen zorgde. ECN (2007) stelt in haar rapport dat in de drie jaren daarvoor (tijdvak 2004 tot 2007) de LD-staalslakken in toenemende mate grootschalig zijn toegepast in ophogingen. De onderzoekers stellen dat dit te maken had met de heersende overschotten op de bouwstoffenmarkt. Als traditionele toepassingen van LD-staalslak (mengsels) noemt ECN onder meer de waterbouw voor oeverbescherming met vormgegeven materialen ter grootte van maximaal 45 tot 180 mm en toepassingen van niet-vormgegeven materialen in de wegenbouw als wegfunderingslagen (laagdikte van LD-staalslakken van enkele centimeters en laagdikte van LD-staalslakmengsel van 0,1-0,4 m). Volgens Sloot H.vd et al (2007) van ECN traden tussen 1995 tot 2008 bij nieuwe toepassingswijzen van staalslak en hoogovenslak(zand) milieuproblemen op die gerelateerd waren aan de hoge pH. Hiermee kon bij de inwerkingtreding van het bouwstoffenbesluit nog geen rekening worden gehouden. De circulaire *Toepassing van staalslak en hoogovenslak(zand) in aanvullingen en ophogingen* (Staatscourant 6 juli, 2005) wijst op waargenomen schadelijke milieueffecten van toepassingen van onder meer LD-staalslakken in aanvullingen of ophogingen. Vaak in veel grotere laagdikten en hoeveelheden dan bij wegfunderingen en met meer contact met grond- en regenwater. In dit soort gevallen kan zonder het nemen van passende maatregelen hoge pH-uitspoeling optreden naar het grond- en oppervlaktewater met gevolgen voor de waterkwaliteit. De circulaire was destijds uitgebracht voor het bevoegde gezag om toe te zien op het naleefgedrag van leveranciers, producenten en aannemers van hun zorgplicht volgens artikel 13 van Wbb en artikel 1.1a van Wm. Inmiddels is het bouwstoffenbesluit vervangen door het Besluit bodemkwaliteit (Bbk, Staatsblad 469, 2007) en de Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Hierin is de zorgplicht in artikel 7 van het Bbk specifiek bepaald voor het oppervlaktewaterlichaam.

De recente casussen lijken erop te duiden dat de bescherming van de volksgezondheid en het milieu onvoldoende is geborgd op basis van de huidige wet- en regelgeving, de toepasselijke normstelling, zoals de Regeling bodemkwaliteit, en een goed toezicht op de naleving.

Vanuit het ministerie van Infrastructuur & Waterstaat (hierna I&W) heeft het RIVM een opdracht voor een meerjarenproject (2022 – 2025) *uitloging bouw- en reststoffen*, waarbij een evaluatie wordt uitgevoerd naar de normstelling en mogelijke milieueffecten. Dit project beoogt een actualisatie van de kennisbasis voor hergebruik van secundaire grondstoffen door het in beeld brengen van de milieueffecten op bodem, grondwater en oppervlaktewater en het versterken van de kennis over het uitlogingsgedrag van (niet genormeerde) stoffen uit secundaire grondstoffen. Hiermee moet duidelijk worden welke maatregelen noodzakelijk zijn om de kwaliteit van secundaire grondstoffen beter te kunnen beoordelen. Op termijn kan deze kennis worden ingevoerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving.

1.2 Vraagstelling

Tegen deze achtergrond is de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) een pilotproject Staalslakken gestart. Daarbij is het RIVM gevraagd om een studie van de wetenschappelijke literatuur te verrichten over de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken.

De ILT (2021) heeft in een notitie over staalslakken een probleemanalyse gemaakt van de grootschalige toepassing van deze afvalstof¹ als (secundaire)bouwstof in GWW-infrastructurele projecten (grond, water en wegenbouw). De ILT-notitie geeft beknopt uitleg van de productiewijze van staalslakken volgens het Linz-Donawitz (LD) en het elektro-oven- (ELO) proces. De ILT verwijst vooral naar Tata Steel als de enige grote producent van LD-staalslakken in Nederland. Daarbij is tevens een schema gegeven van het productieproces, dat afkomstig is van een document van Tata Steel. Dit ter onderbouwing van het rechtsoordeel van Rijkswaterstaat dat LD-staalslakken een bijproduct is conform artikel 5 van de Europese kaderrichtlijn afvalstoffen (EU-richtlijn 2008/98/EG). Daarmee zijn LD-staalslakken geen afvalstoffen als het bevoegd gezag het rechtsoordeel als grondslag gebruikt voor de vergunningverlening.

ILT heeft de volgende vragen aan het RIVM gesteld:

- Wat is de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken en welke negatieve gevolgen ontstaan door toepassingen van staalslakken in vooral de fijne fracties?
- Wat is carbonatatie? Hoe ontstaat dit? Is het ontstaan aangetoond? Treedt het op ongeacht hoe dik een laag staalslakken wordt toegepast? Heeft carbonatatie een (noodzakelijke) bewezen functie bij het toepassen van LD-staalslakken?
- Uitloggen:
 - Welke stoffen logen uit voor zover nu bekend?

¹ Volgens de *leidraad Afvalstof of Product* kunnen de LD-staalslakken als een afvalstof worden aangemerkt bij het niet voldoen aan het rechtsoordeel van Rijkswaterstaat. Enkel onder de gegeven wettelijke bepalingen, specifieke toepassingen en voorwaarden in het rechtsoordeel kunnen partijen LD-staalslakken als bijproduct worden geleverd en toegepast.

- Is al bekend of deze stoffen uitlogen uit de staalslakken of uit de bodem nadat de staalslakken hierop zijn toegepast?
- Zijn de risico's in beeld van deze uitlogende stoffen?
- Wat zijn de maatregelen die genomen moeten worden om risico tegen te gaan bij het gebruik van staalslakken?
- Sinds wanneer is "men" begonnen met de nieuwe toepassingswijze van staalslakken, in grotere dan gebruikelijke laagdikten en hoeveelheden in vooral aanvullingen of ophogingen?
- Wat is in de wet- en regelgeving terug te vinden over het gebruik/toepassen van staalslakken?
- Speelt het risico bij grote fracties ook of niet? Wat is het verschil tussen fijne en grove fracties in uitlogingsgedrag en milieurisico's?
- Zijn LD-staalslakken in de fijne fracties terugneembaar/herbruikbaar; oftewel circulair?

Het RIVM is gevraagd om op basis van een literatuuronderzoek inzicht te geven in de milieuhygiënische kwaliteit van de LD-staalslakken.

1.3 Doelstelling

De ILT wil aan de hand van de huidige wetenschappelijke inzichten bepalen wat de milieuhygiënische kwaliteit is van de LD-staalslakken bij de toepassing van dit materiaal in GWW-werken in Nederland. Hiervoor dienen de methoden en processen van de staalproductie van Tata Steel IJmuiden als uitgangspunt. De toepasselijke wet- en regelgeving, de mineralogische en chemische samenstelling van de LD-staalslakken, de uitloging van schadelijke stoffen, de milieueffecten van de ontvangende bodem zijn hierin betrokken.

1.4 Leeswijzer

Het rapport bevat 8 hoofdstukken, ondersteund met 11 bijlagen. Na een inleiding in hoofdstuk 1 over de aanleiding, de probleem -, vraag - en doelstelling geeft hoofdstuk 2 de werkwijze van het uitgevoerde literatuuronderzoek weer. Hoofdstuk 3 geeft informatie over de herkomst en het productieproces van LD-staalslakken, met als belangrijkste voorbeeld het staalproductiebedrijf van Tata Steel IJmuiden. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de fysische eigenschappen en de mineralogische en chemische samenstelling van LD-staalslakken dat als een steenachtig materiaal kan worden gekenmerkt. Hoofdstuk 5 geeft een toelichting van de toepasselijke wet- en regelgeving van de productie, toetsing of keuring, levering, gebruiksfase in een GWW-werk en de afvalfase van LD-staalslakken bij terugname of verwijdering van een bouwwerk op een landbodem. In hoofdstuk 6 is de informatie verzameld uit wetenschappelijke publicaties, rapporten, notities en documenten, aangevuld met informatie van websites over het onderwerp Milieu-effect bij de open toepassing van LD-staalslakken in werken op de landbodem. Hierbij zijn ook de recente incidenten in Nederland meegenomen. De beantwoording van de ILT-vragen staan in hoofdstuk 7. Het rapport sluit in hoofdstuk 8 af met een conclusie van het RIVM over de juistheid en volledigheid van de verzamelde informatie. Ook geeft het RIVM enkele aanbevelingen voor nader onderzoek.

2 Werkwijze

De literatuurstudie is uitgevoerd door met trefwoorden te zoeken naar de relevante wetenschappelijke publicaties in bibliografische literatuurbestanden, zoals Scopus, Google Scholar, RIVM Bibliotheek. Ook zijn relevante literatuurverwijzingen in bestudeerde publicaties verzameld en bestudeerd. Als trefwoorden zijn gebruikt: *slag*, *converter*, *steelmaking*, *leaching* en *heavy metals*.

Tevens heeft de ILT documenten van enkele casussen (waaronder "Golfbaan Spijk") over problemen met LD-staalslakken aan het RIVM beschikbaar gesteld.

Ook zijn relevante websites over het onderwerp bezocht voor ondersteunende informatie. Te noemen zijn de websites van: Bodem+, RIVM, Rijkswaterstaat, Infomil, Tata Steel IJmuiden, nationale en Europese wetgeving en het LAP (Landelijk afvalbeheerplan).

Voor een beoordeling van de milieuhygenische kwaliteit zijn de volgende onderwerpen relevant:

- a) De mineralogische en chemische samenstelling van de LD-staalslakken en de invloed van de omgevingsfactoren hierop, alsmede de afhankelijkheid van plaats en tijd bij een toepassing.
- b) Het uitloggedrag van schadelijke/gevaarlijke stoffen van vooral zware metalen en hun verbindingen in LD-staalslakken.
- c) De hoge pH-uitloging en de invloed dat die uitloging heeft op de milieukwaliteit van de onderliggende bodem en het oppervlaktewater.
- d) De milieueffecten van genormeerde schadelijke, maar vooral ook andere niet genormeerde stoffen in de LD-staalslakken, zoals de zeer zorgwekkende stoffen en de hierboven genoemde pH.
- e) De gevolgen van afwijkingen van de toepassingsvoorwaarden.
- f) De validiteit van de huidige uitloogproeven (kolom- en diffusieproef) naar een tijdschaal van maximaal 100 jaar in praktijktoepassingen.
- g) De terugneembaarheid van toegepaste LD-staalslakken in de grond-, weg- en waterbouw (GWW).

Het RIVM heeft deze aandachtspunten in de literatuurstudie betrokken.

3 Staalproductie

3.1 Productiemethoden

De wereldwijde productie van staal is voor ongeveer 60 procent gebaseerd op de hoogoven/oxystaaloven route en voor circa 40 procent op de vlamboogoven route. Daarbij zijn volgens het BAT-document (2012) vier productiemethoden te onderscheiden. Dit zijn:

- a) De primaire reductie van ijzererts via toevoeging van cokes in de hoogoven tot de vorming van ruwijzer en vervolgens de omzetting naar staal via het oxystaalproces.
- b) De primaire reductie van ijzererts (Corex/Einex-proces), gevolgd door het smelten en vervolgens het omzetten van ruwijzer naar staal met het oxystaalproces.
- c) De productie van *directly reduced iron*, dat samen met schroot tot staal wordt verwerkt in elektrische vlamboogovens.
- d) De productie van staal uit schroot in elektrische vlamboogovens.

In bijlage A van dit rapport staat een schema van de vier staalproductiemethoden.

De meest gebruikte productiemethode volgens "a" is de methode die Tata Steel IJmuiden ook toepast. Het ijzererts wordt met toevoegingen van gepelletiseerd en gesinterd (fijne fracties van) ijzererts, fluxen van kalksteen, dolomiet of hergebruikte slakken, schroot en cokes in de hoogoven bij hoge temperatuur gesmolten. Tijdens de primaire reductie in de hoogoven worden de cokes na gedeeltelijke verbranding omgezet in koolmonoxide. Die dient als reductor voor de omzetting van de ijzeroxiden in het ijzererts naar vloeibaar ruwijzer. Koolmonoxide oxideert hierbij naar kooldioxide. Dit broeikasgas komt tijdens het proces vrij.

In de volgende stap vindt de omzetting plaats van ruwijzer naar staal. Het proces van de omzetting van het ruwijzer naar staal heet het oxystaalproces, oftewel het Linz-Donawitz (LD)-proces waarnaar de LD-staalslakken zijn vernoemd. In dit proces wordt het gesmolten ruwijzer met een hoog koolstofgehalte van circa 4 massaprocent afkomstig van de hoogoven samen met fluxen van kalksteen, dolomiet of herbruikbare hoogoven/staalslakken en staalschroot ("scrap") in een convertervat gebracht. Daarna wordt 99 procent zuivere zuurstof met een lans in het vat geblazen. Vanwege de exotherme chemische reactie waarbij warmte vrijkomt, stijgt de temperatuur in de converter tot 1.700 °Celsius. Het koolstofgehalte van het gesmolten ijzer daalt tot onder de 1 massaprocent en resulteert daarmee in vloeibaar staal. Tijdens dit proces oxideren aanwezige ongewenste (zware) metalen en elementen, zoals fosfor, zwavel en silicium tot hun oxiden. In bijlage D staan de belangrijkste chemische reacties van de oxidatie.

De gevormde slakken zullen de metaaloxiden, als onzuiverheden van het gesmolten staal, absorberen. Tijdens het "blazen" van zuurstof in de converter ontstaat een emulsie van het gesmolten staal met de gevormde slakken. Dit vergemakkelijkt het raffinageproces van het staal. Na afloop wordt het convertervat gekanteld en het staal afgegoten

in staalpannen. Vervolgens worden de slakken met de onzuiverheden afgegoten in slakpannen en aan de buitenlucht of met water afgekoeld. Dit zijn de LD-staalslakken.

In de daaropvolgende metallurgische processtappen wordt het afgescheiden gesmolten staal verder bewerkt tot eindspecificaties. Afhankelijk van de gestreefde specificaties van het staal worden chroom (Cr), nikkel (Ni), kobalt (Co), molybdeen (Mo), vanadium (V), mangaan (Mn) of koper (Cu) als legeringsmetalen toegevoegd aan het gesmolten staal. Het zijn deze metalen die op enig moment in het staalschroot kunnen terugkeren als toevoeging in het oxystaalproces. Dit verklaart voor een deel de aanwezigheid van legeringsmetalen in de LD-staalslakken. De legeringselementen zijn ook aanwezig in de toegepaste grondstoffen, voornamelijk in het ijzererts.

Na de afkoelingsfase op het terrein van Tata Steel IJmuiden bewerkt de firma Harsco de LD-staalslakken. Deze firma staat onder contract van het staalproductiebedrijf. Deze bewerking houdt onder meer het magnetisch afscheiden van ijzer-/staal- resten in en een mechanische bewerking, zoals het breken en zeven voor een ordening in fracties van de korrelvormige LD-staalslakken op de deeltjesgrootte. De fracties zijn, afhankelijk van hun eigenschappen en specificaties, geschikt voor diverse beoogde toepassingen. Een deel kan in het staalproductieproces worden hergebruikt om kalksteen en dolomiet te vervangen. Dit vanwege de hoge gehalten aan onder meer calciumsilicaten, calciumcarbonaten en calciumoxide. In bijlage B en C staan processchema's van het hoogoven-/oxystaal-productieproces en de productie van diverse fracties van LD-staalslakken bij Tata Steel IJmuiden. Op de website van Tata Steel IJmuiden staan factsheets. Daarin is onder meer te lezen dat het bedrijf op jaarbasis circa 730 kiloton oftewel 730.000 ton, LD-staalslakken produceert. Het bedrijf Pelt&Hooykaas verhandelt dit materiaal op basis van contractafspraken met Tata Steel IJmuiden onder NL-BRL-productcertificaten in de bouwsector.

Voorafgaand aan het oxystaalproces ondergaat het ruwijzer een ontzwavelingsproces. In essentie worden reductoren zoals calciumcarbide, calciumoxide en magnesium aan het ruwijzer toegevoegd. Deze stoffen binden het zwavel tot calcium – en magnesiumsulfiden, die vervolgens in de gevormde slakken absorberen. De slakken ontstaan tijdens het ontzwavelingsproces na toevoegingen van dolomiet en kalksteen en worden van het vloeibare ruwijzer afgeschraapt of afgegoten. Een interessante website met informatie over industriesporen in Nederland licht onder meer het verleden tot heden toe over de ruwijzer ontzwaveling- en afslakinstallaties (ROZA) van Tata Steel IJmuiden. Het transport van het ruwijzer vanaf de hoogovens, de ROZA's en de oxystaalovens gebeurt op sporen waarop locomotieven met treinwagons geladen met oven- en slakpannen kunnen rijden.

3.2 Staalslakken

In het BAT-referentiedocument (2012) staat welke soorten slakken in verschillende fasen van het Linz-Donawitz staalproductieproces

ontstaan. Uitgedrukt in kilogram per ton (=1000 kilogram) staalproduct zijn de volgende soorten slakken te onderscheiden:

- a) 3 tot 21 kilogram slakken tijdens het ontzwavelingsproces dat bij de voorbehandeling van het ruwijzer gebeurt.
- b) 85 tot 165 kilogram LD-staalslakken tijdens het oxystaalproces,
- c) 9 tot 15 kilogram LD-staalslakken bij secundaire metallurgische processen.
- d) 4 tot 5 kilogram LD-staalslakken tijdens het continue gieten.

De fractie LD-staalslak van het oxystaalproces (zie b) vormt met ten minste 80 massaprocent een groot aandeel van het totaal aan geproduceerde LD-staalslakken. De genoemde soorten en de verhoudingen komen overeen met de beschrijving in het document van Pelt&Hooykaas (2011). In het document onderbouwt Pelt&Hooykaas, dat LD-staalslakken van Tata-Steel IJmuiden niet als een afvalstof, maar als een bijproduct kan worden aangemerkt. Dit volgens artikel 5 van de Kaderrichtlijn afvalstoffen. Op basis van het rechtsoordeel van Rijkswaterstaat (2017) is vastgesteld, dat de LD-staalslakken voldoen aan de juridische status van een bijproduct voor specifieke toepassingen in de GWW-sector.

In een recente notitie geeft Pelt&Hooykaas (2021) een toelichting over een mengsel van drie verschillende soorten LD-staalslakken, te weten converterslak, slobslak en giethalslak. De relatieve massaverhouding per massa-eenheid staalproductie is 80 procent converterslak, 15 procent slobslak en 5 procent giethalslak. Deze verhoudingen komen overeen met die uit het BAT-referentiedocument (2012) en het rapport van Pelt&Hooykaas (2011). Op het terrein van Tata Steel IJmuiden worden de converterslakken afgescheiden van het gesmolten staal door ze in slakpannen over te gieten. De slakpannen gaan vervolgens per spoorwagens naar de slakputten waarin de vloeibare slakken worden uitgegoten. Tijdens het vullen van de slakputten vindt uitsluitend koeling van de staalslakken aan de buitenlucht plaats. Nadat de slakputten volledig zijn gevuld, past men ook koeling met water toe. Hiervoor gebruikt men sproei-installaties en steamboxen. De slakken die tijdens het oxystaalproces uit de converter koken, zijn de slobslakken. Een verschil met de converterslakken is dat slobslakken meer vrije kalk kunnen bevatten. De restanten van LD-staalslakken die na het afgieten van het gesmolten staal in de staalpan of pan-oven achterblijven, noemt men de giethalslakken. Deze vallen onder de secundaire metallurgieslakken. Secundaire metallurgieslakken ontstaan in de pan-oven waarin het vloeibare staal verder bewerkt wordt tot eindspecificaties door toevoeging van legeringselementen. In het BAT-referentiedocument (2012) zijn metallurgische bewerkingen genoemd, zoals homogeniseren, toevoegen van legeringsmetalen en onder vacuüm verlagen van de concentraties koolstof, waterstof, stikstof, fosfor en zuurstof.

Volgens het in Helsinki gevestigde Europese Agentschap Chemische stoffen (ECHA) is de converter-LD-staalslak van Tata Steel IJmuiden geregistreerd onder het nummer 01-2119487458-21-XXXX-NL (website ECHA). De beoordelingssystematiek voor de gevaarindeling van stoffen, mengsels en voorwerpen is bepaald in de Europese verordening *Classification Labelling and Packaging (CLP) EC/1272/2008*.

Volgens de CLP-verordening moeten bedrijven die chemische producten op de markt brengen, een gevaarindeling opstellen en die melden bij het ECHA. De indeling wordt opgenomen in de notificatie Database. Hieruit blijkt dat het materiaal is ingedeeld als "niet-gevaarlijk". Het veiligheidsblad getiteld *Steelmaking Slag Converter (BOS)- safety data sheet* (2015) bevat onder meer een korte toelichting van het staalproductieproces. Verder staat daarin informatie over de chemische en minerale samenstelling van de LD-staalslakken en de toepassingen ervan.

3.3 Samenvatting

In Nederland is Tata Steel IJmuiden het enige bedrijf dat staal produceert volgens het Linz-Donawitz-proces. Bij dit zogeheten oxystaalproces wordt het ruwijzer afkomstig van de hoogovens op het bedrijfsterrein omgezet in staal. Dit gebeurt in een convertervat waarin behalve ruwijzer ook dolomiet, kalksteen en ijzer/staalschroot zijn samengevoegd tot een vloeibaar mengsel of emulsie. Hierin wordt vervolgens met een lans, onder continue inblazen, zuiver zuurstof aan de vloeibare emulsie toegevoegd. Door oxidatie van koolstof in koolmonoxide en -dioxidegas daalt het koolstofgehalte in het vloeibare ruwijzer van circa 4 massaprocent tot onder de 1 massaprocent. Hierdoor ontstaat dus gesmolten staal. Tijdens dit proces worden onzuiverheden, zoals metaaloxiden, in de gevormde slakken geabsorbeerd. Dit zijn de LD-staalslakken die tijdens het oxystaalproces in het vat komen bovendrijven. Het vloeibare staal scheidt men van de vloeibare LD-staalslakken. De slakken koelt men vervolgens aan de lucht of gecombineerd met water tot de vorming van een steenachtig materiaal.

Contractant Harsco verwerkt na het breken, ontijzeren en zeven, de LD-staalslakken tot diverse fracties met verschillende deeltjesgrootte in een range van enkele millimeters tot maximaal 150 millimeters. Pelt&Hooykaas vermarkt het materiaal onder NL-BRL-productcertificaten aan aannemers voor diverse toepassingen in de grond-, weg- en waterbouw. Daarbij is het materiaal geen afvalstof maar een bijproduct, waarvoor een REACH-registratie bestaat. De producent of leverancier deelt de stof of het product in als niet-gevaarlijk.

4 Chemische en minerale samenstelling

Er zijn in de afgelopen jaren tal van wetenschappelijke studies gepubliceerd over onderzoeken naar de chemische en minerale samenstelling van de LD-staalslakken. Dit gebeurde onder meer door Waligora et al (2010), Chand et al (2016), Tripahty et al (2021), Ashrit et al (2018, refnr.26), Yildirim and Prezzi (2011) en Ashrit (2018, refnr.32).

Voor het onderzoek naar de minerale samenstelling en de morfologie van LD-staalslakken zijn de volgende analysetechnieken het meest in zwang:

- *X-ray diffraction* (XRD);
- *Scanning electron* microscopy gekoppeld aan *energy dispersive spectrometer* (SEM-EDS);
- *Electron probe microanalyses* (EMPA);
- *Transmitted electron* microscopy gekoppeld aan *energy dispersive spectrometer* (TEM-EDS).

De samenstellingsonderzoeken tonen ons dat de belangrijkste bestanddelen van LD-staalslakken bestaan uit calciumsilicaten en oxiden van magnesium (Mg), calcium (Ca), ijzer (Fe), aluminium (Al) en mangaan (Mn). In tabel 1 staat een overzicht van de belangrijkste mineralen. Een uitgebreider overzicht met informatie uit verschillende publicaties hierover staat in bijlage E.

De calciumsilicaten kunnen als mono-, di- en tricalciumsilicaat-zouten (CaSiO_3 , Ca_2SiO_4 en Ca_3SiO_5) en als kristallijne stoffen in verschillende ruimtelijke ordeningen in eenheden voorkomen als $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ en $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Calciumsilicaten zijn reactief met water tot de vorming van gehydrateerde calcium- en siliciumoxide kristalstructuren met eenheden als $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ en de vorming van calciumhydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. De chemische reactie is feitelijk het proces van steenvorming of uitharding. Daarbij worden sterke gehydrateerde kristalstructuren opgebouwd, die de LD-staalslakken de uiteindelijke fysische kenmerken geven.

In de afkoelingsfase aan de lucht treedt tevens carbonatatie op. Carbonatatie is de chemische reactie van het aandeel beschikbaar vrije calciumoxide (CaO) en het aanwezige $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in de staalslakken met koolstofdioxide (CO_2) uit de lucht tot de vorming van calciumcarbonaat (CaCO_3). Calciumcarbonaat komt van nature in kalksteen voor en is in zuivere vorm een wit poeder dat vrijwel onoplosbaar is in water. In kristalvorm is het kleurloos.

Tijdens de langzame afkoelingsfase van LD-staalslakken zijn de tricalciumsilicaten (Ca_3SiO_5) instabiel en zetten zich om tot dicalciumsilicaten (Ca_2SiO_4) onder afsplitsing van ongebluste kalk (CaO). Uit enkele studies, waaronder die van Waligora et al (2010), blijkt dat er geen tricalciumsilicaten aantoonbaar zijn in de beproefde LD-staalslakken. Waligora et al (2010) heeft op basis van een samenhangend pakket van verschillende analysetechnieken bewijs geleverd, dat het vrije CaO in twee verschijningsvormen in de LD-

staalslakken voorkomt. Deze vormen zijn ingesloten of ingekapseld in de microcellen van de LD-staalslakken met diameters van 1 tot 3 micrometer en als spotjes, knobbeltjes of pitten van CaO in de matrix van de calciumsilicaten met diameters tussen grofweg 20 tot 100 micrometer. Dit is een meer open cellenstructuur. De ingesloten CaO ontstaat uit de degradatie van het instabiele Ca_3SiO_5 naar het meer stabiele Ca_2SiO_4 . De pitten CaO zijn afkomstig van de tijdens het oxystaalproces toegevoegde flux van kalksteen (CaCO_3), dolomiet ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$) en hoogoven- of staalslakken. De belangrijkste chemische verbindingen van de fluxsamenstelling zijn CaCO_3 en MgCO_3 . Onder de heersende oventemperatuur breken de carbonaten af tot CaO, MgO en het broeikasgas kooldioxide CO_2 .

Tabel 1 Belangrijkste mineralen in LD-staalslakken met opgegeven gehalten in % m/m, Das et al (2007).

Mineralen	% m/m
tricalcium silicaat (Ca_3SiO_5)	0 – 20
dicalcium silicaat (Ca_2SiO_4)	30 – 60
Overige silicaten	0 – 10
magesiumcalciumwustiet (Mg, Ca, Fe)O	15 - 30
dicalciumaluminiumferriet $\text{Ca}_2(\text{Fe, Al, Ti})_2\text{O}_5$	10 – 25
Magnesium fasen (Fe, Mn, Mg, Ca)O	0 – 5
kalkfase (Ca, Fe)O	0 – 15
periclase (Mg,Fe)O	0 – 5
fluoriet CaF_2	0 – 1

Ashrit et al (2018) heeft op basis van infraroodspectrometrie van LD-staalslakken afkomstig van Tata Steel in India onderzoek gedaan naar een verband van de deeltjesgrootteverdeling van drie fracties van LD-staalslakken en de minerale en chemische samenstelling. Er is vastgesteld dat van de fracties 2,0–6,0 mm, 0,25–2,0 mm en <0,25 mm het hoogste gehalte van vrije CaO in de fijnste deeltjesgroottefractie is te vinden. De gehalten nemen respectievelijk toe van 3,4 via 7,5 naar 9,7 massaprocent in de fijnste fractie. De chemische analyse toont ook aan dat van de vier verschillende calciumsilicaten, zoals dicalciumsilicaat, larniet en alfa- en beta, dicalciumsilicaat, die in de meest grof-korrelvormige fractie zijn aangetroffen, alleen alfa dicalciumsilicaat nog in de fijnste fractie identificeerbaar is. Dit kan worden verklaard door de degradatie van de grote LD-slakken naar fijne deeltjes van dicalciumsilicaten tot vrije kalk en calciumsilicaat tijdens het afkoelingsproces.

Het onderzoek van Singh et al (2020) bevestigt dat meerdere stoffen kunnen zijn ingekapseld in de kristalstructuren van calciumsilicaten. Singh et al (2020) heeft op basis van meettechnieken onder meer de

fysisch structuur van LD-staalslakken onderzocht. Het onderzoek heeft aangetoond dat de LD-staalslakken zich kenmerken door een blaasjes of cellenstructuur in de gesteenten. Aanvullend op het onderzoek van Waligora et al (2010) verklaart Singh et al (2020) dat de cellenstructuur tevens ontstaat door de vorming en ontsnapping van gassen (bijvoorbeeld fosforgas en koolstofdioxide) tijdens het oxystaalproces en tijdens de afkoelingsfase van de LD-staalslakken.

De LD-staalslakken lijken op een losse verzameling van hoekvormige korrels. De korrelgrootteverdeling varieert van 6 tot 20 mm. De dichtheid van LD-slakken ligt tussen 3.300 en 3.600 kg/m³, terwijl de dichtheid van natuurlijke toeslagstoffen zoals zand, klei of grind, varieert van 1.500 tot 1.680 kg/m³. Het is vanwege het hoge ijzergehalte hoger dan die van de natuurlijke toeslagstoffen. De wateropname varieert van 0,20 tot 2,50 massaprocenten. De pH van het water, dat in contact treedt met de LD-staalslakken, varieert van 11 tot 12 en is daarmee zeer alkalisch. Dit komt vooral door de aanwezige vrije CaO en MgO en de chemische reactie met water tot de vorming van Ca(OH)₂ en Mg(OH)₂. Een fysisch effect is dat de LD-staalslakken hierdoor kunnen zwellen met een volumetoename van 1 tot 4 procent (zie tabel in bijlage J). Deze eigenschap is vooral een aandachtspunt bij civiele toepassingen, zoals funderingslagen onder wegen. De compressiesterkte, oftewel de hardheid, van LD-staalslakken, is met 100 MPa hoog en benaderd hiermee de hardheid van granietsteen. In bijlage J staat een compleet overzicht van de materiaaleigenschappen.

In de bouwwereld is het gebruikelijk te werken met mengsels, species of mortels van een bindmiddel, toeslagstoffen en water. Als bindmiddel worden afhankelijk van de toepassingseisen i) cement (calcium-aluminium-silicaten), ii) kalk (calciumcarbonaten) of iii) gips (calciumsulfaten) gebruikt of een combinatie hiervan. Voor toeslagstoffen worden meestal grind, zand, klei, kunststof – of staalvezels of mengsels hiervan toegepast. Na toevoeging van water start de onomkeerbare chemische reactie tot een volledige uitharding. Hierbij ontstaat warmte. De bindmiddelen die met water reageren, noemt men ook hydraulische bindmiddelen. LD-staalslakken beschikken over deze hydraulische bindmideleigenschappen. In het rapport van Pelt&Hooykaas (2011) en in het veiligheidsblad (2015) van converter LD-staalslakken zijn toepassingen als hydraulische bindmiddelen genoemd.

In recente studies van onder meer Singh et al (2020) is vastgesteld dat LD-staalslakken minder goede cementachtige eigenschappen hebben dan bijvoorbeeld hoogovenslakken. Dit komt vooral door de hoge gehalten van oxiden van calcium, ijzer, magnesium en fosfor in verhouding tot de aanwezige siliciumoxiden. Zo is de verhouding van CaO/SiO₂ in de LD-staalslakken tot maximaal 5 aanzienlijk hoger dan die van de hoogovenstukslakken met waardes tot maximaal 2. LD-staalslakken kunnen als toeslagstoffen of in menggranulaten met hoogovenstukslakken tot betere cementachtige eigenschappen leiden. Een recente studie van Palod et al (2020) laat zien dat een gedeeltelijke vervanging van cement met 20 massaprocent LD-staalslak een verbetering van de duurzaamheid, microstructuur en sterkte oplevert.

Op basis van verschillende analysetechnieken concludeert men dat de aangemaakte specie na 28 dagen van uitharding vooral uit gehydrateerde calciumsilicaten en calcium-aluminium-silicaten is samengesteld. Een afwijking van de 20 massaprocent naar boven of beneden resulteert in een verslechtering van de fysische eigenschappen.

Voor het onderzoek naar de chemische samenstelling van LD-staalslakken zijn de volgende analysetechnieken veel beproefd:

Metalenanalyse

- *inductive coupled plasma atomic emission spectrometry* (ICP-AES);
- *inductive coupled plasma optical emission spectrometry* (ICP-OES) ;
- *inductive coupled plasma mass spectrometry* (ICP-MS).

Totaalgehalten van metalen en niet-metalen

- *X-ray fluorescence spectrometry* (XRF).

Koolstof-, waterstof-, stikstof- en zwavel-elementenanalyse

- *Organic elemental analyzer*.

Gehaltebepaling CaO

- Zuur-base titratie.

Kwalitatieve analyse betrokken stoffen

- *thermo gravimetric analysis* (TGA);
- ramanspectrometrie;
- infraroodspectrometrie (IR of FTIR).

In de tabellen 2 en 3 staat de chemische samenstelling van LD-staalslakken van enkele publicaties. De tabellen tonen de gehalten van metaal- en niet-metaaloxiden en metalen als elementen.

Tabel 2 Chemische samenstelling van LD-staalslakken van oxiden en calciumsilicaten en zware metalen in massaprocenten.

Stoffen	BAT ^a	Ashrit et al ^d	Singh et al ^b	ECHA ^c
CaO	44 - 52	42,87	42 - 50	49 (53)
CaO (vrij)	0,2 - 10			6 (9,5)
SiO ₂	9 - 24	10,6	12 - 26	14 (18)
CaO/SiO ₂	2,5 - 4		2 - 5	
Al ₂ O ₃	1 - 2	0,96	2 - 11	2 (5)
MgO	2 - 4	3,36	1 - 9	2,5 (6)
Fe totaal	12 - 16	31,57		18 (22)
Fe metallisch	≤ 1	14,36		
FeO	12 - 13	16,81	8 - 24	
Fe ₂ O ₃	11 - 12	5,97	3 - 22	
MnO	2 - 5	0,36	2 - 6	
S		0,15	0,1 - 0,6	
C		0,88		
Cr ₂ O ₃	0,2 - ≤1			0,3 (0,5)
TiO ₂	0,5 - 0,9	0,89		n.d.
V ₂ O ₃	0,1 - 0,3			
P ₂ O ₅	2 - 15	2,16		1,5 (2,7)
3CaO.SiO ₂	0 - 20			
2CaO.SiO ₂	35 - 70			
2CaO.Fe ₂ SiO ₂	0 - 30			

Opmerking:

De getallen van kolom "ECHA" zijn de gemiddelde meetwaarden. De getallen tussen haakjes de maximale meetwaarden.

- BAT reference document (2012);
- Singh et al (2020);
- ECHA (website; maart 2022);
- Ashrit et al (2018).

Tabel 3 De gehalten van zware metalen in LD-staalslakken opgegeven in mg/kg.

Element	Ashrit et al ^a	BAT ^b	ECHA ^c
Boor (B)	71		
Cadmium (Cd)	1,00	0,6	<1
Koper (Cu)	132	42	30 (50)
Nikkel (Ni)	43		4 (9)
Lood (Pb)	2,1	34	6 (8)
Chroom (Cr)	355	580	-
Arseen (As)	0,6	33	<1
Kwik (Hg)	2,5		<1
Molybdeen (Mo)	53		20 (80)
Beryllium (Be)	33		
Kobalt (Co)	94		7 (10)
Zink (Zn)		51	60 (150)
Tin (Sn)	4600		
Vanadium (V)	2050		300 (600)
Strontium (Sr)	1280		

Opmerking:

De getallen van kolom "ECHA" zijn de gemiddelde meetwaarden. De getallen tussen haakjes de maximale meetwaarden.

- Ashrit et al (2018);
- BAT document (2012);
- ECHA (website; maart 2022).

Zoals eerder aangegeven, kan CaO in vrije vorm en in gebonden vorm in de LD-staalslakken voorkomen. Daarbij is duidelijk, dat het gehalte van CaO (gebonden en vrije vorm) tot 60 massaprocenten kan bedragen. De verhoudingen variëren sterk. Zo zijn gehalten tot 15 massaprocent vrije CaO mogelijk. Pelt&Hooykaas (2011) rapporteert een vrije CaO gehalte in de LD-staalslakken van Tata Steel IJmuiden van 4 massaprocent. Verder bevatten de LD-staalslakken circa 2 tot 6 massaprocenten mangaanoxide (MnO) en relatief lage gehalten aan zware metalen voor onder meer zink (Zn), lood (Pb), cadmium (Cd), arseen (As) en koper (Cu) met waarden tot orde grootte 50 mg/kg. Alleen voor chroom (Cr), tin (Sn), vanadium (V) en Strontium (Sr) worden hogere waarden in de LD-staalslakken aangetroffen in een gebied tussen 300 tot 5000 mg/kg. De weergegeven samenstelling zijn in gepubliceerde studies grotendeels overeenkomstig.

Voor zware metalen geldt dat er geen eenduidige definitie is. In de regel zijn het metalen met een specifieke dichtheid vanaf 5 g/cm³ die bij lage concentraties van blootstelling van de mens en het milieu schadelijke effecten kunnen veroorzaken. In bijlage K is een tabeloverzicht van zware metalen met hun atoomnummers volgens de publicatie van Jaishankar M et al, 2014.

Ashrit et al (2018) hebben voor hun analytisch chemisch onderzoek naar metalen in LD-staalslakken inductief gekoppelde plasma-massaspectrometrie (ICPMS) toegepast. Deze analysetechniek is een krachtig hulpmiddel voor het analyseren van metalen in milieumonsters, industrieel afval en monsters van biogene aard.

Voor de chemische analyse is het gehalte bepaald aan zware metalen, zoals lood, cadmium, selenium en arseen in de fijn-korrelvormige fracties van de LD-staalslakken tussen 0 en 6 mm. Het gaat om LD-staalslakken van de Tata Steel-locatie in Jamshedpur, Jharkhand in India. Fijne LD-staalslakken met een korrelgrootte van 0-6 mm worden verkregen na de terugwinning van ruw ijzer via fysieke scheiding in afvalrecyclinginstallaties. Ze worden meestal gerecycled in het sinterproductieproces.

4.1 Samenvatting

De mineralogische samenstelling van LD-staalslakken kenmerkt zich door de aanwezigheid van vooral silicaten, carbonaten, oxiden en hydroxiden van calcium, magnesium, mangaan, silicium, aluminium en ijzer. De steenvorming van vloeibare LD-staalslakken tijdens het afkoelen, is te verklaren door de vorming van kristalstructuren door de chemische reactie van de verschillende molecuulstructuren van calciumsilicaten met water (hydraulische binding). Verder vindt carbonatatie plaats door de chemische reactie van het vrije calciumoxide en calciumhydroxide met kooldioxide uit de lucht tot de vorming van calciumcarbonaten (kalksteen).

Tijdens het afkoelen ontstaat op microschaal een afgesloten cellenstructuur van 1 tot 3 micrometer in het steenachtige materiaal. Dit komt door degradatie van tricalciumsilicaten tot de vorming van de meer stabiele dicalciumsilicaten, onder afsplitsing van calciumoxide. Het vrije calciumoxide kan hierdoor ingesloten raken in de cellenstructuur.

Er ontstaat ook een cellenstructuur door de vorming en ontsnapping van fosfor en kooldioxide gassen. Het gevormde vrije calciumoxide ontstaat voor een groot deel direct na de toevoeging van kalksteen en dolomiet bij aanvang van het oxystaalproces. De totaalgehalten aan calciumoxiden kan tot 60 massaprocent bedragen. Hierbij varieert het aandeel vrije calciumoxide sterk in een bandbreedte van enkele massaprocenten tot maximaal 15 massaprocent. Het CaO-gehalte is met circa 10 massaprocent hoger in materialen met kleine korrelgrootte van <0,25mm en bedraagt circa 4 massaprocenten bij een korrelgrootte in de materialen tussen 2 en 6mm.

Vanwege de absorptie van metaaloxiden tijdens het oxystaalproces is een groot aantal verschillende metalen in de afgekoelde LD-staalslakken te verwachten. Uit wetenschappelijke publicaties van het analytisch chemisch onderzoek van de chemische samenstelling van LD-staalslakken zijn met metingen oxiden aangetoond van arseen, beryllium, boor, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, strontium, tin, titanium, vanadium en zink.

5 Wettelijk kader

5.1 Inleiding

In Nederland worden LD-staalslakken vooral als secundair bouw materiaal toegepast in de grond-, weg- en waterbouw. Daarin hebben de LD-staalslakken niet de juridische status van afvalstof. Voor de inzet in infrastructurele projecten moeten de partijen LD-staalslakken naast civieltechnische eisen ook aan wettelijke milieueisen voldoen, zoals de samenstelling en de emissie van schadelijke stoffen. De volgende tekst licht op relevante onderdelen de manier toe waarop de wetgeving voor de productie, afzet, toepassing en afvalfase van LD-staalslakken is afgebakend.

5.2 REACH – Registration, Evaluation, Autorisation of Chemicals

Bij Tata Steel IJmuiden wordt op jaarbasis circa 730.000 ton LD-staalslakken geproduceerd (zie hoofdstuk 3). Dit steenachtige materiaal wordt verwerkt tot secundaire bouwmaterialen voor toepassingen in onder meer GWW-werken. Pelt&Hooykaas vermarkt onder contract van het staalproductiebedrijf de LD-staalslakken als bijproduct aan afnemers in de GWW-sector.

Vanwege de juridische status van LD-staalslakken als bijproduct moet Pelt&Hooykaas voldoen aan de REACH-verordening (EG) 1907/2006. Deze verordening regelt de verplichtingen voor bedrijven die chemische stoffen produceren, gebruiken, verwerken en verhandelen. REACH geldt voor chemische stoffen, mengsels en voorwerpen waarin chemische stoffen zijn verwerkt. Producenten en importeurs moeten hun chemische stoffen registreren en aantonen dat deze veilig worden gebruikt. De REACH-verordening bevat daartoe verplichtingen voor het opstellen van een veiligheidsinformatieblad. In dit wettelijk kader is de converter-LD-staalslak van Tata Steel IJmuiden geregistreerd onder het nummer 01-2119487458-21-XXXX-NL. Het veiligheidsblad *Steelmaking Slag Converter (BOS)- safety data sheet (2015)* legt onder meer kort het staalproductieproces uit. Verder staat daarin informatie over de chemische en minerale samenstelling van de LD-staalslakken en de toepassingen daarvan.

5.3 CLP – Classification, Labelling and Packaging

In de CLP-Verordening (EG) 1272/2008 staan de bepalingen voor de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels. Een overzicht van de CLP-wetgeving staat op de ECHA-website. Volgens de verplichte kennisgeving van bedrijven aan ECHA zijn LD-staalslakken als niet-gevaarlijke UVCB – *Unknown of Variable Composition, complex reaction products of Biological materials* - stof geïdentificeerd. Zo zijn er geen gevaren voor acute en/of chronische toxische en ecotoxicologische effecten te verwachten op basis van uitgevoerde testen in wetenschappelijke studies. Dit blijkt onder meer uit de informatie over materiaaleigenschappen op de website van de ECHA (bron: [Brief Profile – ECHA, europa.eu](#)).

5.4 Bbk en Rbk – Besluit en Regeling bodemkwaliteit

De voorwaarden en eisen over de milieuhygiënische kwaliteit van bouwstoffen en grond zijn bepaald in het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en de Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Secundaire bouwmaterialen zoals LD-staalslakken moeten een wettelijke erkenning van de minister van I&W hebben om een milieukwaliteitsverklaring te krijgen. Dit kan op basis van nationale beoordelingsrichtlijnen (NL-BRL's) met daarin toegelichte keuringsregimes of op basis van partijkeuringen, uitgevoerd door gecertificeerde of geaccrediteerde organisaties volgens hiervoor ontwikkelde methoden en voorschriften voor de technische uitvoering². Het technisch onderzoek betreft onder meer een representatieve bemonstering van een partij bouwstoffen, een chemische analyse van de samenstelling van de verzamelde monsters van de bouwstof, en een uitloogproef voor de bepaling van de emissies van schadelijke stoffen. De wettelijke normstelling onderscheidt de gestelde milieueisen voor vormgegeven-, niet-vormgegeven (korrelvormig) – en IBC- (isoleren, beheren en controleren) bouwstoffen. Ze staan in de tabellen 1 en 2 van bijlage A van de Rbk. De normstelling over de uitloging richt zich op (zware) metalen zoals: antimoon, arseen, barium, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, seleen, tin, vanadium en zink. Dit is aangevuld met anionen, zoals: bromide, chloride, fluoride en sulfaat. Voor de metalen zijn geen grenswaarden van de verschillende speciaties vastgesteld. Er is bijvoorbeeld geen maximale emissiegrenswaarde voor hexavalent chroom, maar voor chroom als totaal van alle voorkomende valenties. Er is ook geen grenswaarde voor de pH vastgesteld.

De grenswaarden van de chemische samenstelling is genormeerd voor organische stoffen, zoals: aromatische stoffen (BETX en fenol), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (10 VROM PAK), polychloorbifenylen (7 indicator PCB), minerale olie en asbest. Dit betekent dat er geen normstelling is bepaald voor de samenstelling van anorganische stoffen, zoals metalen en hun verbindingen. Voor wat betreft de genormeerde chemische samenstelling van organische stoffen, mag ervan worden uitgegaan dat de LD-staalslakken hieraan (kunnen) voldoen. De slakken ontstaan tijdens het oxystaalproces bij een temperatuur tot 1.700 °Celsius. Onder deze omstandigheden worden organische stoffen volledig omgezet tot eenvoudige elementaire verbindingen, zoals koolstofdioxide, stikstofdioxide, fosforoxide, zoutzuurgas, waterstofluoride en waterdamp.

Het Bbk onderscheidt bouwstoffen (bv LD-staalslakken) en grond of baggerspecie. Voor het toepassen van bouwstoffen definieert het Bbk dit als het aanbrengen of houden van bouwstoffen in een werk en het laten verrichten daarvan. Onder het toepassen van bouwstoffen in een oppervlaktewaterlichaam wordt verstaan het toepassen van bouwstoffen op of in de bodem of oever van een oppervlaktewaterlichaam. Hierbij is het begrip "Werk" in het Bbk (2007) gedefinieerd als een bouwwerk, weg- of waterbouwkundig werk of anderszins functionele

² (Bron bijlage C en D van Rbk) AS/BRL SIKB-protocollen 1000, 1001, 1002 voor de bemonstering en AP04-SB voor de chemische analyse van bouwstoffen; AP 04-U voor het uitloogonderzoek en AP 04-E voor de chemische analyse van de eluaten. Tevens zijn normdocumenten, zoals NEN-voorschriften, beschikbaar voor veld- en laboratoriumonderzoek.

toepassing van een bouwstof, uitgezonderd het verondiepen of het dempen van een oppervlaktelichaam en het ophogen van de bodem voor woonwijken en industrieterreinen.

5.5 NL-BRL 9345 en BRL 9310 – (nationale) beoordelingsrichtlijnen

In het geval van LD-staalslakken voldoet de producent/leverancier en diens afnemers aan de milieueisen van Bbk en Rbk als de technische onderzoeken plaatshebben volgens de nationale beoordelingsrichtlijn NL BRL 9345 *slakken en slakmengsels voor toepassing in GWW-werken (2015)*. Deze richtlijn is ontwikkeld door het *Gezamenlijk College van Deskundigen Grondstoffen & Milieu* en goedgekeurd door de *Harmonisatie Commissie Bouw van de Stichting Bouwkwiteit*. LD-staalslakken kunnen onder een KOMO-productcertificaat worden geleverd als de kwaliteit van de civieltechnische eigenschappen voldoet aan de eisen volgens BRL 9310 *LD-staalslak(mengsel) voor toepassing in de wegenbouw (d.d. 25-10-2016)*. Hierbij gaat het specifiek om de toepassing van LD-staalslakmengsel of LD-staalslak in verhardingslagen (wegfunderingen) of in straatlagen.

De BRL 9345 gaat voor het toepassingsgebied van fosfor-, hoogoven-, koper- en LD-staalslakken en hun slakmengsels uit van GWW-werken. Andere soorten slakken en de toepassing van IBC-bouwstoffen in kust- en oeverwerken vallen buiten de werkingssfeer van deze beoordelingsrichtlijn. Voor de toepassing van LD-staalslakken in oppervlaktewaterlichamen of op en in waterbodems, is de richtlijn alleen geldig op sorteringen van d/D met $d \geq 31,5$ mm en $D \geq 63$ mm. Hierin is de korrelgroep van de ondermaat (d) en de bovenmaat (D) van de korrelafmetingen weergegeven.

Er zijn in Nederland ook vormgegeven LD-staalslakken toegepast in de waterbouw. Vanwege de extreme alkalische uitloging zijn uitsluitend toepassingen mogelijk in grote dynamische oppervlaktewaterlichamen. Het gaat om onder meer dijkbescherming, zeewering, erosiebescherming en toepassingen in of op de waterbodems. Het veiligheidsblad (2015) van de converter LD-staalslak van Tata Steel IJmuiden noemt toepassingen, zoals:

- weg, plaats, grinddeklaag (ook Paddock, Dakbedekking) constructie;
- opvulling taluds;
- grondwerkconstructies;
- spoorweg ballast;
- gebruik van betonspecie, mortel;
- zelfnivellerende middelen;
- afvalwaterzuivering/waterbehandeling;
- klinker;
- meststof en bodemverbeteraar;
- zandstralen;
- grondstof voor steenwol (steenwol);
- grondstof voor gevormd (bouw)materiaal;
- wrijvingsmaterialen;
- ijzerproductie.

Bij grootschalige toepassingen van LD-staalslakken (≥ 15.000 ton) in Nederland verhandelt Pelt&Hooykaas het product BGS Fill 0/90 Z, 0/16 Z en 0/11 Z. Het is een niet-vormgegeven mengsel van drie verschillende soorten LD-staalslakken uit het oxystaalproces van Tata Steel IJmuiden. Dit zijn de eerder genoemde converter-, slob- en giethalslakken. Mits er aan de juiste toepassingsvoorwaarden wordt voldaan stelt Pelt&Hooykaas (2021) in hun notitie dat dit materiaal in grootschalige infrastructurele projecten, zoals in ophogingen, geluidswallen en op stortplaatsen, kan worden gebruikt en veilig is voor mens en milieu. Deze toepassingen zijn niet strijdig met de definitie van een werk volgens artikel 1 van de Bbk.

De niet GWW-toepassingen genoemd in het veiligheidsinformatieblad van Pelt&hooykaas vallen echter niet onder de werkingssfeer van de NL BRL 9345 voor de bepaling van de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken in GWW-toepassingen.

5.6 Wm – Wetmilieubeheer, Kra- Kaderrichtlijn afvalstoffen en Wbb – Wet Bodembescherming

In artikel 1.1, lid 6, 4^e van de Wm staat onder meer dat stoffen, mengsels of voorwerpen geen afvalstoffen, maar bijproducten zijn als er voldaan is aan artikel 5 bij de Kra. Artikel 5 van de Kra bevat de hiernavolgende vier voorwaarden op grond waarvan een afvalstof de juridische status van bijproduct kan krijgen.

- 1) Het is zeker dat de stof of het voorwerp zal worden gebruikt.
- 2) De stof of het voorwerp kan onmiddellijk worden gebruikt zonder enige verdere verwerking anders dan die bij normale productiepraktijken gangbaar is.
- 3) De stof of het voorwerp wordt geproduceerd als een integraal onderdeel van een productieproces.
- 4) Verder gebruik is rechtmatig. Met andere woorden: de stof of het voorwerp voldoet aan alle voorschriften inzake producten, milieu en gezondheidsbescherming voor het specifieke gebruik en zal niet leiden tot over het geheel genomen ongunstige effecten op het milieu of de menselijke gezondheid.

LD-staalslakken worden niet als gevaarlijk geclassificeerd volgens de verplichte REACH-registratie. In de Bbk betekent dit dat het materiaal niet als een zogeheten IBC-bouwstof wordt aangemerkt. Voor IBC-bouwstoffen zijn IBC-maatregelen van het Bbk van kracht, die tot doel hebben het contact met hemel-, grond- of oppervlaktewater te voorkomen of zoveel mogelijk te vermijden.

Afwijkingen in de toepassingen van LD-staalslakken in grondwerken kunnen een groter gevaar op blootstelling aan gevaarlijke stoffen voor de mens en zijn leefomgeving opleveren. Dit gaat om de laagdikte van LD-staalslakken, de minimale afstand vanaf de onderkant van een laag LD-staalslakken tot de gemiddeld hoogste grondwaterstand, de IBC-maatregelen en de drainagevoorzieningen van het hemelwater dat in contact treedt met het steenachtige materiaal.

Pelt&Hooykaas is bekend met de te verwachten hoge pH van het uitspoelende water dat met LD-staalslakken in contact komt. De pH uitloging is echter niet in bijlage A van de Rbk genormeerd, zodat het bedrijf bij levering van partijen LD-staalslakken de afnemers op de hoogte stelt van het gevaar van een te hoge pH-uitloging en de beschermende toepassingsvoorwaarden. Pelt&Hooykaas adviseert de afnemer om bij de toepassing altijd in overleg te treden met het bevoegd gezag. De afnemer ondertekent schriftelijk dat hij kennis heeft genomen van de toepassingseisen en -voorwaarden, zodat volgens de wet is voldaan aan de zorgplicht.

De wetgeving biedt, zoals hierboven is toegelicht, ruimte om bij afwijkingen en het milieugevaar van niet-genormeerde stoffen het zorgbeginsel toe te passen. Dit zijn de algemene zorgplichtbepalingen van artikel 1.1a Wm, artikel 13 van de Wbb en artikel 7 van het Bbk. Deze artikelen dienen als vangnet. Door onzorgvuldig handelen kunnen echter juist schadelijke effecten optreden voor de mens en het ecosysteem, zonder dat een specifiek wettelijk voorschrift wordt overtreden (bron: website Bodemplus).

In het traject naar een feitelijke (grootschalige) toepassing in een grondwerk is een effectief toezicht bij het bevoegd gezag cruciaal om de zorgplicht in voldoende mate te waarborgen. Ook in de *end of life*-fase van een grondwerk kunnen problemen ontstaan met onbeheerste of ongecontroleerde blootstelling van schadelijke stoffen in de bodem bij de toepassing van LD-staalslakken. Denk aan het niet volledig (kunnen) terugnemen van de LD-staalslakken en het onzichtbaar zijn van de slakken, doordat ze niet zijn (op)gemerkt. Vanwege de gebruiksfase van een GWW-werk van circa 50 tot 100 jaren of meer, is het traceren van LD-staalslakken sterk afhankelijk van de registratie, archivering en de communicatie van de informatie over de gebruikte bouwstoffen van een GWW-werk in de *end of life*-fase.

5.7 Leidraad product of afvalstof, versie 1.2 (2021)

Vanaf 2017 heeft het ministerie van I&W op basis van het rechtsoordeel van Rijkswaterstaat beoordeeld dat de LD-staalslakken van Tata Steel IJmuiden en geleverd door Pelt&Hooykaas onder specifieke toepassingen, te weten GWW-werken, voldoen aan de voorwaarden van artikel 5 van de Kaderrichtlijn afvalstoffen (Kra) over de status bijproduct.

De specifieke toepassingen waarvoor de LD-staalslakken als bijproduct kunnen worden aangemerkt zijn: niet-vormgegeven LD-staalslakken voor verhardingslagen en zandvervanging en steenbestorting van vormgegeven LD-staalslakken in de waterbouw. Enkel onder de gegeven wettelijke bepalingen, specifieke toepassingen en voorwaarden in het rechtsoordeel kunnen partijen LD-staalslakken als bijproduct worden geleverd en toegepast. De werkwijze en betekenis van rechtsoordelen zoals voor de LD-staalslakken in GWW-werken, is in de *Leidraad product of afvalstof* nader toegelicht. Volgens de *Leidraad Afvalstof of Product* kunnen de LD-staalslakken bij het niet voldoen aan het rechtsoordeel als een afvalstof worden aangemerkt.

Na afloop van de gebruiksfase van een werk met LD-staalslakken moeten de bouwstoffen volgens artikel 33 van Bbk terugneembaar zijn, zoals eerder is gemeld, en mogen ze niet vermengd worden met de onderliggende bodem. In deze situatie kunnen de LD-staalslakken afvalstoffen zijn, waarvoor de afvalstoffenwetgeving van toepassing is. In het kader van goed afvalbeheer op thema's zoals veiligheid, duurzaamheid en circulariteit in de keten van het ontstaan van LD-staalslakken, de verwerking, de toepassing, de terugneembaarheid en het hergebruik is het Nederlands beleid vastgelegd in het Landelijk Afvalbeheer Plan versie III (38). In hoofdstuk B.6 van LAP3 van de beleidslijn staat de beoordeling of een afvalstof kan voldoen aan de status bijproduct. Van belang is dat het door de houder aantoonbaar moet zijn dat de productie, levering en de toepassing van LD-staalslakken *zeker, rechtmatig en voldoende hoogwaardig* is om het als product te kunnen behandelen.

De gevaarindeling van LD-staalslakken als afvalstof is bepaald in de geconsolideerde Europese afvalstoffenlijst, beschikking 2000/532/EG. Daarin staat dat *afval van de verwerking van slakken* met EURAL-code 10.02.01 en *onverwerkte slakken* met de EURAL-code 10.02.02 in de rubriek 10.02 *afval van de ijzer en staalindustrie* ongevaarlijke afvalstoffen zijn. De LD-staalslakken van Pelt&Hooykaas zijn verwerkte slakken en vallen daarom niet onder de genoemde EURAL-codes, zodat dit materiaal niet is ingedeeld in de Europese afvalstoffenlijst.

Zodra de toepassing van LD-staalslakken in een bouwkundig werk eindigt, kunnen de terug te nemen LD-staalslakken die mogelijk ook gemengd zijn met andere bouwstoffen in de spiegelrubriek gevaarlijke afvalstof (SG) met EURAL-code 17.01.06* of niet-gevaarlijke afvalstof (SNG) met EURAL-code 17.01.07 vallen. De gevaarindeling moet dan op basis van kennis en of technische onderzoeken plaatsvinden.

De beoordelingssystematiek van de gevaarclassificatie van afvalstoffen (in SG of SNG) is anders dan die van de CLP-verordening van stoffen, mengsels en voorwerpen met een productstatus. Een afvalstof is gevaarlijk als deze een of meerdere gevaareigenschappen bezit (HP1 t/m HP15) die in bijlage III van de afvalstoffenkaderrichtlijn staan. De aard en hoeveelheid van gevaarlijke stoffen bepalen welke gevaareigenschappen een afvalstof bezit. Voor LD-staalslakken zijn zware metaalverbindingen relevant, zoals Cr(III)O en Cr(VI)O, en verbindingen, zoals Al(III)O, MnO, MnOH, CaO en Ca(OH).

Het RIVM heeft in bijlage I een theoretische exercitie uitgevoerd voor een gevaarindeling van LD-staalslakken die in de spiegelrubriek zouden kunnen vallen.

De hierboven kort toegelichte afvalstoffenwetgeving treedt volgens de *leidraad Afvalstof of Product* alleen op als de LD-staalslakken op enig moment geen product (meer) zijn, maar een afvalstof.

5.8 Gevaarsindeling LD-staalslakken – als product en afvalstof

De gevaarindeling van de LD-staalslakken als product zou beoordeeld kunnen worden op basis van de informatie over de chemische samenstelling van LD-staalslakken uit voorgaande hoofdstukken in dit

RIVM-rapport. De ILT bestudeert of LD-staalslakken op basis van deze relevante componenten wel conform CLP ingedeeld zouden kunnen worden. Hiervoor heeft de ILT voor de betrokken componenten de "Inventaris van indelingen en etiketteringen" nageslagen. Er is sprake van zelfclassificatie en op basis van de in dit rapport genoemde samenstelling zouden de LD-staalslakken als categorie 2 oogeffecten en mogelijk ook als categorie 2 huidcorrosie kunnen worden ingedeeld.

In LD-staalslakken zijn onder meer oxiden en of hydroxiden van aluminium, calcium, chroom, fosfor, mangaan en magnesium in gehalten met een bandbreedte van grofweg tussen 1 tot 15 massaprocenten aanwezig. Verder zijn in lagere gehalten enkele zware metalen aan te treffen, waaronder chroom, strontium, tin, titanium, vanadium en zink.

Aan de hand van de EURAL-beoordelingssystematiek van de gevaarindeling van afvalstoffen is op basis van de samenstelling een beoordeling van de staalslakken gegeven (zie bijlage I). Hieruit blijkt dat LD-staalslakken gevaarlijke eigenschappen bezitten, zoals:

- *HP4: Irriterend (huid of oog)* door de somgehalte van calcium(II)oxide, calcium(II)hydroxide, mangaan(II)oxide, mangaan(II)hydroxide, chroom(VI)oxide en chroom(III)oxide. De ondergrens om mee te tellen is 1,0 massaprocent.
- *HP5: Specifieke doelorgaan toxiciteit* door de afzonderlijke gehalten van aluminium(III)oxide en chroom(VI)oxide.
- *HP10: Reprotoxiciteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(III)oxide.
- *HP11: Mutageniteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(VI)oxide.
- *HP7: Carcinogeniteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(VI)oxide.

5.9 Samenvatting

In Nederland worden LD-staalslakken, voornamelijk afkomstig van Tata Steel IJmuiden, onder productcertificatie geleverd door Pelt&Hooykaas voor toepassingen als secundaire bouwstof in de grond-, weg- en waterbouw. De LD-staalslakken voldoen bij deze specifieke toepassingen op basis van het rechtsoordeel (2017) gepubliceerd door Rijkswaterstaat aan de status bijproduct volgens de bepalingen in artikel 5 van de Kaderrichtlijn afvalstoffen (Kra). Op basis van de REACH-verplichting is dit materiaal als *steelmaking converter slag* geregistreerd.

Pelt&Hooykaas voldoet met hun productcertificering op basis van de nationale beoordelingsrichtlijn (NL-BRL 9345 en BRL 9310) ook aan de milieueisen van het Besluit bodemkwaliteit (Bbk) en de Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Bij afwijkende GWW-toepassingen, zoals grootschalige ophogingen, aanvullingen of zandvervangingen, borgt de leverancier de zorgplicht die voortvloeit uit de Wet milieubeheer (art. 1.1a), de Wet bodembescherming (art.13) en het eerdergenoemde Bbk (art.7). Dit door de aannemer te informeren over de hoge pH-uitloging en de noodzakelijke beschermende IBC-maatregelen voor een veilige toepassing. De aannemer bevestigt schriftelijk dat hij in kennis is gesteld.

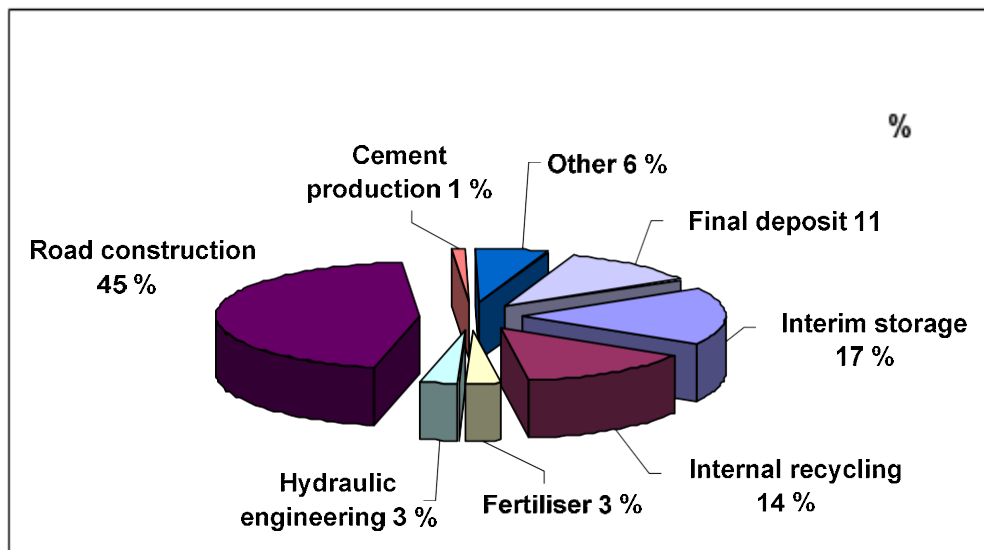
De inzichten in deze studie over de mineralogische en chemische samenstelling van de LD-staalslakken kan een aanzet zijn tot een traject, waarbij dit materiaal op termijn in aanmerking komt voor een evaluatie van de gevaarindeling als product en als afvalstof.

Volgens de verplichte kennisgeving van bedrijven aan ECHA zijn LD-staalslakken als niet-gevaarlijke UVCB - *Unknown of Variable Composition, complex reaction products of Biological materials* - stof geclassificeerd. Zo zijn er geen gevaren voor acute en of chronische toxische en ecotoxicologische effecten te verwachten op basis van uitgevoerde testen in wetenschappelijke studies. In REACH-registratiedossiers staat het materiaal als niet-gevaarlijk geclassificeerd. Bij de beoordeling van de LD-staalslakken als afvalstoffen volgt uit de EURAL-beoordelingssystematiek voor een indeling in een van de spiegelrubrieken van de afvalstof SNG (niet-gevaarlijk) of SG (gevaarlijk), dat de LD-staalslakken gevaarlijke eigenschappen bezitten en als SG zouden moeten worden ingedeeld.

6 Milieueffecten toepassing LD-staalslakken

6.1 Inleiding

Een aanzienlijke aandeel van de geproduceerde staalslakken in Europa wordt gebruikt in de GWW-werken. Het materiaal wordt (buiten Nederland) ook als kunstmest en grondverbeteraar of kalkmiddel in de landbouw ingezet. Dit vanwege het relatief hoge gehalte aan vrij CaO. Staalslakken kunnen vanwege dit hoge gehalte ook gedeeltelijk als kalkbron in de sintermix worden gebruikt of direct in de hoogovens of ook in het oxystaalproces als een vorm van recycling. Een beperkende factor is de hoeveelheid fosfor die in het hete metaal is toegestaan. Onderstaande figuur geeft de verdeling weer van de verschillende toepassingen van staalslakken in Europa. Volgens Ashrit et al (2018) wordt het niet-metalen deel van fijne korrelvormige fracties LD-staalslakken over het algemeen gebruikt als aggregaat in de wegenbouw, in zure mijn-afvoerbehandelingen en als bodemverbeteraar van zure gronden.



Figuur 1 Toepassingen van staalslakken in Europa (Bron: BAT-document, 2012).

6.2 RIVM- en ECN-onderzoek in de periode 1990 tot 2010

In de periode 1990 tot 1996 hebben het RIVM en het ECN tal van laboratorium- en modelstudies verricht naar de chemische samenstelling en het uitloggedrag van reststoffen die als secundaire bouwstoffen op hun milieuhygiënische geschiktheid werden beoordeeld. De kennis is gebruikt voor de totstandkoming van het bouwstoffenbesluit dat sinds 2007 het Bbk is geworden. In de studie naar de milieueffecten van de blootstelling van verschillende bodems aan het uitloogwater van secundaire bouwstoffen heeft het RIVM onder meer onderzocht in welke mate het transportgedrag van diverse uitspoelende stoffen naar de bodems te relateren is aan bodemeigenschappen als het organisch koolstofgehalte.

In een RIVM-laboratoriumstudie onderzocht Dekker et al (1996) de migratie van uitgeloopte kritische stoffen van drie verschillende secundaire bouwmaterialen, waaronder AVI bodemas, fosforslakken en LD-staalslakken en de invloed op de in de bodem aanwezige stoffen. Ook is de invloed van colloïdale deeltjes op het transport meegenomen. In de studie zijn bodems geselecteerd op het organisch koolstofgehalte, lutumgehalte en oxalaat extraheerbaar aluminium en ijzer. De experimenten zijn zonder en met beluchting uitgevoerd, zodat ook het effect van anaërobe en aërobe condities zijn meegenomen. De beproefde staalslakken kwamen van Hoogovens IJmuiden (maart 1993). Deze partij staalslakken zijn voorafgaand aan de bemonstering aan de atmosfeer gekoeld in plaats van met zeewater, wat de gebruikelijke afkoelmethode is. In de studie is geconcludeerd dat de pH-buffercapaciteit van de ontvangende bodem toeneemt bij een hogere organisch koolstofgehalte van de bodem. LD-staalslak legt de onderliggende bodem een hoge pH op, zeker als het bufferend vermogen van de bodem niet voldoende is.

Het transport van de bestudeerde elementen blijkt voor een groot deel verklaarbaar door hun oplosbaarheid in water. Ze worden niet gefaciliteerd door binding aan colloïdale deeltjes met diameterafmetingen van 0,05 µm of groter.

Het ECN (2007) schrijft in zijn rapport over de milieurisico's van pH- en redoxeffecten dat de toepassing van staalslak een direct milieueffect kan hebben op verschillende milieuc compartimenten en in verschillende gebruikssituaties en blootstellingcondities. Deze verschijnselen kunnen volgens ECN overigens ook bij andere materialen optreden, maar naar verwachting dan in mindere mate. De (ongewenste) milieueffecten hangen af van de balans tussen afgifte van alkalische componenten en het bufferend vermogen van de bodem of de toevoer van neutraliserende en oxiderende componenten. De mate van verstoring van de natuurlijke evenwichten kan leiden tot een ongewenst milieueffect. ECN stelt in hun rapport dat de pH en redox elk niet-kritische parameters zijn, omdat zowel een afwijkende pH als een lage redox in het milieu kunnen voorkomen. Door koolzuur uit de bodem en uit de lucht kan een te hoge pH worden gecompenseerd. Bij voldoende toetreding van zuurstof zal oxidatie optreden en daarmee het effect van een lage redox verdwijnen. Bij deze inzichten van het ECN kan de vraag worden gesteld of de toegelichte eigenschappen van de bodem en de lucht voldoende zijn om de milieueffecten die we in de praktijk zien in voldoende mate worden gecompenseerd. Hierbij zijn acute en chronische effecten te onderscheiden.

Het ECN-rapport gaat uit van een verband tussen de mate van fijnkorreligheid (bijvoorbeeld 0-16 mm) van niet-vormgegeven LD-staalslakken en de gevaren van de opgelegde pH en redoxpotentiaal aan de ontvangende milieuc compartimenten. De toepassingen met grofkorrelvormige en vormgegeven LD-staalslakken kunnen kortstondig of minimale beïnvloeding van het omringende milieu veroorzaken. Deze effecten worden volgens het ECN-rapport door de omringende milieuc compartimenten meestal zonder nadelige milieueffecten goed opgevangen.

De hier omschreven toepassingen en de mogelijke milieueffecten zijn vooral afhankelijk van de hoeveelheden LD-staalslakken, de laagdikten, de omvang van het ontvangende oppervlaktewaterlichaam of bodemlichaam en de mogelijkheid van verdunning van uitgelooide schadelijke stoffen. Denk hierbij aan de toepassing van blokken vormgegeven LD-staalslakken als zeedijkbescherming om de zee te weren. De zee is een zeer groot en door getijden dynamisch oppervlaktewaterlichaam. Daarbij kunnen verdunningen optreden van de uitgelooide schadelijke stoffen.

In bijlagen F en G van een studie van het RIVM (2002), waarbij de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken is gemonitord over het tijdvak 1998 tot 2002, staan de uitloogkarakteristieken van korrelvormige (niet vormgegeven) en vormgegeven LD-staalslakken. De korrelvormige LD-staalslakken zijn beproefd met de kolomproef tot een L/S van 10 l/kg en de vormgegeven LD-staalslakken met de diffusieproef gedurende de voorgeschreven 64 dagen. In die periode toetste men aan de (strengere) grenswaarden van het bouwstoffenbesluit. Inmiddels is het Besluit bodemkwaliteit hiervoor in de plaats gekomen. Kijkend naar de gemeten emissies zien we dat de LD-staalslakken de emissies van de genormeerde stoffen in tabel 1 van bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit niet overschrijden.

Cleven en de Wijs (2007) hebben in samenwerkingsverband van het RIVM met Intron enkele jaren later opnieuw de meetgegevens van de monitoring van de milieuhygiënische kwaliteit van de LD-staalslakken over de jaren 2003 tot en met 2006 gepubliceerd. Tegelijkertijd zijn deze gegevens meegenomen door Verschoor et al (2006) in een studie van het RIVM in samenwerking met RIZA en ECN. Dit onderzoek is uitgevoerd met het doel de nieuwste inzichten over de risicobeoordeling en de verzamelde datasets van de meet- en monitoringgegevens toe te passen voor het ontwikkelen van verbeterde normstelling in het Besluit bodemkwaliteit (Staatsblad 469, 2007) als vervanger van het Bouwstoffenbesluit (Staatsblad 567, 1995). In de studie zijn nieuwe zogeheten "kritische emissiegrenswaarden" afgeleid. Deze zijn met uitzondering van de stoffen kobalt, chroom en nikkel niet in de huidige wetgeving opgenomen. In de studie is ook kennis over stofeigenschappen en de relevante abiotische en biotische processen in bodem, waterbodem en oppervlaktewater met hulp van de doorrekening in modellen voor verschillende scenario's, zoals laagdikte van LD-staalslakken, afgeleid. In bijlagen H en I staan de emissies van LD-staalslakken uit het RIVM-rapport. Voor de korrelvormige LD-staalslakken zijn op basis van de kolomproef tot een L/S=10 barium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, vanadium, zink, bromide, chloride, fluoride en sulfaat bij tenminste 1 tot het maximum van 40 uitgevoerde testen boven de bepalingsgrens gekwantificeerd. Hiervan waren barium, koper, molybdeen, nikkel, vanadium en zink kritisch in de uitloging. Volgens dezelfde beoordelingssystematiek blijkt voor vormgegeven LD-staalslakken, die zijn beproefd met de diffusieproef, alleen vanadium boven de aantoonbaarheidsgrens uit te logen. De emissies waren tegelijkertijd kritisch.

De RIVM-studie beschrijft ook scenario's van verschillend gekozen toepassingen van secundaire bouwstoffen als fundering- of

ophogingslaag aan de hand van twee modellen. Men heeft gekeken naar de effecten van de uitloging op de verdeling van de verschillende stoffen over bodem en grondwater. De aanbevelingen zijn om de concentratie en het transport van het opgeloste organische stof (DOC, dissolved organic carbon) verder te onderzoeken. In de studie is aangetoond dat het DOC van invloed is op het transport van de uitgeloopte componenten van een bouwstof in grond en grondwater. Er is aanbevolen om voor de parameters pH, nutriënten en het zwevend stof milieucriteria vast te stellen, zodat ook hiervoor emissiewaarden afgeleid zouden kunnen worden.

6.3 Milieueffecten

In de gepubliceerde onderzoeken naar de milieueffecten van de LD-staalslakken wordt de hoge alkalische uitloging als een van de belangrijkste bedreigingen gezien, dat vrijwel direct invloed heeft op de evenwichten van diverse hieronder genoemde bodemprocessen. Het is tegelijkertijd een complex samenspel van processen die op elkaar kunnen interacteren, zoals:

- oplossen en precipiteren;
- adsorberen en desorberen (bijvoorbeeld met DOC of bodemdeeltjes);
- synthese (mineraal- en complexvorming) en degradatie/afbraak,
- oxidatie en reductie;
- aerob (zuurstofrijk) en anaerob (zuurstofarm);
- biotische processen.

Staalslakken bevatten volgens de informatie uit hoofdstuk 4 van dit rapport verschillende zware metalen in gehalten tot circa 50 mg/kg. Ze betreffen onder meer: boor (B), cadmium (Cd), koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb), arseen (As), kwik (Hg), molybdeen (Mo), beryllium (Be), kobalt (Co) en zink (Zn). Hogere gehalten van chroom (Cr), tin (Sn), vanadium (V) en strontium (Sr) zijn te verwachten in een gebied tussen circa 1.000 en 5.000 mg/kg. In het algemeen geldt dat bij neutrale bodem-pH's de toevoeging van LD-staalslakken met kalk, de oplosbaarheid en biologische beschikbaarheid van de kationische metalen zoals Al, Cr, Pb, Cd, Ni, Co, Be, Ba en Sr zal beperken. Afhankelijk van de metaalspeciëties kunnen na uitloging in de bodem en het oppervlaktewater organismen en planten hieraan worden blootgesteld. Door de blootstelling kunnen schadelijke milieueffecten optreden, zoals acute en chronische toxische en ecotoxicologische effecten.

Chand et al (2015) verwijst naar onderzoek van de uitloging van chroom in LD-staalslakken met gehalten van circa 5.000 mg/kg. Volgens de TCLP-*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*- uitloogmethode zijn percolaatconcentraties van Cr van respectievelijk 0,004 mg/kg en <0,003 mg/kg voor de fijne en grove slakken bepaald. Dit wijst op een zeer lage oplosbaarheid van dit metaal. Bodems die met LD-staalslakken waren behandeld (10 ton/acre), vertoonden op basis van de bepaling van het extraheerbaar chroom nauwelijks belangrijke verhogingen. De oxyanionen-sporenelementen (Mo, V, Sn en Sb), dit zijn metalen in verbindingen met zuurstof, zouden naar verwachting iets beter oplosbaar en biologisch beschikbaar zijn bij bijna neutrale pH dan de

kationische metalen. Onder oxiderende omstandigheden is chroom(III) zeer goed oplosbaar en vormt Cr(VI)-anionen, zoals chromaten CrO_4^{2-} of dichromaten $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Onder reducerende omstandigheden, door een proces waarbij een chemische reductie en een precipitatie betrokken zijn, wordt Cr(VI) omgezet in Cr(III) dat onoplosbaar is. Beide vormen zijn stabiel in de omgeving. De wortelplanten kunnen beide vormen Cr^{3+} en CrO_4^{2-} opnemen. Maar na verloop van tijd vormt het Cr(III) stabiele verbindingen, zoals hydroxiden, oxiden en sulfaten. Daarom is het minder oplosbaar en daardoor minder biologisch beschikbaar. De gewassen hebben een bepaalde bodem-pH, waarbij de nutriëntenbeschikbaarheid maximaal is. Te veel kalktoevoeging kan resulteren in een verminderde beschikbaarheid van macronutriënten, zoals fosfor, en micronutriënten, zoals ijzer, koper en zink. Dit als gevolg van de hoge reactiviteit van CaO en MgO in staalslakken met water resulterend in een hoge pH van 12,5.

Chand et al (2017) heeft de uitloging van zware metalen voor de korte termijn onderzocht. Dit gebeurde op basis van drie verschillende uitloogtesten, te weten de *Batch Leach Test* (BLT), de *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), de *American Society for Testing and Materials shake test* (ASTM – ST). Tevens is een ontsluiting van zware metalen door de behandeling met sterke zuren en verhitting bij temperaturen tot 850 °Celsius volgens de *Strong Acid Digestion Test* (SADT) uitgevoerd. De SADT geeft de maximaal voor de uitloging beschikbare hoeveelheid zware metalen in de LD-staalslakken.

Het experimentele onderzoek is uitgevoerd met drie monsters van LD-staalslakken van de drie belangrijkste Indiase staalproductiebedrijven, te weten Bokaro Steel Plant, Rourkela Steel Plant en Tata Steel Plant. De uitloogtesten verschillen onder meer in de aard van het uitloogmedium en de verhouding van het volume van het uitloogmedium en de massa van het uitgeloopte monster LD-staalslakken. Het uitloogmedium van de BLT en de ASTM-ST is gedeïoniseerd water, terwijl die van de TCLP een aangezuurd bufferoplossing is met pH=4,99. De L/S-verhouding uitgedrukt in liter uitloogmedium per kilogram uit te logen LD-staalslakken bedraagt 5 l/kg voor de BLT, 20 l/kg voor de TCLP en 25 l/kg voor de ASTM-ST. In onderstaand tabel staat een overzicht van de emissies van de drie verschillende uitloogtesten en de maximale beschikbaarheid van de uitloogbaarheid met de SADT-test. In de laatste kolom zijn de maximale emissiewaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen in tabel1 van bijlage A van de Rbk gegeven. Deze gelden voor L/S=10.

Tabel 4 Emissies van LD-staalslakken van drie Indiase staalproductiebedrijven op basis van de BLT, TCLP en ASTM-ST uitloogtesten uitgedrukt in ppm (mg/kg).

Metalen	BLT	TCLP	ASTM-ST	SADT	Rbk; niet-vormgegeven
As	< - <	< - <	< - <	< - <	0,9
Cd	< - <	< - <	< - <	< - 0,137	0,04
Co	< - 0,001	< - 0,001	< - 0,001	< - 0,033	0,54
Cr	< - 0,008	< - 0,003	< - 0,002	1,931 - 2,380	0,63
Cu	< - 0,016	< - 0,006	< - 0,005	< - 0,091	0,9
Fe	< - 0,035	< - 0,101	< - 0,125	517,6 - 622,6	-
Mn	< - 0,073	< - 0,006	< - 0,047	13,58 - 26,75	-
Ni	< - 0,002	< - 0,002	< - 0,002	< - 0,029	0,44
Pb	< - 0,004	< - 0,004	< - <	0,123 - 0,140	2,3
Se	< - <	< - <	< - <	< - <	0,15
V	< - <	< - <	< - <	1,570 - 2,161	1,8
Zn	< - 0,001	< - 0,041	< - 0,010	< - 0,256	4,5

Opmerking: < betekent kleiner dan de bepalingsgrens

Bron: Chand et al, 2017.

De onderzoekers concluderen, dat de zware metalen op lage emissieniveaus kunnen uitloggen uit de beproefde LD-staalslakken. As, Cd, Se en V logen echter in het geheel niet boven de bepalingsgrens van de meetmethoden uit. De emissies blijven onder de geaccepteerde Indiase limietwaarden. Hierdoor worden de LD-staalslakken niet als gevaarlijke materialen aangemerkt voor de menselijke gezondheid en is een veilig gebruik in de leefomgeving mogelijk. Als we de emissies vergelijken met de Nederlandse maximale emissiewaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen kunnen we vaststellen dat - uitgezonderd de gemeten emissies van de SADT - er geen overschrijdingen zijn aangetoond. Wel moet men zich ervan bewust zijn dat de hier toegelichte uitloogtesten op een aantal aspecten verschillen met de in Nederland voorgeschreven uitloogtest, te weten de kolomproef volgens NEN-7373. De L/S-verhouding bedraagt voor de kolomproef bijvoorbeeld 10.

De resultaten van de SADT tonen hogere emissies van zware metalen, die beschikbaar zijn voor uitloging. Dit geldt voor Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V en Zn. Het is vooral de extreem hoge pH in de LD-staalslakken veroorzaakt door de hoge gehalten van calciumoxide, magnesiumoxide, calciumhydroxide en calciumsilicaten, waardoor de zware metalen nauwelijks in oplossing gaan, zodat hun mobiliteit wordt afgeremd. De variatie in de meetwaarden is hoofdzakelijk te verklaren door de aard van het uitloogmedium, de L/S-verhouding en de pH.

Mal et al (2022) hebben op basis van experimenten op laboratoriumschaal gecombineerd met verspreidingsberekeningen met het model HYDRUS 1D geconcludeerd, dat calcium en mangaan door uitloging van LD-staalslakken zich tot in het grondwater kunnen verspreiden. De geschatte maximale grondwaterconcentraties bedragen voor Ca 193 mg/l en voor Mn 0,8 mg/l.

Het gaat om nagebootste praktijksituaties, zoals berghopen van LD-staalslakken van opslaglocaties of stortplaatsen, waarbij er in de nabije omgeving verhoogde grondwaterconcentraties zijn berekend. Verhoogde grondwaterconcentraties zijn ook vastgesteld voor totaal oplosbaar stof,

waterstofcarbonaat (HCO_3^{-1}), chloride (Cl^{-1}) en Fe. De beschikbaarheid van extra carbonaat- en silicaatmineralen in het grondwater, verhoogt de alkaliteit van het grondwater en heeft invloed op de processen die metalen in oxiden en mineralen ondervinden.

In twee studies is aangetoond, dat de hoge alkalische uitloging zich niet alleen voor de korte termijn, maar ook op lange termijn van 50 tot 80 jaren kan manifesteren.

Riley en Mayes (2015) hebben een unieke 36 jaren-dataset bestudeerd van de monitoring van fysisch-chemische parameters en elementconcentraties van monsters van twee door staalslakken-percolaat verontreinigde waterlopen in het Noorden van Engeland. Het gaat om twee stortplaatsen van hoogovens - en staalslakken van de nabijgelegen voormalige staalproductielocaties in *Consett*, die eind jaren zeventig van de vorige eeuw waren beëindigd. De stortlocaties zijn gelegen aan de *Dene Burn* en de *Howden Burn*, die vervolgens uitkomen in de *River Derwent*. Drainage van percolaten worden via de genoemde waterlopen afgevoerd. Men heeft onder meer de meetgegevens over de pH, het redoxpotentiaal, de alkaliteit, sulfaat, calcium en metalen, zoals Al, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, As, Cr, Li, Mo, Sb en V, verzameld. Er zijn statistische analyses en trendanalyses uitgevoerd. De onderzoekers concluderen, dat de waterkwaliteit van de beide waterlopen slecht is op grond van langdurig extreem hoge pH-waarden, hoge alkaliteit en verhoogde waterconcentraties van de zware metalen. Over een tijdschaal van tientallen jaren nemen de calciumconcentraties in de waterlopen zeer langzaam af, tot uiteindelijk de gewenste achtergrondniveaus. De combinatie van te hoge pH en calcium in het water veroorzaakt in deze periode overmatige neerslagvorming van calciumcarbonaten (ofwel het mineraal calciet). Daarmee wordt de waterkwaliteit extra nadelig beïnvloed. De hoge pH heeft ook ongunstige biologische effecten op ongewervelde dieren, maar die kunnen snel herstellen. Echter populaties van hogere organismen, zoals karperachtigen, ondervinden schade, aldus Riley en Mayes (2015). Daarbij verwijzen ze naar andere studies. Tenslotte is de combinatie van een langdurig te hoge pH en verhoogde waterconcentraties van zware metalen problematisch voor het streven naar een goede chemische en ecologische waterkwaliteit. Dit vanwege het optreden van toxische en ecotoxicologische effecten.

We constateren uit deze studie dat er schadelijke milieueffecten door de extreem hoge pH-uitloging over een lange periode van tientallen jaren door de onderzoeksgroep is vastgesteld. Ook lijken relaties aantoonbaar van hoge pH-uitloging en de uitloging van zware metalen uit de staalslakken en de migratie van zware metalen in de bodem. Het toont in ieder geval dat laboratorium- en praktijkomstandigheden van de uitloogkarakteristieken van zware metalen verschillend zijn. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met de pH-verandering op de van nature aanwezige metalen in de bodem en het ecosysteem als geheel.

In de studie Chand et al (2018) van de langetermijnuitloging van LD-staalslakken zijn 6 kilogram monsters van drie verschillende staalproductiebedrijven in India op laboratoriumschaal in grote verticaal opgestelde kolommen (hoogte 75 cm en diameter 10 cm en inhoud 5,8 liter) gedurende een periode van 385 dagen met gedeïoniseerd water

gepercoleerd op basis van de zwaartekracht. Het gaat om LD-staalslakken van Tata Steel, Rourkela en Bokaro die onderling verschillen in fysisch-chemische en mineralogische eigenschappen. De pH van het uitloogwater varieert tussen 10,8 en 11,9 en de geleidbaarheid van 1,35 tot 6,19 mS/cm. De in de LD-staalslakken aanwezige (zware) metalen logen ook uit. Het gaat om As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se en Zn. Van de overige metalen, zoals Cd, Pb en V, zijn geen concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens gemeten. De gemeten metalen zijn in meerderheid niet boven de Indiase aanvaardbare limieten aangetoond. De gemeten emissies liggen ook (ruim) onder de Nederlandse maximale emissiegrenswaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen van de Rbk. Ook hier geldt dat de uitloogproeven niet overeenkomen met die van de kolomproef volgens NEN-7373. Vooral de periode van uitloging in deze laboratoriumstudie is met 385 dagen sterk afwijkend van de 21 dagen van de in Nederland voorgeschreven uitloogperiode. Het valt de onderzoekers op dat de cumulatieve uitlogingsconcentraties van de drie verschillende LD-staalslakken sterk kunnen variëren. Men noemt als verklaring de pH, de verschillen in de chemische en mineralogische samenstelling, de deeltjesgrootteverdeling, de oppervlakte morfologie, de permeabiliteit, de suboptimale verdeling van het percolaatwater, de oxidatiestaat van de elementen en het verouderingsproces in de matrix van de staalslakken. Sommige metalen worden tijdens het staalproductieproces als legeringsmetalen toegevoegd, zoals Cr, Ni, Co, V, Mn en Cu. Ze geven het staal zijn specifieke toepassingskenmerken. Tegelijkertijd zullen er ook fracties van deze legeringsmetalen, afkomstig van het toegevoegde staalschroot, tijdens het oxystaalproces in de staalslakken zijn geabsorbeerd, die tijdens de kolomproeven tot de aangetoonde percolaat-concentraties zullen uitlogen.

De elementconcentraties nemen bij de aanvang van de kolomproeven duidelijk toe, om vervolgens tijdens de 385 dagen durende kolomproeven op een constant concentratieniveau te blijven. Deze studie en de bevindingen van Riley en Mayes (2020) bevestigen, dat de voor uitloging beschikbare schadelijke stoffen in praktijksituaties van de opslag of stort van berghopen van LD-staalslakken over een zeer lange periode verlopen. Het resulteert in een verontreiniging van kwetsbare milieucompartimenten en schade aan biologische receptoren. In deze studie is nadrukkelijk niet het pH-effect op de mobiliteit van de van nature aanwezige metalen in de bodem betrokken. Terwijl we weten dat de hoge pH-uitloging ook effecten heeft op het gedrag van deze metalen.

6.4 Casus: dijk/omwalling opslagplaats baggerspecie

In hoofdstuk 1 is de casus vermeld over de gezondheidsklachten van omwonenden van een grondwerk met toegepaste LD-staalslakken in de gemeente Hellevoetsluis.

Het grondwerk betrof een dijk of omwalling voor een opslagplaats van baggerspecie, die ook als onverharde weg moest dienen voor het transporteren van baggerspecie per vrachtwagens. In dit project is circa 60.000 ton LD-staalslakken verwerkt in het grondwerk met een lengte van 1.000 meter, een breedte van 15 meter en een hoogte van circa 1,5

meter. Bij een controle van de toezichthouder DCMR is geconstateerd dat de aannemer niet conform de toepassingsvoorwaarden van het bijgeleverde NL-BRL productcertificaat van leverancier Pelt&Hooykaas heeft gehandeld. Op basis van een uitspraak van de voorzieningenrechter zijn de LD-staalslakken door de aannemer teruggenomen en is de oorspronkelijke situatie hersteld. De Raad van State (2019) heeft bij de motivering van de uitspraak aangegeven dat de aannemer in strijd heeft gehandeld met de zorgplicht volgens artikel 7 van het Bbk en artikel 13 van de Wbb. Het ging om het aan de afwaterende zijde naast de verharding aanleggen van een hemelwaterafvoersysteem met goten, kolken en riolering.

6.5 Casus uitbreidingslocatie golfbaan The Dutch te Spijk

In het inleidende hoofdstuk is de stillegging van een grootschalig grondwerk met LD-staalslakken afkomstig van Tata Steel IJmuiden voor de realisatie van een geluids – en zichtwal langs de A15 nabij Spijk als voorbeeld genoemd van de problemen met hoge pH-uitloging en de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater.

Op de uitbreidingslocatie van Golfbaan *The Dutch* te Spijk zijn diverse onderzoeken uitgevoerd. Dit gebeurde na de interventie in maart 2019 door het bevoegd gezag, de Omgevingsdienst Rivierenland die in opdracht van de gemeente Betuwe West toeziet, en door waterschap Rivierenland. De bodem-, grond- en oppervlaktewateronderzoeken en de (indicatieve) uitloogonderzoeken van de bemonsterde LD-staalslakken leveren een uniek beeld van de in diverse onderzoeksrapporten vastgelegde milieueffecten.

Het waterschap Rivierenland heeft als waterbeheerder en bevoegd gezag over de regionale oppervlaktewateren Deltares de opdracht gegeven om de risico's van de LD-staalslakken voor de oppervlaktewaterkwaliteit te beschrijven. Daarbij was het doel de risico's van de huidige toestand en de beoogde eindsituatie te beoordelen. In dit onderzoek zijn de meet- en monitoringsresultaten van het Waterschap gebruikt.

De onderzoekers van Deltares concluderen dat:

- Een hoge pH met waarden tussen 11,0 en 12,5 is vastgesteld in het water dat in contact is gekomen met de LD-staalslakken, zoals het drainagewater, het percolatiewater en de plassen op het terrein waar de LD-staalslakken zijn toegepast.
- De hoge pH effect heeft op de mobiliteit van metalen door onder meer de oplosbaarheid van de metalen in hydroxidevorm of door binding van metalen met grond.
- Een hoge pH een verhoging van de ammoniak en DOC concentraties veroorzaakt.
- Een hoge pH in het oppervlaktewater direct schade kan veroorzaken aan organismen door toxische en ecotoxicologische eigenschappen van schadelijke stoffen die bij deze lage zuurgraad beschikbaar zijn gekomen (denk aan diverse metaaloxiden).
- Er onvoldoende maatregelen zijn getroffen om het contact met hemel - en grondwater te voorkomen of te beperken. Daarbij is de aannemer afgeweken van de toepassingsvoorwaarden die

Pelt&Hooykaas als leverancier van de LD-staalslakken in het productcertificaat heeft geformuleerd.

- Hierdoor onvermijdelijk metalen waaronder zware metalen uitlogen en zich naar het oppervlaktewater verspreiden.
- Op basis van de metingen van het Waterschap Rivierenland de oppervlaktewaterconcentraties van Al, Ba, Ca, CO₃, Cr, K, Cu, Mo, Na, Pb, Sr, en V zijn verhoogd.
- Het risico op milieueffecten het grootst is voor Ba, Sr en V vanwege hun intrinsieke gevaareigenschappen en de gemeten uitspoeling en verspreiding tijdens het veldonderzoek.
- De concentraties in het oppervlaktewater worden bepaald door de verdunning, de pH-buffering en de binding van metalen aan bodem, sediment en zwevend stof tijdens hun transport naar het oppervlaktewater.
- Er weinig bekend is over de doorlatendheid van de LD-staalslakken.
- De LD-staalslakken grofkorrelvormig zijn en daarmee een goede doorlatendheid zou moeten hebben, waarbij onbekend is wat de invloed van carbonatatie daarop is.
- Goede isolatiemaatregelen ervoor kunnen zorgen dat de LD-staalslakken nauwelijks nog deze genoemde milieueffecten kunnen veroorzaken.
- Er verschillen in de concentraties van metalen in de eluaten optreden bij de uitvoering van de gestandaardiseerde kolomproef met bemonsterde LD-staalslakken in het laboratorium en de gemeten waterconcentraties in de plassen en drains op het terrein van de aanwezige LD-staalslakken in het veld.
- Als voorbeeld de waterconcentraties van Ba, Cu en V in de plassen en drains ruim hoger zijn dan die van de eluaten van de kolomproef met de bemonsterde LD-staalslakken.

BK ingenieurs (2019) hebben in opdracht van de aannemer in de periode april tot en met juli 2019 veld - en laboratoriumonderzoek uitgevoerd van de bodemkwaliteit van de onbelaste deellocaties 1b en 1c van de uitbreidingslocatie van de golfbaan in Spijk. Dit zijn locaties waarop (nog) geen LD-staalslakken waren toegepast. Voor de bepaling van de onderzoekshypothese is ook afstemming gezocht met de Omgevingsdienst Rivierenland. Het doel in dit bodemonderzoek was het verifiëren van de stelling van de Omgevingsdienst Rivierenland dat de onbelaste deellocaties al zijn verontreinigd door de toepassing van de LD-staalslakken op deellocatie 1a.

De onderzoekers van BK ingenieurs concluderen dat de bodem van de deellocaties 1b en 1c tot een diepte van 2,5 m-mv voor een groot deel uit veen met plaatselijk klei is samengesteld. Er zijn slechts lichte verontreinigingen van nikkel en molybdeen aangetoond. Verder bevat het grondwater ter plaatse een lichte verontreiniging met barium en zeer lokaal met chroom. Er is geen aanleiding gevonden voor het uitvoeren van een nader bodemonderzoek. De onderzochte bodemkwaliteit is volgens BK ingenieurs geschikt als toetsingsgrondslag/referentiekader voor het oorspronkelijke maaiveld. De resultaten blijken volgens de onderzoekers grote overeenstemming te vertonen met eerdere verkennende bodemonderzoeken in 2008,

uitgevoerd door *bureau Oranjewoud (Antea Group)*, en 2018, uitgevoerd door *Hoste Milieutechniek bv*.

In het verlengde van het bodemonderzoek op de deellocaties 1b en 1c hebben BK ingenieurs in opdracht van de aannemer ook verkennend bodemonderzoek uitgevoerd naar de bodemkwaliteit van de deellocatie 1a. Op deze locatie liggen LD-staalslakken die bestemd zijn om als bouwstof te worden toegepast voor de realisatie van de geluid/zichtwal op de uitbreidingslocatie van de golfbaan *The Dutch* te Spijk. Het bodemonderzoek had hetzelfde doel als het verkennende bodemonderzoek van de deellocaties 1b en 1c. De meest opvallende resultaten zijn dat lokaal in twee grondmengmonsters Cu en V boven de tussenwaarden zijn aangetroffen. Dit zijn metalen die in LD-staalslakken voorkomen. De uitkomsten weken af van de verwachte emissies van deze metalen op basis van de uitgevoerde uitloogtesten met de kolom en schudproef. De uitloogtesten gaven geen aantoonbare uitloging van beide elementen boven de bepalingsgrens. De bevindingen komen voor de genoemde metalen opvallend goed overeen met het onderzoek van Deltares over de verschillen van de gemeten concentraties in de eluaten van de kolomproef en de concentraties in de plassen en drains op het terrein van de toegepaste LD-staalslakken (deellocatie 1a).

Uit het onderzoek van BK ingenieurs bleek dat de verontreiniging met zware metalen in de onderliggende bodem van de laag LD-staalslakken op deellocatie 1a homogeen is verdeeld.

De gemeten emissies op basis van de kolomtesten met de bemonsterde staalslakken volgens gestandaardiseerde methoden komen zoals eerder opgemerkt, opvallend slecht overeen met de gemeten emissies in de veldsituatie. Dit kan te maken hebben met de ontwikkeling van de kolomtest voor toepassingen in de periode dat het bouwstoffenbesluit vanaf 1995 in werking trad. Daarbij is uitgegaan van aanmerkelijk kleinere laagdikten van LD-staalslakken, zoals gecertificeerde toepassingen waaronder funderingslagen in de wegenbouw onder BRL-9310. Voorbeelden van toepassingshoogten waarmee gerekend werd zijn 0,5 m en 0,7 m. In deze casus zijn volgens opgave van de ILT toepassingshoogten tot circa 10 m bekend. Hierbij is in het ontwerpplan voorzien van een opbouw in lagen LD-staalslakken van 1 m tot 3 m laagdikte, afgewisseld met lagen zand of ander materiaal.

Op 8 januari 2020 heeft Royal Haskoning DHV Nederland BV ter plaatse grondwateronderzoek van toegepaste LD-staalslakken uitgevoerd. Dit gebeurde in opdracht van de gemeente West Betuwe. Het onderzoek had als doel aan te tonen of er sprake is van beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit in het kader van de zorgplicht artikel 13 van de Wbb.

Op basis van de resultaten van deze grondwatermonitoring wordt het volgende geconcludeerd:

- In alle monitoringspeilbuizen is binnen het onderzochte gebied een bepaalde mate van beïnvloeding (pH en/of afwijkende gehalten) van het grondwater geconstateerd.
- De parameters pH, strontium, aluminium, ijzer, vanadium, nikkel, molybdeen en barium hebben in 1 of meerdere peilbuizen geresulteerd in een sterke beïnvloeding.

- De parameters zink, cadmium, kwik, lood, koper, tin, antimoon, chroom en kobalt zijn (vrijwel) niet in afwijkende concentraties aangetroffen.

In augustus 2020 heeft het RIVM in opdracht van de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) metingen uitgevoerd op de met LD-staalslakken belaste deellocaties van de uitbreidingslocatie nabij Spijk naar de mogelijke aanwezigheid van radiologische stoffen. Cats (2020) heeft uit de metingen van het dosistempo vastgesteld dat de staalslakken weliswaar straling uitzenden, maar minder dan de omliggende grond. De radioactiviteit is homogeen verdeeld over de staalslakken. De metingen van de activiteitenconcentraties Th-232sec, K-40 en Ra-226 vertonen hetzelfde beeld; ze zijn vergeleken met de omliggende bodem niet verhoogd. Dit veldonderzoek concludeert dat de toepassing van de LD-staalslakken geen toegevoegde radiologische risico's voor de mens en de leefomgeving levert.

6.6 Samenvatting

De studies van het RIVM en ECN in het tijdvak 1990 tot 2010 stellen vast dat LD-staalslakken na contact met hemel - en grondwater extreem hoge pH-uitloging vertonen en dat dit schadelijke abiotische en biotische (toxische en ecotoxicologische) milieueffecten kan veroorzaken.

De pH heeft direct invloed op de mobiliteit van zware metalen die in de LD-staalslakken aanwezig zijn en beschikbaar zijn voor de uitloging. In het algemeen zullen de meeste metalen minder mobiel zijn onder invloed van hoge pH-waarden. Dit hangt echter niet alleen af van het soort metaal, maar ook van zijn oxidatietoestand. Het gaat vooral om de wateroplosbaarheid van metalen. Daarbij hangt het van de moleculaire binding met anionen, zoals oxiden, hydroxiden en silicaten, af in welke metaalverbinding ze voorkomen. In alkalisch milieu (hoge pH) vormen veel (zware) metalen niet of slecht oplosbare verbindingen, zoals hydroxides, waardoor ze eerder neerslaan en minder mobiel zijn. Het transport van metalen en hun verbindingen worden daarbij niet gefaciliteerd door binding aan onoplosbare colloïdale deeltjes met diameterafmetingen van 0,05 µm of groter.

De hoge pH-uitloging beïnvloedt ook de mobiliteit van zware metalen die van nature in de bodem aanwezig zijn. Hierin speelt het *dissolved organic carbon* (DOC) in de grond, het grondwater en het oppervlaktewater een prominente rol. Bodems, zoals veen- en kleigronden, bevatten relatief hoge DOC-gehalten en beschikken hierdoor over een (groot) bufferend vermogen. Het hangt van het bufferend vermogen van de bodem af in welke mate de hoge pH op korte of lange termijn tot schadelijke effecten leidt.

De heersende chemische en abiotische evenwichten van mineralen en metaalverbindingen in de bodem zullen door een hoge pH-uitloging minder snel worden beïnvloed. Dat ligt anders bij kwetsbare DOC-arme bodems, zoals zandgronden. Afwijkende blootstelling van de bodem aan extreme pH - en redoxwaarden kunnen in de natuur tijdelijk worden opgevangen door de opname van koolzuur (pH) en zuurstof (redox) uit de bodem en de lucht.

In latere studies van het RIVM zijn in samenwerking met ECN "kritische emissiegrenswaarden" afgeleid. Deze zijn met uitzondering van kobalt, chroom en nikkel niet in de huidige wetgeving opgenomen. Daarbij is de kennis betrokken over stofeigenschappen en de relevante abiotische en biotische processen in bodem, waterbodem en oppervlaktewater met hulp van de doorrekening in modellen voor verschillende scenario's, zoals laagdikte van LD-staalslakken. Voor de korrelvormige LD-staalslakken zijn op basis van de kolomproef tot een L/S=10 barium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, vanadium, zink, bromide, chloride, fluoride en sulfaat boven de bepalingsgrens gekwantificeerd. Hiervan waren barium, koper, molybdeen, nikkel, vanadium en zink kritisch in de uitloging. Aanbevelingen zijn om de concentratie en het transport van het DOC verder te onderzoeken. Verder is bevestigd dat het DOC van invloed is op het transport van de uitgelogde componenten van een bouwstof in grond en grondwater. Er is aanbevolen om voor de paramaters pH, nutriënten en het zwevend stof milieucriteria vast te stellen, zodat ook hiervoor emissiewaarden kunnen worden afgeleid.

Er zijn geen publicaties van studies gevonden, waaruit blijkt dat er succesvolle stappen zijn gemaakt om de aanbevelingen te realiseren. Recente modelleringstudies van scenario's met berghopen van LD-staalslakken op landbodems laten zien dat de beschikbaarheid van extra carbonaat - en silicaatmineralen in het grondwater de alkaliteit van het grondwater verhoogt. Dit heeft nadelige invloed op de processen die metalen in oxiden en mineralen ondervinden. Zo zijn concentraties in het grondwater berekend van 193 mg/l calcium en 0,8 mg/l magnesium.

In studies die verslag deden van de uitloogtesten met LD-staalslakken blijkt dat er een grote variatie optreedt van de emissies van metalen uitgedrukt in mg/kg. Er is consensus dat dit vooral te maken heeft met de fysische structuur in het steenachtige materiaal van de LD-staalslakken, de doorlatendheid, de hoge gehalten aan oxiden en silicaten van calcium en magnesium, de oxidatiestaat van de metalen en het uitloogmedium.

Milieueffecten kunnen ook op lange termijn van decennia's manifesteren. Dat blijkt uit een studie over de situatie in Engeland van twee stortplaatsen van hoogovens- en staalslakken van de nabijgelegen voormalige staalproductielocaties in *Consett*, die eind jaren zeventig van de vorige eeuw waren beëindigd. De milieueffecten op lange termijn zijn in een andere studie op basis van experimentele uitloogtesten met LD-staalslakken op laboratoriumschaal gedurende een jaar beproefd en aangetoond. De pH-uitloging is constant en hoog in een gebied met waarden tussen 11 en 12. De in de LD-staalslakken aanwezige (zware) metalen, zoals As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Se en Zn, logen uit. Van de andere metalen, zoals Cd, Pb en V, zijn geen concentraties boven de aantoonbaarheidsgrens gemeten. Er zijn biologische effecten waargenomen van schade aan organismen. Deze toxische en ecotoxicologische effecten op organismen en ecosystemen kunnen optreden door de blootstelling aan diverse metaaloxiden die bij de sterk veranderde pH-omstandigheden beschikbaar komen. De oppervlaktewaterkwaliteit is beoordeeld als "slecht" door de

verontreiniging met zware metalen, hoge alkaliteit en de vorming van slecht oplosbare calciumcarbonaten.

In Nederland zijn recent enkele incidenten met de toepassing van LD-staalslakken in het nieuws gekomen. Een unieke casus is de ontwikkeling van de uitbreidingslocatie van de golfbaan *The Dutch te Spijk*. Het is uniek vanwege de omvang, waarbij circa 670 .000 ton LD-staalslakken betrokken zijn voor de realisatie van een geluid- en zichtwal langs de A15 ten Oosten van Gorinchem. Op de locatie zijn sinds maart 2019 tal van milieuonderzoeken en enkele uitloogtesten van de bemonsterde LD-staalslakken uitgevoerd.

In hoofdlijnen wordt duidelijk, dat bij deze toepassing van LD-staalslakken de extreem hoge pH-uitloging en de uitloging van zware metalen problemen veroorzaakt voor het milieu. Op basis van de metingen zijn de concentraties van Al, Ba, Ca, CO₃, Cr, K, Cu, Mo, Na, Pb, Sr, en V van het oppervlaktewater verhoogd, zoals plassen op en sloten nabij de locatie. Uit de monitoring van de grondwaterkwaliteit op de locatie van de aangebrachte LD-staalslakken zijn de parameters, zoals pH, Sr, Al, Fe, V, Ni, Mo en Ba, sterk beïnvloed, terwijl Cd, Hg, Pb, Cu, Sn, Sb, Cr en Co (vrijwel) niet in afwijkende concentraties zijn aangetroffen. Deltares heeft de beschikbare meetgegevens gebruikt om de risico's op schadelijke milieueffecten te beoordelen. Het risico is het grootst voor Ba, Sr en V. Dit vanwege hun gevaareigenschappen en hun gemeten uitspoeling en verspreiding op de locatie. Schade aan organismen en planten in bodem en waterlichamen kan optreden door blootstelling aan metaaloxiden met toxische eigenschappen.

Opvallend zijn de verschillen in de uitloogconcentraties op basis van de gestandaardiseerde kolomproef en de gemeten concentraties van het percolatiewater op de belaste locatie. Barium, koper en vanadium zijn voorbeelden hiervan.

De veldmetingen van het RIVM, die in opdracht van ANVS in augustus 2021 zijn uitgevoerd naar de aanwezigheid van radiologische stoffen, geven aan dat er geen verhogingen zijn gemeten. De radioactiviteit op de deellootatie met de LD-staalslakken wijken niet af van die van de omliggende bodem, zodat er geen radiologische risico's worden verwacht voor de mens en zijn leefomgeving.

7 Beantwoording onderzoeksvragen

Op basis van de literatuurstudie in deze notitie is informatie verkregen over het oxystaalproces van de staalproductie, de morfologie en de chemische en minerale compositie van de LD-staalslakken, het wettelijk kader en de milieueffecten van de toepassingen van LD-staalslakken. Deze informatie dient als basis voor de beantwoording van de door de ILT gestelde onderzoeksvragen.

1. Wat is de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken en welke negatieve gevolgen ontstaan door toepassing van staalslakken in met name de fijne fracties.

De milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken, zoals het in de Europese en Nederlandse milieuwetgeving is gedefinieerd en waar normstelling voor is ontwikkeld, voldoet aan de gestelde milieueisen van de samenstelling- en emissiewaarden uit tabel 1 en 2 van bijlage A van de Rbk. De gepubliceerde gegevens over de samenstelling en de emissie van schadelijke stoffen van LD-staalslakken in het kader van de monitoring van de milieu hygiënische kwaliteit in de periode 1998-2001 en 2003-2006 tonen dit onder meer aan.

Recente wetenschappelijke publicaties wekken de indruk dat op basis van verschillende uitloogtesten met LD-staalslakken de emissies van vooral zware metalen laag zijn en ruim onder maximale emissiegrenswaarden blijven. Ook de anionen zoals chloride, bromide, fluoride en sulfaat laten geen overschrijdingen van de maximale emissiegrenswaarden zien. Wel is sprake van een consistent hoge pH uitloging met waarden tussen 11 en 12,5. De pH is echter niet in de huidige normstelling van de Rbk opgenomen. De onderzoeken met uitloogtesten tonen ook aan dat een grote variatie van de gemeten emissies van metalen optreedt. Men is het eens dat dit vooral te maken heeft met de variatie in de fysische structuur in het steenachtige materiaal van de LD-staalslakken en met de doorlatendheid, de hoge gehalten aan oxiden en silicaten van calcium en magnesium, de oxidatiestaat van de metalen, waaronder de legeringsmetalen zoals Ni, Mo, Sn, Sb, V, Co, Cr en Cu. Deze zijn afkomstig van onder andere het toegevoegde staalschroot tijdens het oxystaalproces. Deze worden deels geabsorbeerd in de slakken en het uitloogmedium.

Tegelijkertijd is duidelijk dat de LD-staalslakken bij open toepassingen op landbodems tot extreem hoge pH kunnen leiden, maar ook tot uitloging van (zware) metalen in de bodem. De uitloging kan over een zeer lange periode van enkele decennia voortduren. Dit is mogelijk als hemelwater of grondwater in contact komt met de LD-staalslakken of bij toepassingen van LD-staalslakken in waterlichamen. In waterlichamen kunnen de concentraties van uitgeloopte stoffen toenemen als een waterlichaam zich onvoldoende kan verversen. De hoge pH wordt veroorzaakt door het in de LD-staalslakken aanwezige vrije CaO, MgO, Ca(OH)₂ en de hydratatie van calciumsilicaten tot stabiele kristalstructuren waarbij CaO in de vorm van Ca(OH)₂ vrijkomt. De genoemde stoffen kunnen voor een (aanzienlijk) deel ingesloten zijn in

de cellenstructuren van de matrix van de LD-staalslakken. De stoffen aan de oppervlakte zijn goed bereikbaar voor water. Het wordt lastiger voor het water om dieper in de LD-staalslakken door te dringen maar het is niet onmogelijk. Dit hangt af van de fysisch-chemische eigenschappen van de LD-staalslakken zoals deeltjesgrootteverdeling, dichtheid, porositeit, permeabiliteit en het gehalte en de beschikbaarheid van CaO, MgO en Ca(OH)₂.

Het gehalte van ongebonden CaO is in de regel hoger in de (zeer) fijne korrelvormige (< 0,25mm) fracties van de LD-staalslakken vergeleken met die van grofkorrelvormige (2,5 tot 6 mm) fracties. De verschillen in de gehalten kunnen een factor 3 zijn. Dit is te verklaren met de standaard mechanische bewerking van afgekoelde LD-staalslakken zoals het magnetisch scheiden van de staalresten en het breken van grote brokken LD-staalslakken tot fijnere korrels en vervolgens het zeven in de gewenste deeltjesgrootte fracties. De oorspronkelijke cellenstructuur zal voor een deel tijdens de mechanische bewerking kapotgaan zodat de ingesloten basisch vormende stoffen beschikbaar komen en zich concentreren in de fijnere afgezeefde fracties. De LD-staalslakken van Tata Steel IJmuiden worden bijvoorbeeld in de volgende deeltjesgroottefracties gesorteerd op: < 0,25mm, 0,25mm - 6mm, 6 - 32 mm, 32 - 63mm, 63 - 90m en 90 tot 180mm of combinaties hiervan.

Het duiden van de geschetste nadelige milieueffecten bij open (grootschalige) toepassingen van de LD-staalslakken blijkt lastig vanwege de diversiteit en de complexiteit van in de (water) bodem heersende evenwichten van verschillende abiotische en biotische processen. Bij biotische processen gaat de aandacht vooral uit naar (direct) toxische en ecotoxicologische effecten als gevolg van de blootstelling aan vrijgekomen stoffen zoals metaaloxiden. Hierin schuilt impliciet wel een gevaar omdat we nog niet goed weten welke effecten er precies optreden op een tijdschaal van tientallen jaren. De bodems met onvoldoende pH bufferend vermogen zijn het meest kwetsbaar voor de verstoring van de evenwichtsprocessen waarbij de pH een grote invloed heeft. Juist het voorkomen van een milieurisico door beïnvloeding van de zuurgraad maakt geen onderdeel uit van de Bbk en Rbk. Verder is aandacht nodig voor de nutriënten, het DOC en het zwevend stof op grond van aanbevelingen van RIVM onderzoek in 2007. In deze studie zijn verschillende scenario's doorgerekend met modellen om het gedrag van schadelijke stoffen in bodemprocessen beter te kunnen begrijpen. Hier zijn kritische emissiegrenswaarden van afgeleid.

In latere publicaties is duidelijk gemaakt dat DOC, dat onder meer uit humuszuren bestaat, een relevante functie vervult in het transport van (zware) metalen en hun verbindingen. Door ingrijpende pH verhogingen, veroorzaakt door watercontact met de LD-staalslakken in open toepassingen, kan de functie van het DOC bij het transport van (zware) metalen nadelig beïnvloed worden. Over het algemeen zullen metalen beter wateroplosbaar zijn naarmate de pH afneemt, maar dit effect is afhankelijk van het specifieke metaal.

De gevaren van acute en of chronische toxische en ecotoxicologische effecten zijn op basis van uitgevoerde testen en studies van

wetenschappelijke publicaties hierover niet aangetoond. Dit blijkt onder meer uit de REACH registratiedossiers van de verplichte kennisgeving van bedrijven over de door hen uitgevoerde zelfclassificatie van LD-staalslakken. Dit product is op basis van de zelfclassificatie als niet gevaarlijk geclassificeerd.

Uitgaande van de juridische status van bijproduct en niet die van afvalstof, zijn de REACH- en de CLP-verordeningen van toepassing op LD-staalslakken. In de REACH registratiedossiers staat het materiaal als niet gevaarlijk geclassificeerd. Er zijn omstandigheden waarin het materiaal LD-staalslakken de status afvalstof heeft. In dat geval moet het toetsingskader van de Kra worden toegepast. Op grond van de chemische samenstelling van LD-staalslakken, afgezet tegen het toetsingskader in bijlage III van de Kra, kan dit materiaal als gevaarlijke afvalstoffen worden ingedeeld. Zo zijn onder meer de gehalten aan oxiden en hydroxiden van calcium en mangaan en drie- en zeswaardig chroomoxiden verantwoordelijk voor gevaarseigenschappen zoals oog- en huidirritatie, doelorgaantoxiciteit, reprotoxiciteit, mutageniteit en carcinogeniteit.

Uit een studie van de milieueffecten nabij stortplaatsen met LD-staalslakken in de Engelse plaats *Consett* zijn op basis van monitoring en trendanalyse duidelijk lange termijneffecten zichtbaar van een hoge pH uitloging, hogere waterconcentraties van zware metalen en hoge concentraties van calciumcarbonaten in de naburige oppervlaktewateren. Deze bevindingen ondersteunen de hierboven gegeven uitleg van mogelijke nadelige effecten door een hoge pH uitloging en de beïnvloeding op de mobiliteit van zware metalen in de bodem.

Samenvattend antwoord is dat de milieuhygiënische kwaliteit van de LD-staalslakken volgens de huidige Europese en Nederlandse wetgeving en normstelling geen onacceptabele milieurisico's zouden moeten geven op grond van de geteste materiaaleigenschappen. Echter, een belangrijk aandachtspunt waarvoor de wetgeving onvoldoende bescherming biedt, is de extreem hoge pH uitloging van de LD-staalslakken in open toepassingen van GWW projecten. In gevoelige bodems met onvoldoende pH bufferend vermogen zijn milieueffecten te verwachten door de verstoring van de evenwichten in bodemprocessen. Dit betreft abiotische processen van nutriënten, essentiële metalen en hun verbindingen en biotische processen waarin toxische en ecotoxicologische effecten op planten en organismen in de bodem plaats kunnen vinden. Vooral de grootschaligheid van talrijke toepassingen in infrastructurele GWW projecten en de zeer ruime tijdschaal (zo'n vijftig tot honderd jaar) waarin er hoge pH uitloging mogelijk is, is een bedreiging. Over dezelfde tijdschaal zullen ook zware metalen de onderliggende bodem decennialang tot wel tachtig jaar verontreinigen ondanks hun lage concentraties in het uitloogwater vergeleken met die van de maximale emissiegrenswaarden.

Er zijn praktijkvoorbeelden van opslag- of stortplaatsen (bv *Consett* in Engeland) en open toepassingen (bv *Spijk* in Nederland) waar op grond van meet- en monitoringsgegevens milieueffecten zoals

verontreinigingen met zware metalen en verstoringen van gevoelige organismen zijn vastgesteld.

2. Wat is carbonatatie? Hoe ontstaat dit? Is het ontstaan aangetoond? Treedt het op ongeacht hoe dik een laag staalslakken wordt toegepast? Heeft carbonatatie een (noodzakelijke) bewezen functie bij het toepassen van LD-staalslakken?

Carbonatatie is een chemische reactie, waarbij CaO , Ca(OH)_2 , MgO , Mg(OH)_2 of andere basische oxiden en hydroxiden samen met water door CO_2 uit de lucht worden omgezet in CaCO_3 , MgCO_3 of andere carbonaten. In LD-staalslakken zijn de gehalten van CaO verreweg het hoogst tot wel zestig massaprocenten. Hiervan is een fractie tot maximaal vijftien massaprocent als vrije CaO in de LD-staalslakken aanwezig. Met vrij wordt bedoeld dat CaO niet chemisch in een andere verbinding (mineralen) is gebonden zoals de calciumsilicaten. Het vrije CaO aan de oppervlakte is goed beschikbaar voor carbonatatie. Op basis van de morfologie van de LD-staalslakken is er kans dat een deel van de vrije CaO door insluiting in het geheel niet beschikbaar is voor een chemische reactie en geconserveerd blijft. Het gaat dan om de vrije CaO in LD-staalslakken die volledig ingekapseld zijn in de microcellen met een diameter van een tot drie micrometer in de dicalciumsilicaten. Het overige deel van de CaO zijn als spotjes of pitten aanwezig in de structuur van cellen met een diameter variërend van twintig tot honderd micrometer in de matrix van de kristalstructuren van de calciumsilicaten. In deze vorm kan door mechanische bewerkingen zoals breken, zeven en/of malen de cellenstructuur aangetast worden, waardoor de CaO en andere stoffen makkelijker beschikbaar komen voor een chemische reactie met onder meer CO_2 . Carbonaten van calcium en magnesium zijn aangetoond op basis van structuuropheldering en identificatie analysetechnieken.

Het is te verwachten dat carbonatatie van CaO aan de oppervlakte onmiddellijk optreedt, als de LD-staalslakken in direct contact staan met de buitenlucht. Daar staat tegenover dat het voor CO_2 vrijwel onmogelijk is de CaO in de microcellen van de stabiele dicalciumsilicaten matrix te bereiken. In overige situaties is carbonatatie van dieper in de matrix aanwezige CaO mogelijk. In diepere lagen en structuren moet het CO_2 eerst via diffusie binnendringen. De snelheid waarmee volledige carbonatatie kan zijn bereikt, is in belangrijke mate afhankelijk van de morfologie en de deeltjesgrootteverdeling van de LD-staalslakken. Ongeacht de dikte van een ophogingslaag of opvullingslaag is carbonatatie ook van diep in de laag LD-staalslakken aanwezige CaO en andere basevormende oxiden en hydroxiden mogelijk, maar zal dit beperkt worden door de diffusie van CO_2 .

Uit de literatuurstudie zijn geen aanwijzingen gevonden dat carbonatatie resulteert in een voor water ondoordringbare laag. Wel is er een ander effect. Tijdens de chemische reactie van CO_2 met CaO ontstaat in aanwezigheid van water eerst Ca(OH)_2 dat vervolgens wordt omgezet in CaCO_3 . De reactie veroorzaakt een volumetoename, waardoor er zwellings kan optreden. Vanwege dit effect zijn de constructie-eigenschappen van LD-staalslakken als secundair bouwstof minder gunstig.

Carbonatatie van sterk basevormende oxiden en hydroxiden is gunstig om de extreem hoge pH uitloging te kunnen afremmen. Echter zoals eerder aangegeven zal carbonatatie in diepere lagen naar verwachting sterk worden vertraagd of verhinderd.

3. Uitlogen:

- a. Welke stoffen logen uit voor zover nu bekend?
- b. Is al bekend of deze uitlogen uit de staalslakken of uit de bodem nadat de staalslakken hierop zijn toegepast?
- c. Zijn de risico's in beeld van deze uitlogende stoffen?
- d. Wat zijn de maatregelen die genomen moeten worden om risico tegen te gaan bij het gebruik van staalslakken?

Van korrelvormige (niet-vormgegeven) LD-staalslakken logen alle stoffen uit waarvoor normstelling is vastgesteld in tabel 1 van bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Dit betreffen onder meer de metalen zoals: Sb, As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Pb, Mo, Ni, Se, Sn, V en Zn maar ook anionen zoals fluoride, bromide, chloride en sulfaat. De emissies die zijn bepaald met de kolomproef liggen vrijwel altijd ruim onder de corresponderende maximale emissiegrenswaarden van de Rbk. De hoogste emissies zijn bekend voor Ba, Cu, Mo, Ni, V en Zn. De vormgegeven LD-staalslakken geven alleen voor V aantoonbare emissies die eveneens onder de wettelijke normstelling blijven.

De extreem hoge pH uitloging heeft zonder meer invloed op de mobiliteit van schadelijke stoffen in de LD-staalslakken en van stoffen die in de bodem van nature aanwezig zijn alsmede stoffen die als verontreiniging aanwezig zijn in verband met andere verontreinigingsbronnen. De gevaren van de uitgeloopte stoffen zijn grotendeels in beeld, omdat we veel weten over hun gevaarseigenschappen in ecosystemen en hoe de stoffen interacteren in de bodemprocessen. Door onderzoek naar de verspreiding in het grond- en oppervlaktewater kunnen de milieueffecten over deze blootstellingroutes in kaart worden gebracht. Met milieueffecten over biotische processen worden onder meer de (directe) toxische en ecotoxicologische effecten van de blootstelling van organismen en planten aan vrijgekomen metaaloxiden bedoeld.

Een belangrijk gevaar is de extreem hoge pH uitloging die ingrijpt in de bodemprocessen. Daarin speelt de diversiteit en complexiteit van de vele evenwichten in de abiotische en biotische bodemprocessen en hoe ze interacteren een rol. Daarbij speelt ook het milieueffect voor de blootstelling op korte (< jaar), middellange (1 tot 10 jaren) en lange termijn (10–100 jaren) een relevante rol. De invloed van DOC op de mobiliteit van metaalverbindingen is nog onvoldoende onderzocht op basis van de gevonden informatie in deze literatuurstudie.

Het spreekt voor zich dat alles in het werk moet worden gesteld het contact van LD-staalslakken met hemelwater of grondwater bij toepassingen op landbodems te voorkomen. De huidige wetgeving schrijft dit ook voor maar in de praktijk wordt dit niet altijd nageleefd of wordt geen rekening gehouden met zetting. Verder zou op basis van de RIVM-studies in de periode 2004 tot 2007 nagedacht moeten worden

over extra normstelling voor parameters zoals de pH, de nutriënten, het DOC en het zwevend stof.

4. Sinds wanneer is 'men' aangevangen met de nieuwe toepassingswijze van staalslakken, in grotere dan gebruikelijke laagdikten en hoeveelheden in met name aanvullingen of ophogingen?

Op basis van het onderzoek naar de beschikbare literatuur is hierop geen duidelijk antwoord te geven. Door de vervanging van het bouwstoffenbesluit in 2007 voor het Bbk is er meer 'speelruimte' bij de aannemers gekomen in de uitvoering van infrastructurele bouwprojecten waarbij secundaire bouwstoffen zoals LD-staalslakken zijn gebruikt. Het betreft vooral nieuwe toepassingen zoals ophogingen en aanvullingen in veelal grotere laagdikten en hoeveelheden dan in de periode dat het bouwstoffenbesluit nog van kracht was.

ECN (2007) stelt in haar rapport dat in de drie jaren voorafgaand aan het uitbrengen van hun rapport (tijdvak 2004 tot 2007) de LD-staalslakken in toenemende mate grootschalig zijn toegepast in ophogingen. De onderzoekers stellen dat dit te maken had met de heersende overschotten op de bouwstoffenmarkt. Als traditionele toepassingen van LD-staalslak(mengsels) noemt ECN onder meer de waterbouw voor oeverbescherming met vormgegeven materialen ter grootte van maximaal 45mm tot 180mm en toepassingen van niet-vormgegeven materialen in de wegenbouw als wegfunderingslagen (laagdikte van LD-staalslakken van enkele centimeters en laagdikte van LD-staalslakmengsel van 0,1m-0,4m).

Eenzijds heeft de overgang van Bsb naar Bbk geleid tot minder strenge normstelling van de analyseparameters in de Rbk en anderzijds lijkt het stelseltoezicht een aandachtspunt voor de naleving van de wet- en regelgeving. Het gaat bijvoorbeeld mis bij de toepassing van de algemene zorgplicht van artikel 1.1a Wm, artikel 13 van de Wbb of artikel 7 van het Bbk. LD-staalslakken blijken op basis van de samenstelling- en de emissiegrenswaarden vrijwel altijd te voldoen aan de maximale emissiegrenswaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen die geen IBC maatregelen vereisen. De houder/aannemer van de bouwstof is dan niet verplicht melding te doen bij het meldpunt bodemkwaliteit. Hierdoor blijven zeer veel GWW-werken met LD-staalslakken buiten zicht en blijven de milieueffecten vaak onopgemerkt. De casus 'golfbaan Spijk', waarover in de publieke media is bericht en in dit rapport is bestudeerd, toont aan dat de zorgplicht niet goed is nageleefd en/of niet goed heeft gewerkt.

5. Wat is in de wet- en regelgeving terug te vinden over het gebruik/toepassen van staalslakken?

De wetgeving voor het gebruik van secundaire bouwstoffen is ingericht als een stelsel, waarbij er in het publieke domein normstelling is vastgesteld in de Rbk. In de private sector zijn diverse belanghebbende partijen betrokken die op basis van een systeem van certificatie en accreditatie een geaccepteerde kwaliteit moeten leveren bij het keuren en testen van de milieuhygiënische kwaliteit van de bouwstoffen zoals LD-staalslakken.

Voor de toepassing van LD-staalslakken is de milieuhygiënische kwaliteit geborgd in de nationale beoordelingsrichtlijn NL-BRL 9345. De gecertificeerde toepassingen in de wegenbouw staan toegelicht in BRL 9310. Bij afwijkende niet gecertificeerde toepassingen dienen partijkeuringen te worden uitgevoerd om rechtmatig bewijs te ontvangen dat de milieuhygiënische kwaliteit voldoet zodat een milieuhygiënische verklaring kan worden ontvangen. Bij de levering van partijen LD-staalslakken onder een NL-BRL productcertificaat dienen deze vergezeld te gaan met bepalingen over de toepassingsvoorwaarden voor specifieke toepassingen. In het geval de houder of aannemer van een partij LD-staalslakken de toepassingsvoorwaarden van een NL-BRL productcertificaat niet correct heeft nageleefd, voorziet de Wm (art 1.1a), de Wbb (art. 13) en Bbk (art 7) in de zorgplicht. Hierin is bepaald dat de houder of aannemer heeft kunnen weten, dat bij onjuist handelen er schadelijke milieueffecten veroorzaakt kunnen worden. De nalevingsplichtige kan ertoe worden verplicht correcties aan te brengen en de veroorzaakte schade te herstellen.

Zodra de toepassing van LD-staalslakken in een bouwkundig werk eindigt, kunnen de terug te nemen LD-staalslakken, die mogelijk ook gemengd zijn met andere bouwstoffen, in de spiegelrubriek gevaarlijke afvalstof (SG) met EURALcode 17.01.06* of niet-gevaarlijke afvalstof (SNG) met EURALcode 17.01.07 vallen. De gevaarsindeling moet dan volgens de beschikking 2000/532/EG (EURAL) op basis van kennis en/of technische onderzoeken plaatsvinden. De systematiek voor de gevaarsindeling van afvalstoffen is te vinden in de Handreiking van Rijkswaterstaat (2019). Als toetsingskader gelden hierin de grenswaarden van gevaarlijke eigenschappen genoemd in bijlage III van de Kra. De gevaarsindeling onderscheidt, als het gaat om technische onderzoeken, twee soorten onderzoeken:

- 1) testen op gevaarlijke eigenschappen zoals ontplofbaarheid, corrosiviteit, ontvlambaarheid en toxiciteit. Hiervoor dienen de testmethoden in de Europese verordening 440/2008 te worden gebruikt of testmethoden die daarmee gelijkwaardig zijn en
- 2) metingen op basis van valide methoden van bemonstering en chemische analyse. De regeling EURAL geeft hiervoor aanwijzingen.

De uitslagen van testen hebben altijd voorrang op de uitkomsten van metingen. In deze literatuurstudie geeft het RIVM in bijlage I een overzicht van de mogelijkheden voor een gevaarsindeling van LD-staalslakken in het afvalstadium op grond van de te verwachten gehalten.

Vanuit het ministerie van I&W heeft het RIVM een opdracht voor een meren jarenproject (2022–2025) *uitloging bouw- en reststoffen*, waarbij een evaluatie wordt uitgevoerd naar de normstelling en mogelijke milieueffecten. Dit project beoogt een actualisatie van de kennisbasis voor hergebruik van secundaire grondstoffen door het in beeld brengen van de milieueffecten op bodem, grondwater en oppervlaktewater en het versterken van de kennis over het uitlogingsgedrag van (niet genormeerde) stoffen uit secundaire grondstoffen. Hiermee moet duidelijk worden welke maatregelen noodzakelijk zijn om de kwaliteit van secundaire grondstoffen beter te kunnen beoordelen. Op termijn

kan deze kennis worden geïmplementeerd in beslissingsondersteunend instrumentarium en/of in wet- en regelgeving.

6. Speelt het risico bij grote fracties ook of niet? Wat is het verschil tussen fijne en grove fracties in uitlogingsgedrag en milieurisico's.

Voor vormgegeven LD-staalslakken zijn de risico's op onacceptabele blootstelling van de milieucompartimenten op de korte en lange termijn klein. De blokken LD-staalslakken vinden hun weg in toepassingen in voornamelijk de waterbouw zoals dijk- en oeversbeschermt, zeewering en erosiebescherming. In het contact met water gaat het om grote oppervlaktewaterlichamen die in staat zijn zich te verversen. In het verleden (2000 tot 2006) zijn casussen bekend, waarbij LD-staalslakken in vijvers of andere kleine oppervlaktewaterlichamen zijn toegepast, bijvoorbeeld ter verondieping. Dit had onmiddellijk zichtbare milieueffecten zoals verkleuring, vertroebeling en vissterfte. Er werden in die periode behalve vormgegeven ook korrelvormige partijen LD-staalslakken gebruikt. De problemen hadden vrijwel altijd te maken met de extreem hoge pH uitloging van de slakken.

De studie van ECN (2007) gaat uit van een verband tussen de mate van fijnkorreligheid (bv 0-16mm) van niet vormgegeven LD-staalslakken en de gevaren van de opgelegde pH en redoxpotentiaal aan de ontvangende milieucompartimenten. De toepassingen met grofkorrelvormige en vormgegeven LD-staalslakken kunnen kortstondig of minimale beïnvloeding van het omringende milieu veroorzaken. Deze effecten worden door de omringende milieucompartimenten meestal zonder nadelige milieueffecten goed opgevangen.

Het RIVM constateert dat er voldoende bekend is over het optreden van schadelijke milieueffecten die het gevolg kunnen zijn van de extreem hoge pH uitloging bij het toepassen van de (fijn)korrelvormige LD-staalslakken. Verder is er ook voldoende informatie over het optreden van schade en sterfte bij zeer hoge pH's en de hierdoor veroorzaakte blootstelling aan relevante metaaloxiden met gevarenaanduidingen over toxiciteit en de ecotoxiciteit. Op grond van het literatuuronderzoek zijn er geen aanwijzingen gevonden dat er een vervolg is gegeven aan de aanbevelingen van de studies van het RIVM en ECN uit de periode 2004 tot 2007.

7. Zijn LD-staalslakken in de fijne fracties terugneembaar/herbruikbaar? Oftewel circulair?

Het is volgens artikel 33 van Bbk wettelijk verplicht om secundaire bouwstoffen zoals korrelvormige LD-staalslakken na de gebruiksfase weer terug te nemen of te verwijderen. Hierbij mag geen vermenging met de onderliggende bodem plaatsvinden. In een situatie waarbij (een deel van) het werk met LD-staalslakken zijn functionaliteit verliest, moet de bouwstof ook worden teruggenomen of verwijderd. Dit betekent dat de houder of eigenaar bekend is of zou moeten zijn met deze verplichting. Net als veel andere soorten korrelvormige (primaire en secundaire) bouwmaterialen zullen dezelfde praktijkomstandigheden heersen en dezelfde maatregelen moeten worden getroffen om dergelijke bouwmaterialen adequaat en veilig terug te nemen.

De herbruikbaarheid dient altijd te worden getoetst aan de nieuwe beoogde toepassing. Dit kan een gelijkwaardige of andere toepassing zijn. Voor het gebruik als bouwstof moeten de civieltechnische en milieuhygiënische kwaliteit vooraf zijn vastgesteld, net als bij de eerste toepassing. Bovendien moet bij hergebruik door dezelfde eigenaar van de bouwstof een melding bij het bevoegd gezag worden gedaan.

Voor de situatie van teruggenomen LD-staalslakken geldt onverminderd het regime van Bbk en Rbk indien het materiaal een andere toepassing in grond, weg – en waterbouw krijgt. Er zal bewijs moeten worden geleverd dat het materiaal op basis van de gestelde civieltechnische en milieuhygiënische eisen geschikt is voor de beoogde toepassing. Het is bijvoorbeeld niet bekend in hoeverre een partij LD-staalslakken kan worden aangemerkt als verweerd op basis van de carbonatatie waarbij de extreem hoge pH uitloging tot meer acceptabeler niveau is verlaagd. Verder zijn er aanwijzingen dat de uitloging van zware metalen ondanks de lage emissies heel lang door kunnen gaan bij het contact met water. Indien de houder of aannemer zich ontdoet of voornemens is zich ervan te ontdoen of zich ervan moet ontdoen, worden de LD-staalslakken afvalstoffen. Dit is in lijn met de Kra, het LAP en de toelichting in de *leidraad Afvalstof of Product*. In de leidraad is uitgelegd dat bij onduidelijkheid over een nieuwe toepassing de status van de LD-staalslakken na verwijdering of terugneming verandert van product naar afvalstof.

8 Conclusies

In opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport heeft het RIVM een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de milieuhygiënische kwaliteit van LD-staalslakken. Op grond van het onderzoek naar de wetenschappelijke publicaties, de stoffendatabanken, de verzamelde relevante documenten zoals rapporten, notities, wetteksten en digitale informatie van websites is kennis verzameld over de staalproductie, het oxystaalproces, de fysische kenmerken en de chemische en minerale samenstelling van de LD-staalslakken, de toepassingen als secundaire bouwstof en de nadelige milieueffecten hiervan.

Het RIVM heeft de volgende bevindingen samengevat:

8.1 Mineralogische – en chemische samenstelling

De belangrijkste bestanddelen van LD-staalslakken zijn silicaten, oxiden, hydroxiden en carbonaten van calcium (Ca), silicium (Si), magnesium (Mg), ijzer (Fe), aluminium (Al) en mangaan (Mn). Vrijwel alle zware metalen zijn in gehalten tot rond 50 mg/kg in de slakken aanwezig. Te noemen zijn: arseen (As), beryllium (Be), boor (B), cadmium (Cd), kobalt (Co), koper (Cu), kwik (Hg), lood (Pb), molybdeen (Mo), nikkel (Ni), titanium (Ti) en zink (Zn). Hogere gehalten van Chroom (Cr), Tin (Sn), Vanadium (V) en Strontium (Sr) zijn te verwachten in een gebied tussen circa 1000 en 5000 mg/kg.

Het totale gehalte van calciumoxide (CaO) kan tot maximaal 60%*m/m* bedragen, waarvan het aandeel vrije CaO tot een gehalte van 15%*m/m* kan oplopen. Er is een verband tussen het vrije CaO-gehalte en de gemiddelde korrelgrootte van een partij korrelvormige LD-staalslakken. Het gehalte is met circa 10%*m/m* hoger in materialen met kleine korrelgrootte van < 0,25mm en bedraagt circa 4%*m/m* bij een korrelgrootte tussen 2 en 6mm.

De steenvorming is te verklaren door de vorming van kristalstructuren uit de chemische reactie van de verschillende molecuulstructuren van calciumsilicaten met water (hydraulische binding). Verder vindt carbonatatie plaats door de chemische reactie van vrije calcium- en magnesiumoxiden en calcium- en magnesiumhydroxiden met kooldioxide uit de lucht tot de vorming van calcium- en magnesiumcarbonaten.

Tijdens het langzaam afkoelen aan de buitenlucht van de afgescheiden vloeibare LD-staalslakken na het oxystaalproces, ontstaat op microschaal cellen van 1 tot 3 micrometer een gesloten cellenstructuur in het steenachtige materiaal. Dit komt door degradatie van tricalciumsilicaten tot de vorming van de meer stabiele dicalciumsilicaten onder afsplitsing van calciumoxide. Dit deel van de vrije calciumoxide kan hierdoor ingesloten raken in de cellenstructuur. Er ontstaat ook een meer open cellenstructuur door de vorming en ontsnapping van fosfor en kooldioxide gassen. Het overige deel van de vrije calciumoxide ontstaat direct na de toevoeging van kalksteen ofwel calciëet (CaCO₃) en dolomiet (CaCO₃.MgCO₃) bij aanvang van het oxystaalproces. Hierbij

komt kooldioxidegas vrij. De gevormde calciumoxide hoopt zich op in de grotere cellen van 20 tot 100 micrometer in de kristalstructuren van de diverse soorten calciumsilicaten. Het is afhankelijk van de variëteit in fysische, mineralogische en chemische kenmerken in hoeverre hemel- of grondwater, dat in contact treedt met de LD-staalslakken, resulteert in de uitloging van schadelijke stoffen. Daarbij gaat het bij de fysische kenmerken om de morfologie, de doorlatendheid, de porositeit, de wateropname capaciteit, de deeltjesgrootte en de hardheid van het steenachtige materiaal.

8.2 Productie en levering LD-staalslakken

In Nederland is Tata Steel IJmuiden het enige bedrijf waar staal wordt geproduceerd volgens het Linz-Donawitz proces. Het bedrijf produceert circa 730 kiloton LD-staalslakken op jaarbasis. De bewerking van de LD-staalslakken gebeurt door het bedrijf Harsco op het terrein van het staalproductiebedrijf. De verhandeling van de bewerkte LD-staalslakken onder NL-BRL productcertificatie gebeurt door Pelt&Hooykaas. De twee bedrijven verrichten hun activiteiten onder contractafspraken met Tata Steel IJmuiden.

De toepassing van LD-staalslakken in GWW werken in Nederland vindt grotendeels plaats met de leveringen van LD-staalslakken afkomstig van Tata Steel IJmuiden onder productcertificatie van Pelt&Hooykaas. Er zijn in de literatuur geen andere leveranciers van de LD-staalslakken voor praktijktoepassingen Nederland van GWW werken gevonden.

8.3 Wettelijk kader

De LD-staalslakken voldoen met het door Rijkswaterstaat gepubliceerde rechtsoordeel (2017) aan de status bijproduct. Dit is beoordeeld aan de hand van de bepalingen in artikel 5 van de Europese kaderrichtlijn afvalstoffen en de zienswijze van Rijkswaterstaat in het rechtsoordeel. Deze status geldt specifiek voor LD-staalslakken afkomstig van Tata Steel IJmuiden en geleverd door Pelt&Hooykaas voor specifieke toepassingen in GWW werken. Omdat LD-staalslakken geen afvalstoffen zijn maar een product, zijn de REACH- en CLP-verordening van toepassing. LD-staalslakken moeten daarom worden geregistreerd onder REACH en worden ingedeeld volgens de regels van de CLP-verordening. LD-staalslakken zijn daarom in het REACH registratiedossier geregistreerd als *Slags, Steelmaking* met CASnr 65996-71-6.

De LD-staalslakken van Tata Steel IJmuiden zijn sinds 2015 geregistreerd, waarvoor de producent of leverancier ook een veiligheidsblad heeft opgesteld. Uit de openbare informatie van het registratiedossier, dat wordt gepubliceerd op de website van het ECHA, is te lezen dat de stof is ingedeeld als een niet gevaarlijke UVCB stof (UVCB is acroniem voor *Unknown of Variable Composition, complex reaction products of Biological materials*) op grond van de door bedrijven zelf uitgevoerde verplichte gevaarsindeling volgens de beoordelingssystematiek van de CLP-verordening. Er is (nog) geen door EU-lidstaten en ECHA opgestelde gevaarsindeling oftewel geharmoniseerde indeling.

Door de leverancier is in de zorgplicht voorzien, die voortvloeit uit de wet milieubeheer (art. 1.1a), de wet bodembescherming (art.13) en het besluit bodemkwaliteit (art.7). Hiertoe zet de houder of aannemer van de LD-staalslakken zijn handtekening voor akkoord, dat hij kennis heeft genomen van de gevaren van hoge pH uitloging en de noodzakelijke IBC maatregelen en de toepassingsvoorwaarden voor de realisatie van GWW werken die afwijken van de gecertificeerde toepassingen in bijvoorbeeld de wegenbouw conform in BRL 9310.

Bij verlies van de functionaliteit van een GWW werk is de houder verplicht de LD-staalslakken te verwijderen of terug te nemen. De bodem mag daarbij niet zijn vermengd met de bouwstoffen. De status van product verandert naar afvalstof als er geen duidelijkheid is over een nieuwe toepassing van de teruggenomen bouwstoffen. Dit is toegelicht in de *leidraad Afvalstof of Product* en volgt uit de beleidslijn beschreven in hoofdstuk B.6 van het Landelijk Afvalbeheerplan versie 3. Van belang is dat het door de houder aantoonbaar moet zijn dat de productie, levering en de toepassing van LD-staalslakken *zeker, rechtmatig en voldoende hoogwaardig* is om het als product te kunnen behandelen.

Zodra de toepassing van LD-staalslakken in een bouwkundig werk eindigt, kunnen de terug te nemen LD-staalslakken die mogelijk ook gemengd zijn met andere bouwstoffen in de spiegelrubriek gevaarlijke afvalstof (SG) met EURALcode 17.01.06* of niet-gevaarlijke afvalstof (SNG) met EURALcode 17.01.07 vallen. De gevaarsindeling moet dan volgens de beschikking 2000/532/EG ofwel de Europese afvalstoffenlijst op basis van kennis en of technische onderzoeken plaatsvinden.

8.4 Milieueffecten

Het RIVM heeft in het literatuuronderzoek over de milieueffecten bij de toepassing van LD-staalslakken in GWW werken de volgende inzichten, conclusies en aanbevelingen.

De hoge pH uitloging met waarden tussen 11 en 12,5 ontstaat in het water dat in direct contact is geweest met de LD-staalslakken in werken op de landbodems met een risico voor de verspreiding naar aangrenzende waterlopen of het grondwater. De extreem hoge pH is te verklaren door de reactie van water met hoge gehalten van calciumoxide in de LD-staalslakken en verder met aanwezige magnesiumoxide, calciumhydroxide en calciumsilicaten tot de vorming en oplossing van calcium- en magnesiumhydroxiden.

Er zijn uitloog-, model- en experimentele veldstudies die erop wijzen dat de extreem hoge pH uitloging een gevaar is voor de ontvangende milieucompartimenten. De pH beïnvloedt de heersende natuurlijke evenwichten in tal van abiotische en biotische bodemprocessen die ook met elkaar interacteren. Vooral bodem met een beperkte buffercapaciteit is kwetsbaar. In de studies van onder meer ECN en het RIVM in het tijdvak van 1995 tot 2010 is geconcludeerd dat de pH een grote invloed heeft op het migratiegedrag van zware metalen op grond van de wateroplosbaarheid van metalen. Daarbij speelt het gehalte *dissolved organic carbon* (DOC) in de bodem een cruciale rol. DOC, dat

onder meer uit humuszuren bestaat, vervult een relevante functie in ecosystemen bij het transport van in de bodem van nature voorkomende (zware) metalen en hun verbindingen. Veen- en kleigronden bevatten hogere DOC gehalten dan bijvoorbeeld zandgronden. Door ingrijpende pH verhogingen, veroorzaakt door watercontact met de LD-staalslakken in open toepassingen, ontstaan ongewenste effecten in de functie van het DOC bij het transport van (zware) metalen. Dit geldt vooral in zandbodems waar door lage DOC gehalten het bufferend vermogen te klein is om de hoge pH uitloging te kunnen neutraliseren en waardoor een nadelig milieueffect eerder optreedt. Over het algemeen zullen metalen beter wateroplosbaar zijn naarmate de pH afneemt, maar dit effect is afhankelijk van het specifieke metaal en zijn oxidatietoestand.

Op basis van studies op laboratoriumschaal en een unieke veldstudie van de metingen en de monitoring van een dertig jaar oude stortplaats met LD-staalslakken in *Consett* in Engeland, is aangetoond dat de uitloging van lage concentraties zware metalen en hoge pH waarden zich decennialang kan manifesteren over een geschatte periode van 50 tot 80 jaren. Dit is mogelijk als onvoldoende maatregelen zijn getroffen om het contact van vooral grootschalige hoeveelheden LD-staalslakken met het hemel- of grondwater te voorkomen. Door de slechte kwaliteit van de bodem en het grond- en oppervlaktewater, als gevolg van verhoogde concentraties van zware metalen en carbonaten en hydroxiden van onder meer calcium en magnesium, ondervinden hogere organismen zoals vissoorten (karperachtigen) schadelijke effecten. De zware metalen kunnen dus zowel uit de LD-staalslakken uitspoelen en tegelijkertijd de van nature aanwezige zware metalen in de bodem in hun mobiliteit beïnvloeden.

De stoffen die in de LD-staalslakken via uitloging kunnen vrijkomen zijn allen genormeerde stoffen in tabel 1 van bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit (Rbk). Dit zijn: antimoon (Sb), arseen (As), barium (Ba), cadmium (Cd), chroom (Cr), kobalt (Co), koper (Cu), kwik (Hg), lood (Pb), molybdeen (Mo), nikkel (Ni), seleen (Se), tin (Sn), vanadium (V) en zink (Zn). Dit is aangevuld met anionen zoals: bromide, chloride, fluoride en sulfaat. Ter aanvulling zien we ook niet genormeerde stoffen uitlogen zoals natrium (Na), calcium (Ca), aluminium (Al), strontium (Sr), titanium (Ti), beryllium (Be) en Boor (B). Afhankelijk van hun speciaties en hun emissies kunnen ze schadelijk zijn voor het milieu.

Naar aanleiding van recente casuïstiek in Nederland is een pakket aan onderzoeken uitgevoerd. Dit is gedaan na de stillegging van een project in maart 2019. Het project betrof de bouw van een geluid- en zichtwal op een uitbreidingslocatie van de golfbaan *The Dutch* in de buurt van Spijk. De onderzoeken wijzen uit dat er sprake is van hoge pH uitloging (>11) en uitloging van zware metalen in het percolatie- en drainagewater alsmede op LD-staalslakken aanwezige plassen. Het meest in het oog springen de gehalten van Ba, V, en Cu tot boven de tussenwaarden. Onder invloed van de hoge pH uitloging en zware metalen zijn ook verhoogde concentraties in het oppervlaktewater gemeten van Al, Ba, Ca, CO₃, Cr, K, Cu, Mo, Na, Pb, Sr, en V. Uit de monitoring van de grondwaterkwaliteit op de locatie van de aangebrachte LD-staalslakken zijn de parameters zoals pH, Sr, Al, Fe, V,

Ni, Mo en Ba sterk beïnvloed, terwijl Cd, Hg, Pb, Cu, Sn, Sb, Cr en Co (vrijwel) niet in afwijkende concentraties zijn aangetroffen. Uit metingen van het RIVM in augustus 2021 naar de aanwezigheid van radiologische stoffen op de deellocatie met de LD-staalslakken blijkt dat er geen radiologische risico's worden verwacht.

Het RIVM stelt vast dat de uitgevoerde onderzoeken op basis van de verzamelde informatie van goede kwaliteit zijn en dat de uitkomsten van de hoge pH uitloging en de emissie en verspreiding van schadelijke stoffen zoals de zware metalen consistent zijn met eerdere publicaties over dit milieueffect.

De gemeten emissies op basis van de kolomtesten met de bemonsterde staalslakken volgens gestandaardiseerde methoden komen opvallend slecht overeen met de gemeten emissies in de veldsituatie. Dit kan te maken hebben met de ontwikkeling van de kolomtest voor toepassingen in de periode dat het bouwstoffenbesluit vanaf 1995 in werking trad. Daarbij is uitgegaan van aanmerkelijk kleinere laagdikten van LD-staalslakken zoals gecertificeerde toepassingen waaronder funderingslagen in de wegenbouw onder BRL 9310. Voorbeelden van toepassingshoogten waarmee gerekend werd zijn 0,5m en 0,7m. In de casus geluid- en zichtwal langs de A15 nabij Spijk zijn toepassingshoogten tot 10m gepland. Bij het ontwerp is wel rekening gehouden met een opbouw van afwisselend LD-staalslakken met laagdikten van 1m tot 3m en lagen van andere materialen (bv zand). De validiteit van de uitloogtesten is sinds de ontwikkeling van de testen in de periode 1985 tot 1995, voor zover de literatuur uitwijst, daarna niet opnieuw onderzocht. Dit is relevant bij praktijktoepassingen van LD-staalslakken in laagdikten die een veelvoud zijn van de laagdikten bij toepassingen in de wegenbouw.

Het RIVM beveelt aan om een onderzoek naar de validiteit van de uitloogtesten zoals de kolomproef voor niet-vormgegeven LD-staalslakken te overwegen.

Dit zou ook een uitkomst kunnen zijn van het merenjarenproject *uitloging bouw en -reststoffen*, waarbij vanuit het ministerie I&W het RIVM een opdracht heeft voor een evaluatie naar het normeringskader en milieueffecten. Dit project beoogt een actualisatie van de kennisbasis voor hergebruik van secundaire grondstoffen door het in beeld brengen van de milieueffecten op bodem, grondwater en oppervlaktewater en het versterken van de kennis over het uitlogingsgedrag van (niet genormeerde) stoffen uit secundaire grondstoffen.

Het RIVM maakt uit verschillende casussen op dat door de extreem hoge pH uitloging van LD-staalslakken en de schadelijke milieueffecten die dit veroorzaakt, het contact met water, de wijze van toepassing en de toepassingslocatie van een staalslak meer aandacht zouden moeten krijgen. Het RIVM beveelt vervolgonderzoek aan op grond van het uitgevoerde literatuuronderzoek naar het milieueffect van hoge pH.

8.5 Eindconclusie

De volgende samenvattende conclusies zijn te trekken.

- LD-staalslakken is een steenachtig materiaal dat chemisch is samengesteld uit silicaten, carbonaten, oxiden en hydroxiden van calcium, magnesium, aluminium, mangaan en ijzer. Verder bevat het oxiden van arsen, beryllium, boor, cadmium, chroom, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel, strontium, tin, titanium, vanadium en zink. Fysische kenmerken zijn dat het materiaal structuren van gesloten cellen (1 tot 3 micrometer) en meer open cellen (20 tot 100 micrometer) bevat. Dit is opgebouwd uit de kristalstructuren van de gehydrateerde silicaten van grotendeels calcium en magnesium. De dichtheid is circa 3300 tot 3600 kg/m³ en de hardheid van het steenachtige materiaal benaderd met 100 MPa die van granietsteen.
- De informatie van de open toepassingen van LD-staalslakken in grond-, weg- en waterbouw werken wijzen op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek op een consistent beeld, namelijk dat er vrijwel altijd sprake is van een extreem hoge pH uitloging en de uitloging van zware metalen in de LD-staalslakken. De pH-waarden liggen meestal tussen 11,0 en 12,5. De hoge pH uitloging is te verklaren door de chemische reactie van water met calciumoxide in de LD-staalslakken tot de vorming van calciumhydroxide. Deze reactie gebeurt ook met magnesiumoxide tot de vorming van magnesiumhydroxide.
- Verder zijn er aanwijzingen dat de uitloging over een lange termijn van ten minste tientallen jaren door kan gaan. Dit is vooral een risico bij toepassingen zoals ophogingen en aanvullingen met toepassingshoogten (ruim hoger dan 1m tot 10 m) zoals geluidwallen, bergen of dijklichamen. Ze wijken sterk af van de oorspronkelijke hoogte (<1m), waarmee er in de periode voorafgaand aan de publicatie van het bouwstoffenbesluit in 1995 van uit is gegaan. Destijds ging het bijvoorbeeld om toepassingen van LD-staalslakken in de wegenbouw zoals funderingslagen.
- De zware metalen die uitlogen komen overeen met alle in de normstelling voorkomende analyseparameters van tabel 1 van bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit.
- Niet genormeerde stoffen die in LD-staalslakken uitlogen zijn: natrium (Na), calcium (Ca), aluminium (Al), strontium (Sr), titanium (Ti), beryllium (Be) en Boor (B). Afhankelijk van hun speciaties en hun emissies kunnen ze schadelijk zijn voor het milieu.
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden, dat er in het kader van de normstelling verder onderzoek heeft plaatsgevonden naar het milieueffect dat door de hoge pH uitloging wordt veroorzaakt. Het eerdere onderzoek heeft zich voornamelijk geconcentreerd op onder meer de rol van nutriënten, DOC en zwevend stof in de mobiliteit van de zware metalen bij abiotische en biotische processen in de bodem. ECN en RIVM hebben in het verleden, rond 2007, aanbevelingen hiervoor gedaan.
- Er zijn op in publicaties grote verschillen aangetoond in de emissieconcentraties van zware metalen op basis van de kolomproef van bemonsterde LD-staalslakken op

laboratoriumschaal en die op basis van de veldmetingen in het percolatie- en drainagewater dat in direct contact is geweest met korrelvormige LD-staalslakken in open toepassingen in grondwerken. Het RIVM beveelt aan om een onderzoek naar de validiteit van de kolomproef in overweging te nemen. De kolomproef is in het verleden ontwikkeld en gevalideerd, waarbij er geen rekening is gehouden met sterk afwijkende toepassingshoogten en grotere hoeveelheden LD-staalslakken. Verder is het de vraag in hoeverre de gemeten emissies zich verhouden tot de normstelling.

- De extreem hoge pH uitloging en de daarmee gerelateerde schadelijke milieueffecten vormen een milieuprobleem dat aandacht behoeft. Momenteel is er in de normstelling geen eis gesteld voor de pH uitloging. Verder is er op grond van tal van uitloogonderzoeken in het verleden een overschrijding van de emissies van metalen en anionen uit LD-staalslakken aan de maximale emissiewaarden van niet-vormgegeven bouwstoffen aangetoond, zodat er geen sprake van een IBC-plicht is volgens Bbk en Rbk.
- Het RIVM constateert, dat het belangrijk is om de status van de LD-staalslakken als product of afvalstof scherp te krijgen. Dit speelt in gevallen dat een grondwerk met LD-staalslakken moet worden verwijderd en de LD-staalslakken, mogelijk vermengd met andere bouwstoffen, moeten worden teruggenomen. De LD-staalslakken krijgen de status afvalstof als er geen duidelijkheid is dat het materiaal een nieuwe toepassing kan krijgen die voldoet aan de eisen van de toepasselijke productwetgeving.

Referenties

1. Probleemanalyse van grootschalige toepassingen van Id-staalslakken in nederland
ILT, 21 april 2021
2. VROM
Circulaire Toepassing Van Staalslak En Hoogovenslak(Zand) In Aanvullingen En Ophogingen
Staatscourant, 6 Juli 2005
3. Bouwstoffenbesluit
Staatsblad 567, 1995
4. Besluit Bodemkwaliteit
Staatsblad 469, 2007
5. NEN 7375: Uitloogkarakteristieken-Bepaling Van De Uitloging Van Anorganische Componenten Uit Vormgegeven En Monolitische Materialen Met Een Diffusieproef – Vaste Grond- En Steenachtige Materialen
Januari, 2004
6. NEN 7373: Uitloogkarakteristieken-Bepaling Van De Uitloging Van Anorganische Componenten Uit Poeder- En Korrelvormige Materialen Met Een Kolomproef – Vaste Grond- En Steenachtige Materialen
Januari, 2004
7. H.A. Van Der Sloot; A. Van Zomeren; D.S. De Nie, En J.C.L. Meeussen
PH En Redox Effecten Van Bouwmaterialen
ECN Rapport Nr. ECN-E--07-093; November 2007
8. P.G.M. De Wilde, A.F. Peekel EN S.E.J. Buykx
Monitoring Milieuhygiënische Kwaliteit Van Bouwstoffen
RIVM Rapport 771402028, 2002
9. J.W.M. De Wijs, R.F.M.J. Cleven
Monitoring Kwaliteit Bouwstoffen 2006 – Een Vergelijking Met De Monitoringdata 2003/2004 En 2005
RIVM Rapport 711701062 En INTRON: A825210/R20070220, 2007
10. A.J. Verschoor, J.P.A. Lijzen, H.H. Van Den Broek, R.F.M.J. Cleven, R.N.J. Comans, J.J. Dijkstra, En P.H.M. Vermij
Kritische Emissiewaarden Voor Bouwstoffen Milieuhygiënische Onderbouwing En Consequenties Voor Bouwmaterialen
RIVM Rapport 711701043/2006, 2007
11. Herkennen Van Materialen Gebruikt In Wegenbouw En Voor Verharding In Kader Van Verwijderingsstructuur Voor Nonferro Residu's.
OVAM Rapport Depotnr. D/2008/5024/98, 30 Juli 2008
12. Best Available Techniques (BAT) Reference Document For Iron And Steel Production - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention And Control)
Rapport Van *European Integrated Pollution Prevention And Control Bureau (EPPCB) At The European Commission's Joint Research Centre – Institute For Prospective Technological Studies (IPTS)*.
Published, 2013

13. Osté L., Venmans A., Delsman J.
Toepassing Van LD-Staalslakken Voor De Uitbreiding Van Golfbaan
The Dutch In Spijk – Beoordeling Van Risico's Voor Het
Oppervlaktewater En Grondwater
Deltares Rapport 11204424, Oktober 2019
14. Kaderrichtlijn Afvalstoffen; 2008/98/EG
15. Das B., Prakash S., Reddy P.S.R., En Misra V.N.
An Overview Of Utilization Of Slag And Sludge From Steel Industries
Resources, Conservation And Recycling 50 (2007) 40-57
16. Chand S., Pual B. En Kumar M.
An Overview Of Use Of Linz-Donawitz (LD) Steel Slag In Agriculture
Curr. World Environ., Vol. 10(3), 2015
17. Chand S., Pual B., En Kumar M.
Sustainable Approaches For LD Slag Waste Management In Steel
Industries: A Review
Metallurgist, Vol. 60. Nos. 102, May 2016
18. LD-Staalslak Als Bijproduct Van De Productie Van Staal Bij Tata Steel
Ijmuiden –Onderbouwing Van De Bijproductstatus Van LD-Staalslak-
Pelt&Hooykaas Rapport, Aug 2011
19. Rechtsoordeel LD-Staalslak
Rijkswaterstaat, Datum 22 September 2017
20. Singh S.K., Rekha P. En Surya M.
Utilization Of Linz-Donawitz Slag From Steel Industry For Waste
Minimization
Journal Of Material Cycles And Waste Management Vol 22, 2020
21. Dekker P.M., Wesselink L.G. En Wilde De P.G.M.
Verspreiding Van Emissies Uit Secundaire Grondstoffen In Bodems –
Deel 1. Kolomexperimenten.
RIVM Rapport Nr 771402013, Maart 1996
22. Notitie Grootschalige Toepassing (≥ 15.000 Ton) Van BGS FILL In
GWW-Werken
Pelt&Hooykaas Notitie Nr N20.02/EO 13 Okt 2021
23. Waligora J., Buldeel D., Degrugilliers P., Damidot D., Potdevin J.L.,
Measson M.
Chemical And Mineralogical Characterizations Of LD Converter Steel
Slags: A Multi-Analytical Techniques Approach
Materials Characterization, 61, 2010
24. Chand S., Wiswajit P., Kumar M.
A Comparative Study Of Physicochemical And Mineralogical Properties
Of LD Slag From Some Selected Steel Plants In India
Journal Of Environmental And Technology 9(1), 2016
25. Tripathy S.K., Rao D.S., Eswaraiah C., Sahoo D.
Applied Mineralogical Investigation On The Nature Of Phosphorous In
The Basic Oxygen Furnace Slag
Trans. Indian Inst. Me.T, 74(9), 2021
26. Ashrit S., Chatti R.V., Sarkar S., Venugopal R., Nair G.U.
Application Of ICP-MS Technique For Analysis Of Heavy Metals In LD
Slag Fines
Current Science, Vol 115 No5, 2018
Radenovic A., Malina J., Sofilic T.
Characterization Of Ladle Furnace Slag From Carbon Steel Production
As A Potential Adsorbent
Advances In Materials Science And Engineering, 2013

27. Yildirim I.Z., Prezzi M.
Chemical, Mineralogical, And Morphological Properties Of Steel Slag
Advances In Civil Engineering, 2011
28. Chand S., Chand S.K., Pual B., Kumar M.
Long-Term Leaching Assessment Of Constituent Elements From Linz-
Donawitz Slag Of Major Steel Industries In India
International Journal Of Environmental Science And Technology
Vol16, 2018
29. Mal U., Adhikari K., Tripathi A.
Steel Plant Slag Dumps: A Potential Source Of Groundwater
Contamination
J. Earth Syst. Sci. Vol131, 2022
30. Riley A.L., Mayes W.M.
Long-Term Evolution Of Highly Alkaline Steel Slag Drainage Waters
Environ. Monit. Assess., 2015
31. Ashrit S., Chatti R.V, Sarkar S., Vermgopal R, Nair U.G.
An Infrared Spectroscopic Study Of Non-Metallic Portion Of Linz-
Donawitz Slag Fines Generated At Tata Steel, Jamshedpur
Metall. Res. Technol. Vol115, 2018
32. Steelmaking Slag Converter (BOS)
ECHA Registratienummer: 01-2119487458-21-XXXX (NL)
Safety Data Sheet, Tata Steel, Dec. 2015
33. Palod R., Deo S.V., Ramtekkar G.D.
Sustainable Approach For Linz-Donawitz Slag Waste As A
Replacement Of Cement In Concrete: Mechanical Microstructural, And
Durability Properties
Avances In Civil Engineering, July 2020
34. Verkennend Bodemonderzoek Haarweg Te Spijk Deellocatie 1b
En 1c
Rapport BK Ingenieurs Versie 1.0, Project191383, 12 Juli 2019
35. Verkennend Bodemonderzoek Haarweg Te Spijk Deellocatie 1a
Rapport BK Ingenieurs Versie 3.0, Project191383, 22 Augustus 2019
36. Uitspraak Voorzieningenrechter: Casus Grondwerk Met LD-
Staalslakken In Onverharde Weg/Dijk/Omwalling In Gemeente
Hellevoetsluis
ECLI:NL:RVS:2019:676
Raad Van State, 6 Maart 2019
37. Landelijk Afval Beheerplan
38. Leidraad - 1.2 Afvalstof Of Product - Richtsnoeren Voor De Uitleg En
Toepassing Van De Begrippen 'Afvalstof', 'Bijproduct' En 'Einde-
Afvalstatus'
Ministerie Van I&W, Januari 2021
39. K.H. Cats
Onderzoek Radioactiviteit In Gestorte Staalslakken Bij Spijk
RIVM Briefrapport 2021-0136, Februari 2021
40. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beergowda
K.N.
Toxicity, Mechanism And Health Effects Of Some Heavy Metals
Interdisciplinaty Toxicology. Vol 7(2), 2014

Websites:

[Geregistreerde Stoffen - ECHA \(Europa.Eu\)](#)

[Industriespoor](#)

Geraadpleegd Op 23 Juni 2022

[Factsheet Converterslak.Pdf \(Tatasteel.Nl\)](#)

Geraadpleegd Op 23 Juni 2022

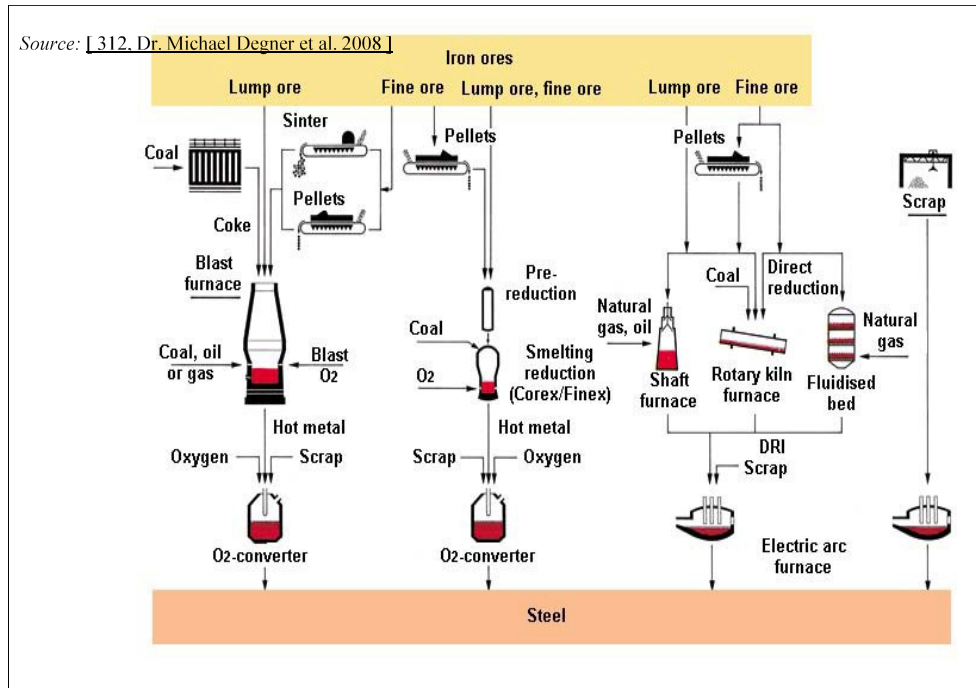
[Eerbeek: Herinrichting Oud-Papierstortplaats \(Ploegam.Nl\)](#)

Geraadpleegd Op 23 Juni 2022

[Materiaaleigenschappen Staalslak | Bodemrichtlijn](#)

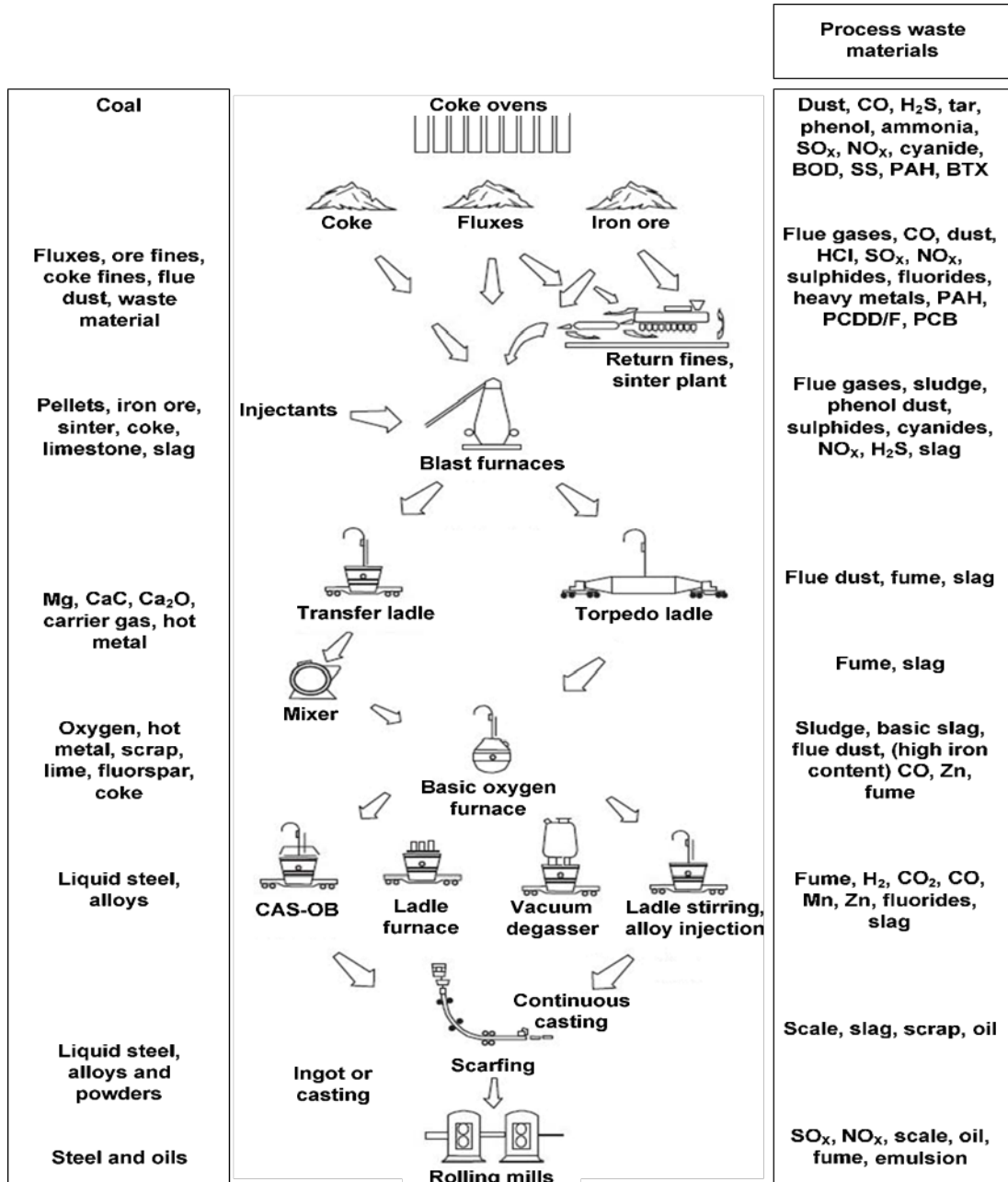
Geraadpleegd Op 13 December 2022

Bijlage A Vier staalproductiemethoden volgens oxystaaloven- en elektro-ovenroute



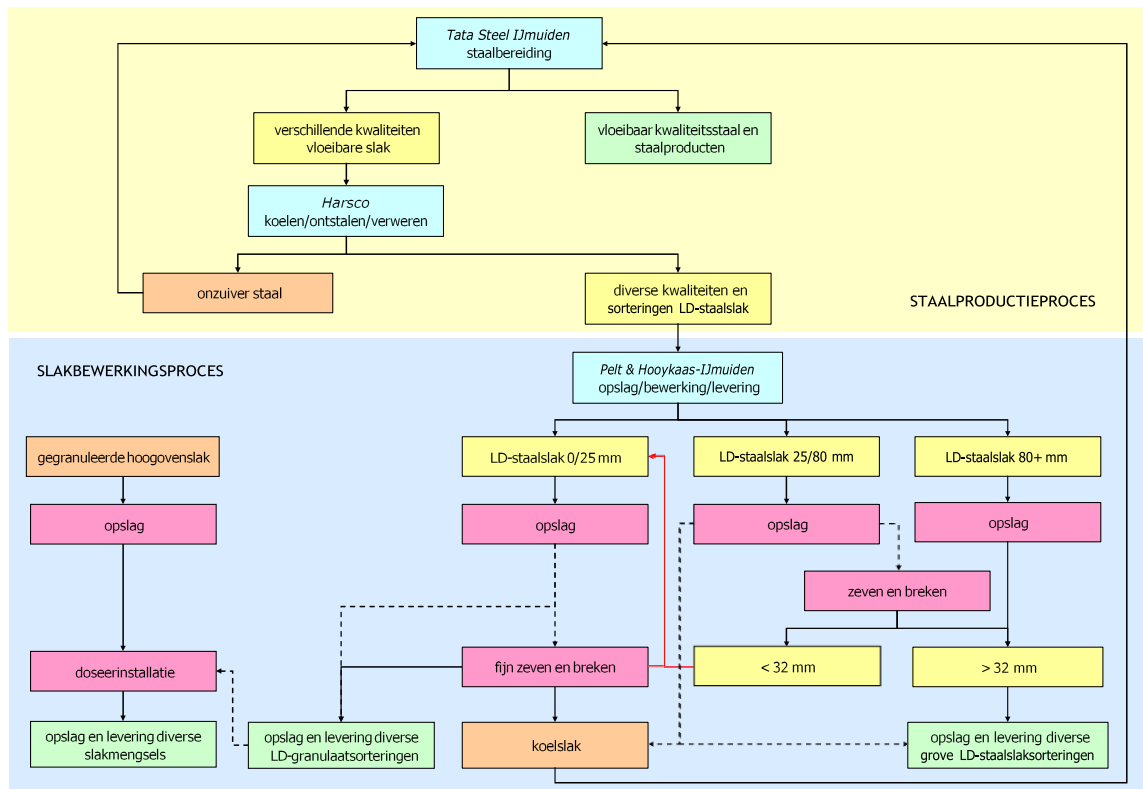
Bron: BAT document (2012)

Bijlage B Schema productie staal en staalslakken



Bron: BAT document (2012)

Bijlage C Schema productie staal en staalslakken (Tata Steel IJmuiden)



Bron: Pelt&Hooykaas rapport, 2011 (16)

Bijlage D Chemische reacties van de oxidatie tijdens het oxystaalproces

Oxidation process	Chemical reaction
Carbon elimination	$[C] + [O] \quad s \quad CO \text{ (off-gas)}$
	$[CO] + [O] \quad s \quad CO_2 \text{ (off-gas)}$
Oxidation of accompanying and tramp elements	
- Desiliconisation	$[Si] + 2[O] + 2[CaO] \quad s \quad (2CaO \cdot SiO_2)$
- Manganese reaction	$(Mn) + (O) \quad s \quad (MnO)$
- Dephosphorisation	$2[P] + 5 [O] + 3 [CaO] \quad s \quad (3CaO \cdot P_2O_5)$
Deoxidation	
Removal of residual oxygen through ferro-silicon	$[Si] + 2[O] \quad s \quad (SiO_2)$
Aluminium reaction	$2[Al] + 3[O] \quad s \quad (Al_2O_3)$
NB: — [] = Dissolved in the hot metal. — () = Contained in the slag. Source: [200, Commission 2001] [363, Eurofer 2007].	

Bron: BAT document(2012)

Bijlage E Mineralogische samenstelling van LD-staalslakken

mineralen	Das et al^a % m/m	Chand et al^b	Singh et al^c	Pelt&Hooykaas^d	SDS^e
<i>tricalcium silicaat</i> (Ca_3SiO_5)	0 - 20				
<i>dicalcium silicaat</i> (Ca_2SiO_4)	30 - 60				
<i>Overige silicaten</i>	0 - 10				
<i>magnesium calciumwustiet</i> (Mg, Ca, Fe)O	15 - 30				
<i>Dicalcium aluminiumferriet</i> $Ca_2(Fe, Al, Ti)_2O_5$	10 - 25				
<i>Magnesium fasen</i> (Fe, Mn, Mg, Ca)O	0 - 5				
<i>kalkfase (ca, fe)o</i>	0 - 15				
<i>periclase (Mg,Fe)O</i>	0 - 5				
<i>fluoriet CaF₂</i>	0 - 1				
<i>srebrodolskiet</i>		$Ca_2Fe_2O_5$		$Ca_2(Fe, Ti, Al)_2O_5$ (22)	$Ca_2Fe_2O_5$
<i>larniet (beta vorm)</i>		Ca_2SiO_4			Ca_2SiO_4
<i>bredigiet (alfa vorm)</i>				Ca_2SiO_4 (22)	
<i>alfa dicalciumsilicaat</i>				Ca_2SiO_5 (1)	
<i>dicalciumsilicaat</i>				Ca_2SiO_6 (18)	
<i>calciet</i>		$CaCO_3$	$CaCO_3$		
<i>ongeblyste kalk (lime)</i>		CaO	CaO	CaO (4)	CaO

mineralen	Das et al^a % m/m	Chand et al^b	Singh et al^c	Pelt&Hooykaas^d	SDS^e
<i>dolomiet</i>		CaMg(CO ₃) ₂	CaMg(CO ₃) ₂		
<i>periklaas</i>		MgO	MgO		MgO
<i>hematiet</i>		Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃
<i>portlandiet</i>		Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂		
<i>wuestiet</i>		FeO	FeO	(Mg,Fe,Mn)O (31)	FeO
<i>mangaanoxide</i>					MnO
<i>di-calcium silicaat</i>			2CaO.SiO ₂		
<i>tri-calcium silicaat</i>			3CaO.SiO ₂		Ca ₃ SiO ₅
<i>di-calcium aluminiumferriet</i>			2CaO (Fe,Al) ₂ O ₃		
<i>di-calcium ferriet</i>			Ca ₂ Fe ₂ O ₅		
<i>di-calcium aluminiumsilicaat</i>			Ca ₂ Al ₂ SiO ₃ O ₁₂		
<i>calcium ferriet</i>			CaFe ₂ O ₄		
<i>magnetiet</i>			Fe ₃ O ₄	Fe ₃ O ₄ (2)	
<i>quartz</i>			SiO ₂		
<i>tetracalcium aluminiumferriet</i>			C ₄ AF [
<i>spinel</i>					Me ²⁺ Me ³⁺ ₂ O ₄

Opmerking:

- Spinel is een mineraal dat is samengesteld uit metalen met valentiewaarde 2 en 3. Voorbeelden zijn Me⁺² als Fe⁺² of Mg⁺² en Me⁺³ als Al⁺³. Spinel kenmerkt zich met edelsteenachtige eigenschappen.
- Getallen in kolom "Pelt&Hooykaas" tussen haakjes zijn gehalten in massaprocenten

a: Das et al, 2007 (15)

b: Chand S et al, 2016 (24)

c: Singh et al, 2020 (20)

d: Pelt&Hooykaas, 2011 (18)

e: Safety Data Sheet: Steelmaking slag converter (BOS), 2015 (33)

Bijlage F RIVM studie (2002) emissies LD-staalslakken in mg/kg met de kolomproef

Component	U1	U2	N	Gem	Min	25%	50%	75%	Max	%>U1	%>U2
Sb	0.10	0.46	32	0.011	0.006	0.007	0.014	0.014	0.014		
As	1.08	7.15	32	0.11	0.014	0.014	0.18	0.18	0.18		
Ba	16.7	63.6	59	2.97	0.50	1.50	3.10	4.12	7.29		
Cd	0.059	0.083	32	0.003	0.0007	0.0007	0.004	0.004	0.014		
Cr	4.13	13.8	32	0.033	0.007	0.025	0.035	0.035	0.11		
Co	1.02	2.79	32	0.032	0.021	0.021	0.035	0.035	0.11		
Cu	1.89	4.16	32	0.032	0.014	0.022	0.035	0.035	0.11		
Hg	0.022	0.078	32	0.001	0.0002	0.0007	0.001	0.001	0.002		
Pb	4.64	10.2	32	0.058	0.035	0.035	0.070	0.070	0.11		
Mo	0.62	1.10	45	0.030	0.007	0.015	0.021	0.028	0.11		
Ni	2.23	4.36	32	0.037	0.021	0.035	0.035	0.035	0.11		
Se	0.077	0.12	32	0.011	0.006	0.007	0.014	0.014	0.014		
Sn	0.85	2.70	32	0.096	0.021	0.021	0.14	0.14	0.18		
V	3.47	33.4	49	0.20	0.014	0.022	0.070	0.20	2.00		
zn	8.36	17.2	32	0.11	0.035	0.035	0.14	0.14	0.35		
Br	3.58	44.3	37	0.34	0.14	0.14	0.35	0.35	2.80		
Cl	711	8842	46	21.4	2.50	7.39	12.3	24.3	165		
CN-vrij	-	-									
CN-complex	-	-									
F	41.7	117	59	1.22	0.35	0.35	0.70	1.45	7.00		
SO₄	1254	22077	32	11.7	0.70	4.00	8.90	17.8	28.8		

Bron: RIVM 771402028, 2002 (8)

Bijlage G RIVM studie (2002) emissies LD-staalslakken in
mg/m² met de diffusieproef

Component	U1	U2	N	Gem	Min	25%	50%	75%	Max	%>U1	%>U2
Sb	3.71	11.7	2	0.88	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91		
As	41.4	131	2	6.51	0.42	3.47	6.51	9.56	12.6		
Ba	600	1897	4	2.47	1.89	2.15	2.24	2.56	3.50		
Cd	1.14	3.61	2	0.22	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22		
Cr	143	452	2	2.14	2.03	2.08	2.14	2.19	2.24		
Co	28.6	90.4	2	2.14	2.03	2.08	2.14	2.19	2.24		
Cu	51.4	163	1	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24		
Hg	0.43	1.36	2	0.035	0.007	0.021	0.035	0.049	0.063		
Pb	121	384	1	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48		
Mo	14.3	45.2	2	1.09	1.05	1.07	1.09	1.10	1.12		
Ni	50.0	158	2	2.14	2.03	2.08	2.14	2.19	2.24		
Se	1.43	4.52	2	0.88	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91		
Sn	28.6	90.4	2	5.29	1.47	3.38	5.29	7.19	9.10		
V	229	723	8	183	95.0	104	196	241	288	37.5	
zn	200	632	2	8.75	8.40	8.58	8.75	8.93	9.10		
Br	53.6	169	2	21.4	20.3	20.8	21.4	21.9	22.4		
Cl	17857	56469	2	79.0	73.0	76.0	79.0	82.0	85.0		
CN-vrij	-	-									
CN-complex	-	-									
F	1333	4216	4	37.8	27.2	27.2	32.6	43.2	58.8		
SO₄	26786	84704	4	254	168	192	255	317	339		

Bron: RIVM 771402028, 2002 (8)

Bijlage H Emissies van LD-staalslakken (bron: RIVM rapport 711701043, bijlage 12 over materiaalbladen)

Tabel H.1 Emissies niet-vormgegeven LD-staalslakken in mg/kg

	Aantal	n>LOD	Average	STDEV	Perc50	Perc70	Perc90	Perc95	Perc99	Min	Max	jaartal
antimoon	32	0	0.014	0.004	0.014	0.014	0.020	0.020	0.020	0.009	0.020	2001
antimoon	10	0	0.006	0.000	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	2004
arseen	32	0	0.13	0.09	0.18	0.18	0.25	0.25	0.25	0.02	0.25	2001
arseen	10	0	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2004
barium	59	59	2.97	1.57	3.10	3.96	4.82	5.52	6.50	0.50	7.29	2001
barium	21	21	3.09	1.96	2.40	3.90	6.10	6.70	7.66	0.89	7.90	2004
cadmium	32	0	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.009	0.018	0.001	0.020	2001
cadmium	10	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.005	0.001	0.005	2004
chromium	32	10	0.037	0.024	0.035	0.042	0.050	0.050	0.119	0.010	0.150	2001
chromium	10	8	0.033	0.023	0.028	0.030	0.071	0.075	0.078	0.007	0.079	2004
cobalt	32	0	0.040	0.021	0.035	0.035	0.050	0.050	0.119	0.030	0.150	2001
cobalt	10	10	0.024	0.009	0.021	0.021	0.024	0.036	0.046	0.021	0.049	2004
koper	32	5	0.038	0.024	0.035	0.035	0.050	0.060	0.126	0.020	0.150	2001
koper	10	0	0.020	0.018	0.014	0.014	0.020	0.045	0.065	0.014	0.070	2004
kwik	32	1	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003	0.000	0.003	2001
kwik	10	0	0.002	0.002	0.001	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.004	2004
lood	32	0	0.071	0.023	0.070	0.070	0.100	0.100	0.135	0.050	0.150	2001
lood	10	1	0.057	0.056	0.035	0.035	0.093	0.152	0.198	0.035	0.210	2004
molybdeen	45	16	0.032	0.029	0.021	0.030	0.072	0.095	0.132	0.010	0.150	2001
molybdeen	21	11	0.016	0.012	0.010	0.020	0.035	0.035	0.039	0.007	0.040	2004
nikkel	32	0	0.046	0.020	0.050	0.050	0.050	0.050	0.119	0.030	0.150	2001

	Aantal	n>LOD	Average	STDEV	Perc50	Perc70	Perc90	Perc95	Perc99	Min	Max	jaartal
nikkel	13	1	0.061	0.045	0.035	0.045	0.140	0.140	0.140	0.035	0.140	2004
seleen	32	0	0.014	0.004	0.014	0.014	0.020	0.020	0.020	0.009	0.020	2001
seleen	10	0	0.006	0.000	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	2004
tin	32	0	0.113	0.071	0.140	0.140	0.200	0.200	0.235	0.030	0.250	2001
tin	10	0	0.017	0.004	0.014	0.021	0.021	0.021	0.021	0.014	0.021	2004
vanadium	49	22	0.202	0.349	0.070	0.148	0.533	0.648	1.616	0.020	2.000	2001
vanadium	21	10	0.059	0.069	0.030	0.045	0.210	0.210	0.210	0.014	0.210	2004
zink	32	0	0.129	0.089	0.140	0.140	0.200	0.200	0.407	0.050	0.500	2001
zink	10	2	0.090	0.143	0.035	0.040	0.148	0.319	0.456	0.035	0.490	2004
bromide	37	0	0.44	0.63	0.35	0.35	0.50	1.00	2.92	0.20	4.00	2001
bromide	10	1	0.20	0.14	0.14	0.14	0.37	0.47	0.54	0.14	0.56	2004
chloride	46	46	21	28	12	19	40	54	134	3	165	2001
chloride	10	1	33	15	31	37	44	57	67	18	70	2004
fluoride	59	29	1.3	1.3	0.7	1.2	2.9	3.9	5.7	0.4	7.0	2001
fluoride	13	3	0.5	0.2	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8	0.4	0.8	2004
sulfaat	32	31	12	9	9	16	25	27	29	1	29	2001
sulfaat	10	9	46	61	22	47	83	147	197	6	210	2004
CN-vrij	0											2001
CN-vrij	0											2004
CN-complex	0											2001
CN-complex	0											2004

Tabel H.2 Emissies van vormgegeven LD-staalslakken mg/m²

	Aantal	n>lod	Average	STDEV	Perc50	Perc70	Perc90	Perc95	Perc99	Min	Max	jaartal
antimoon	0											2004
arseen	0											2004
barium	4	0	3.225	0.9394	3.4	3.83	4.01	4.055	4.091	2	4.1	2004
cadmium	0											2004
chromium	0											2004
cobalt	0											2004
koper	0											2004
kwik	0											2004
lood	0											2004
molybdeen	0											2004
nikkel	0											2004
seleen	0											2004
tin	0											2004
vanadium	11	11	294.545455	68.317	290	320	330	380	420	160	430	2004
zink	0											2004
bromide	0											2004
chloride	0											2004
fluoride	4	0	50.75	13.251	51	60.4	62.8	63.4	63.88	37	64	2004
sulfaat	0											2004
CN-vrij	0											2004
CN-complex	0											2004

Toelichting:

In de tabellen van bijlage 12 van het RIVM-rapport (2007) over de LD-staalslakken is aangegeven hoe groot de datasets zijn en hoeveel waarden er boven de detectielimiet (n>LOD) zijn. Van de testdata (in mg/kg) zijn de betrokken aantallen in kolommen weergegeven die het gemiddelde, de 50-, 90-, 95- en 99-percentielen geven, alsmede de maximum en minimum testresultaten. Voorts is per rij data van de betrokken dataset '2001' dan wel '2003-2004' aangegeven. Onder elke datatabel is een selectie uit de overzichtstabellen weergegeven. Als meer dan 95% van de data onder de detectielimiet ligt én de emissie-eis eveneens lager is dan 0.7*detectielimiet dan wordt er geen mate van overschrijding gepresenteerd. De detectielimiet is dan immers niet laag genoeg om de mate van overschrijding te kunnen beoordelen. Als alle data lager zijn dan de detectielimiet én als ook de emissie-eis hoger is dan 0.7* detectielimiet, dan is een getalsmatige weergave van de overschrijdingen (namelijk 0%) wel gerechtvaardigd en

worden deze ook als zodanig gepresenteerd. Overschrijding van de emissie-eisen, zoals getoond in de consequentietabellen, kan op twee manieren worden uitgelegd.

1. Overschrijding geeft aan dat de toepassing van een bouwstof kan stagneren.

2. Overschrijding geeft aan dat de milieukwaliteitscriteria in bodem en/of water kunnen worden overschreden.

De kans op overschrijding van milieukwaliteitscriteria wordt groter als de toepassingshoogte in de praktijk hoger is dan die waarop de emissie-eis is gebaseerd. In het RIVM-rapport is daartoe voor vier verschillende toepassingshoogtes gerekend. Overschrijding van emissie-eisen betekent niet dat toepassing van een dergelijke bouwstof overal tot problemen zal leiden. De eisen houden rekening met een range aan omstandigheden en zijn in principe beschermend voor kwetsbare en minder kwetsbare gebieden.

Bron: RIVM-rapport 711701043, 2007 (10)

Bijlage I Gevaarsindeling van LD-staalslakken op basis van gehalten schadelijke stoffen

Op grond van de informatie in dit rapport over de mineralogische en chemische samenstelling van LD-staalslakken is het materiaal op grond van de te verwachten gevaarlijke stoffen en hun gehalten in te delen. De gevaarsindeling is gebaseerd op de beoordelingssystematiek toegelicht in de Handreiking EURAL (2019) uitgegeven door Rijkswaterstaat. Deze handreiking baseert zich grotendeels op de EU technische richtsnoer (2018) van de Europese commissie over de gevaarsindeling van afvalstoffen. Als toetsingskader gelden de grenswaarden van de vijftien gevaarlijke eigenschappen genoemd in bijlage III van de Kra. Bij de beoordeling van de LD-staalslakken is de status afvalstof het vertrekpunt.

In tabellen is in overzichten de informatie gegeven van de gehalten van voorkomende schadelijke stoffen in de LD-staalslakken. Hierin zijn ook de grenswaarden van een aantal gevaarlijke eigenschappen in bijlage III van de kaderrichtlijn afvalstoffen (Kra) gegeven. De Kra definieert in artikel 3 lid2 dat een afvalstof gevaarlijk is als de afvalstof één of meerdere gevaarlijke eigenschappen bezit in bijlage III van de Kra. Met nadruk merken we op dat bij testen op gevaarlijke eigenschappen volgens testmethoden van de EU/440/2008 de uitslagen voorrang hebben op de uitkomsten van de metingen van de gevaarlijke stoffen in de LD-staalslakken.

De LD-staalslakken bezitten gevaarlijke eigenschappen zoals:

- *Irriterend (huid of oog)*_door de somgehalte van calcium(II)oxide, calcium(II)hydroxide, mangaan(II)oxide, mangaan(II)hydroxide, chroom(VI)oxide en chroom(III)oxide. De ondergrens om mee te tellen is 1,0 massaprocent,
- *Specifieke doelorgaan toxiciteit*_door de afzonderlijke gehalten van aluminium(II)oxide en chroom(VI)oxide,
- *Reprotoxiciteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(III)oxide,
- *Mutageniteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(VI)oxide en
- *Carcinogeniteit* door de afzonderlijke concentratie van chroom(VI)oxide.

Bij de gevaarsindeling mag men uitgaan van worst case benadering in het geval er onvoldoende kennis over de aanwezige stoffen is. Zo is van chroom niet voldoende bekend in welke vorm ofwel oxidatiestaat de gemeten chroomgehalten in de LD-staalslakken voorkomen. Het kan gaan om metallisch chroom (oxidatiestaat is 0), dichroomtrioxide (oxidatiestaat is 3+) of chroomtrioxide (oxidatiestaat is 6+). Chroomtrioxide is op basis van de CLP gevaarsindeling de meest gevaarlijke stof, zodat in worst -casebenadering hiervan mag worden uitgegaan.

Tabel I.1 gevaarsindeling volgens CLP beoordelingssystematiek

	CASnr	Gehalten %(m/m)	Gevaaren aanduiding	Gevaarsklasse / categorie
<i>Calcium(II)oxide</i> CaO	1305-78-	0,2 - 15	Niet geklassif. (ECHA) H318 (2000) H315 (1500) H335 (1500) GHS	Oogschade, cat 1 Huid irrit, cat 2 Spec. Doelorgtox, cat 3
<i>Calcium(II)hydroxide</i> (CaOH ₂)	1305-62-	0,2 - 10	Niet geklassif. ECHA H318 (5300) H315 (3300) H335 (2650) GHS	Oogschade, cat 1 Huid irrit, cat 2 Spec. Doelorgtox, cat 3
<i>Magnesium(II)oxide</i> MgO <i>Stabiel in lucht en water</i>	1309-48-	1 - 9	Niet geclas. (1465) H410 (71) H315 (60) H317 (60) H319 (60) CLP	Aquat chronic, cat 1 Huid irrit, cat 2 Huid sens, cat 1B Oog irrit, car 2
<i>Magnesium(II)hydroxi de</i> MgOH ₂	1309-42-	1 - 9	Niet geclas. (560) H315 (69) H319 (69) H335 (69) H302 (21) H332 (21) H318 (21) H317 (14) CLP	Huid irrit, cat 2 Oog irrit, cat 2 Spec.doelorgtox, cat 3 Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4 Oogschade, cat 1 Huid sensitief, cat 1
<i>Silicium(IV)moxide</i> SiO ₂	7631-86-		Niet geklas. (7198) H335 (575) H319 (290) H315 (210) H332 (70) H372 (70) CLP	Spec.doelorgtox, cat 3 Oog irrit., cat 2 Huid irrit., cat 2 Acut tox, cat 4 Spec.doelorgtox, cat 1
<i>IJzer(II)oxide</i> FeO	1345-25-	8 - 24	Niet geklas. (381) CLP	
<i>IJzer(III)oxide</i> Fe ₂ O ₃	1309-37-	3 - 22	Niet geklas. (3231) CLP	
<i>Zink(II)oxide</i> ZnO	1314-13-	0,005 -0,015	H400 H410	Aquat acute, cat 1 Aquat Chron, cat 1

	CASnr	Gehalten %(m/m)	Gevaren aanduiding	Gevaarsklasse / categorie
<i>Niet wateroplosbaar</i> 1305			H360 H302 H332 H373 CLP	Reprotox, cat 1A Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4 Spec. doelorg. Tox, cat 2
<i>Aluminium(III)oxide</i> <i>Al₂O₃</i> <i>Niet wateroplosbaar</i> <i>Amfoteer</i>	1344-28-	1 - 11	Niet geklassif. (2500) H335 (120) H370 (90) H372 (60) H332 (60) H302 (60) CLP	Spec.doelorg tox, cat 3 Spec.doelorg tox, cat 3 Spec.doelorg tox, cat 1 Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4
<i>Chroom(VI)oxide</i> <i>CrO₃</i> <i>Wateroplosbaar</i> <i>Sterke oxidator</i>	1333-82-	0,2 - 1	H271 H301 H311 H314 H317 H330 H334 H340 H350 H372 H400 H410 H361f H310 (325) H318 (135) CLP	Ox.Sol., cat 1 Acut tox, cat 3 Acut tox, cat 3 Huid corr, cat 1A Huid sens, cat 1 Acut tox, cat 2 Resp, sens, cat 1 Muta, cat1B Carc, cat 1A Spec doelorg tox, cat 1 Aquatic acut, cat 1 Aquatic chron, cat 1 Repr, cat 2 Acut tox, cat 2 Oogschade, cat 1
<i>Chroom(III)oxide</i> <i>Cr₂O₃</i>	1308-38-	0,2 - 1	Niet geclas (1000) H317 (550) H319 (450) H302 (450) H360 (275) H334 (75) H413 (30) CLP	Huid sens, cat 1 Oog irrit, cat 2 Acut tox, cat 4 Reprotox, cat 1B Resp sens., cat 1 Aquat Chron, cat 4
<i>Fosfor(V)oxide</i> <i>P₂O₅</i>	1314-56-	2,0 - 15	H314 (1550) H318 (775) H330 (465) H412 ((60) CLP	Huid corr, cat 1A Oogschade, cat 1 Acut tox, cat 2 Aquat chron, cat 3
<i>Mangaan(II)oxide</i> <i>MnO</i>	1344-43-	2 - 6	Niet geclas (184) H302 (270) H332 (270) H312 (180) H319 (170)	Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4 Oog irrit, cat 2

	CASnr	Gehalten %(m/m)	Gevaren aanduiding	Gevaarsklasse / categorie
			H315 (170) H335 (170) CLP	Huid irrit, cat 2 Spec doelorg tox, cat 3
<i>Vanadium(V)pentoxide</i> <i>V₂O₅</i> <i>Oplosbaar in water en</i> <i>basen</i> <i>Sterke oxidator</i>	1314-62-	0,03 – 0,2	H302 H332 H335 H341 H372 H411 H361d H318 (240) H300 (20) CLP	Acut tox, cat 4 Acut tox, cat 4 Spec doelorg tox, cat 3 Mutageen, cat 2 Spec Doelorg tox, cat 1 Aqua tox chron, cat 2 Reprotox, cat 2 Oogschade, cat 1 Acut tox, cat 2
<i>Tin(IV)oxide</i> <i>SnO₂</i> <i>stabiel</i>	18282-	0,4 – 1,0	Niet geklas. (260) H335 (335) H413 (100) H315 (20) CLP	Spec doelorg tox, cat 3 Aquat chronic tox, cat 4 Huid irrit, cat 2
<i>Tin(II)oxide</i> <i>SnO</i> <i>oxideert met lucht</i>	21651-	0,4 – 0,9	Niet geklas, (26) H302 (8) H317 (8) H319 (8) H372 (8) H373 (6) CLP	Acut tox, cat 4 Huid sens, cat 1 Oog irrit, cat 2 Spec. Doelorg. Tox, cat 1 Spec. Doelorg. Tox, cat 2
<i>Titanium(IV)oxide</i> <i>TiO₂</i>	13463-	0,4 – 0,9	Niet geklas. (8363) H351 (5575) CLP	Carc. (inhal), cat 2
<i>Strontium(IV)oxide</i> <i>SrO₂</i> <i>Niet wateroplosbaar</i> <i>Sterke oxidator</i>	1314-18-	0,13	H272 (50) H315 (47) H318 (47) H335 (47)	Ox. Sol., cat 2 Huid irrit, cat 2 Oogschade, cat 1 Spec. Doelorg.tox, cat 3

Opmerkingen:

De stoffen met één of meerdere vetgedrukte gevarenaanduidingen zijn ingedeeld op basis van de geharmoniseerde classificatie en zijn te vinden in tabel 3 van bijlage VI van de CLP verordening.

Vanadium(V)oxide (V₂O₅) is de meest voorkomende oxide in het milieu na vanadiumemissies van antropogene bronnen bij verbrandingsprocessen waarbij vanadium(VI)oxide reduceert tot vanadium(V)oxide.

De staalindustrie veroorzaakt vooral milieuverontreiniging en effecten van chroom(III)verbindingen zoals Chroom(III)oxide (Cr₂O₃) (website Lenntech). Chroom(III)oxide komt in 2 tot 6 massaprocent in slakken van de staalproductie voor.

Tabel I.2 Interpretatie gevaarsindeling LD-staalslakken als afvalstof:

	Gehalte	Grenswaarde Bijlage III Kra	Gevaarlijke eigenschap
<i>Chroom(VI)oxide</i>	0,2 - 1,0	H340: $\geq 0,1\%$	Mutageen
		H350: $\geq 0,1\%$	Carcinogeen
		H330:som $\geq 0,5\%$	Acute toxiciteit
		H372: $\geq 1,0\%$	Specifieke doelorgaan toxiciteit
<i>Chroom(III)oxide</i>	0,2 - 1,0	H360: $\geq 0,3\%$	Reprotoxiciteit
		H319:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Aluminium(III)oxide</i>	1,0 - 11	H370: $\geq 1,0\%$	Specifieke doelorgaan toxiciteit
		H372: $\geq 1,0\%$	Specifieke doelorgaan toxiciteit
<i>Magnesium(II)oxide</i>	1,0 - 9,0	H315:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
		H319:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Magnesium(II)hydroxide</i>	1,0 - 9,0	H315:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
		H319:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Calcium(II)oxide</i>	0,2 - 15	H318:som $\geq 10\%$	Irriterend (huid of oog)
		H315:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Calcium(II)hydroxide</i>	0,2 - 10	H318:som $\geq 10\%$	Irriterend (huid of oog)
		H315:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Mangaan(II)oxide</i>	2,0 - 6,0	H315:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
		H319:som $\geq 20\%$	Irriterend (huid of oog)
<i>Fosfor(V)oxide</i>	2,0 - 15	H314: $\geq 1,0\%$	Irriterend (huid)
		H314: $\geq 5,0\%$	Corrosief (huid)
		H318:som $\geq 10\%$	Irriterend (huid of oog)
		H330:som $\geq 0,5\%$	Acute toxiciteit

Bijlage J Materiaaleigenschappen van LD-staalslakken (bron: website bodemrichtlijn, december 2021)

Eigenschap	Eenheid	Waarde
korrelgrootteverdeling	mm	diverse handelsmaten, waarvan 0/6, 0/22 en 40/160 de meest courante zijn
% < 63 µm	% (m/m)	< 5
chemische, fysische en mineralogische samenstelling		2 tot 6 % vrije kalk in de vorm van kalkpitten **1
<ul style="list-style-type: none"> gloeiverlies ijzer bestanddelen 	% (m/m) % (m/m)	vlg. chem.bep.: 18 (FeO) vlg. RAW-pr.117: nihil
dichtheid		
<ul style="list-style-type: none"> korreldichtheid maximum proctordichtheid optimum vochtgehalte verdichtingsgraad 	kg/m ³ kg/m ³ % (m/m) %	3.100 – 3.400 2.100 – 2.200 12 – 16 > 95
vochtgehalte	% (m/m)	gering
korrelvorm	-	hoekig, scherp gemiddelde d/l > 0,5 d/l < 1/3: max.10 % (m/m)
textuur van de korrels	-	ruw
mechanisch gedrag		
weerstand tegen breuk		
<ul style="list-style-type: none"> verbrijzelingsfactor dynamische verbrijzelingswaarde 	- %	0,80 – 0,85 circa 12
stijfheid		
<ul style="list-style-type: none"> (dynamische) elasticiteitsmodulus samendrukbaarheid 	N/mm ²	<ul style="list-style-type: none"> LD-slak: 100 LD-mengsel: 250 nihil
wrijvingseigenschappen		
<ul style="list-style-type: none"> interne wrijvingshoek cohesie 	graden kN/m ²	45 – 50 nihil
krimp	%	nihil
volumieke zwellling	%	1 – 4
hydraulisch gedrag		
waterdoorlatendheid		groot
capillaire werking	m	> 0,30
milieuhygiënisch gedrag		
samenstelling en uitloogbaarheid **2	mg/kg d.s.	Kritische componenten voor LD-mengsel zijn V en Br, voor LD-slak als zodanig Ba en F. Voor ELO-slakken zijn de kritische componenten met name Mo, Ba, F en Cr.

Eigenschap	Eenheid	Waarde
duurzaamheid		
vochtgevoeligheid	-	Over het algemeen weinig vochtgevoelig, doch vraagt aandacht. Hangt af van het gehalte aan vrije kalk en het gehalte aan ijzer.
weerstand tegen slijtage	-	goed
vorstgevoeligheid	-	niet vorstgevoelig
weerstand tegen erosie	-	goed
chemische en fysische stabiliteit		Bij een hoog gehalte aan vrije kalk en/of ijzer is het materiaal niet stabiel.
overig gedrag		
gevoeligheid voor ontmenging	-	redelijk gevoelig
verdichtbaarheid		
• losgestort	kg/m ³	1.700 – 2.000
• verdicht in het werk	kg/m ³	2.100 – 2.200
verdichtingsgewilligheid	-	normaal
hydraulische binding	-	Bevordert de binding in slakkenmengsels door basisch karakter.

**1 Door gelijktijdig optreden van massaverlies en –toename (oxidatie) geen betrouwbare resultaten.

**2 Bij koelen met zout water wordt niet voldaan aan categorie 1.

Bijlage K Overzicht van zware metalen volgens definitie van Jaishankar M et al, 2014

Zware metalen	Atoomnummer
Antimoon (Sb)	51
Arseen (As)	33
Bismuth (Bi)	83
Cadmium (Cd)	48
Cerium (Ce)	58
Chroom (Cr)	24
Gallium (G)	31
Goud (Au)	79
IJzer (Fe)	26
Kobalt (Co)	27
Koper (Cu)	29
Kwik (Hg)	80
Lood (Pb)	82
Mangaan (Mn)	25
Nikkel (Ni)	28
Platina (Pt)	78
Tellurium (Te)	52
Thallium (Tl)	81
Tin (Sn)	50
Uranium (U)	92
Vanadium (V)	23
Zilver (Ag)	47
Zink (Zn)	30

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

februari 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag