

pH en redox effecten van bouwmaterialen

H.A. van der Sloot

A. van Zomeren

D.S. de Nie

J.C.L. Meeussen

Verantwoording

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiene onder zaaknummer 5050051026 en intern ECN nummer 7.0099 met bijdragen van J. Steketee (Tauw), S.J. Maijer - Milieudienst Westfriesland, J. Terpstra - Gemeente Hoogezand Sappemeer, F. Bams - Wetterskip Fryslân, S. Daverveld - Waterschap Aa en Maas, P. Zeldenthuis - Gemeente Boarnsterhim; Y. Muller - Provincie Fryslân, T. Rolsma - Gemeente Wieringermeer, G.J. van der Meijden - Inspecteur Handhaving Gemeente Oss. M. Broekman – RIVM.

Begeleidingscommissie:

R.T. Eikelboom (VROM)

P. Vermij (RWS)

R. Cleven (RIVM)

S. van der Laan (Corus)

E. Onstenk (Pelt en Hooykaas)

J. Sichien (SITMAR)

A. Blomsma (UVW/ Rijnland)

D. Bax (DGA)

P. Broere (BRBS)

P. Lanser (ENCI)

M. Nieuwenhuys (Projectgroep bouwstoffenbesluit VNO/NCW)

J. Lijzen (RIVM)

A. Voermans (Heros)

Abstract

The application of relatively fine grained industrial slags as fill material in industrial terrains and parking lots has led to unacceptably elevated pH values and imposed reducing conditions in ground- and surface water. Based on the Dutch Building Materials Decree the materials applied were classified as category 1 materials (free use). There are no limits set to pH and redox in this regulation. In itself a lower or higher pH and a low redox potential are not necessarily critical. Only when the buffer capacity of the surroundings is exceeded, undesirable situations may develop. In this work, the release of alkaline and reducing substances has been studied to assess if regulatory controls are needed and how such controls could be implemented practically. Both pH and redox potential are unsuitable properties for this purpose as it is the buffer capacity of the releasing material and the buffer capacity of the receiving soil and water bodies that determine whether unacceptable conditions develop. As pH and redox are also affected by gas reactions (O_2 and CO_2), the evaluation becomes relatively complex. Using the chemical speciation-transport model ORCHESTRA, a scenario description has been developed to assess the release of alkaline and reducing species from slag by infiltration under unsaturated conditions. Proper acid neutralization and redox buffering data for the materials were determined. Based on the sophisticated model results, a simplified model description was applied to link observations to impact. Decision schemes for applications above groundwater and in surface water have been developed based on the buffer capacity and particle size distribution of the material to be used, the infiltration rate, the degree of exposure to O_2 and CO_2 from the atmosphere or from soil air and the dimensions of the application. This has led to a preliminary guidance on implementing rules for acceptance of materials in specific applications. The modeled release predictions still need to be verified against adequate measurements in the field to ensure suitability of the derived limit values.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Samenvatting	7
1. Inleiding	9
2. Mechanismen die pH en redox omstandigheden bepalen	10
2.1 pH neutralisatie en redox mechanismen in wegenbouw	11
2.2 pH neutralisatie en redox mechanismen in waterbouw	12
3. Beschrijving traditionele toepassingen	14
3.1 Waterbouw toepassingen	14
3.2 Toepassingen in de wegenbouw	14
4. Beschrijving casussen	17
4.1 Hoogezand-Sappemeer	17
4.2 Hoorn	18
4.3 Akkrum	21
4.4 Gemeente Wieringermeer	23
4.5 Gemeente Oss	23
4.6 Gemeente Haarlemmermeer	24
5. Karakterisering	27
5.1 Vereenvoudigde berekeningen praktijkscenario's	30
5.1.1 Betonwand in oppervlaktewater	31
5.1.2 Betonnen siervijver	32
5.1.3 Siervijver aangelegd met staalslak	33
5.1.4 Effect van reducerende eigenschappen van staalslak	34
5.1.5 Problemen met verstoppingen door calciëter neerslag bij staalslak toepassingen	35
6. Conceptueel model van de processen en interacties	36
7. Modelleren van pH - en redoxcondities	37
7.1 Transport modelleren	37
7.2 Indicatieve berekeningen toepassing-effect relaties voor toepassing op bodem	40
7.3 Indicatieve berekeningen toepassing-effect relaties voor toepassing op waterbodem	42
8. Gezondheids- en milieurisico's bij toepassing van materialen met een pH- en/of redoxeffect	45
8.1 Gezondheidsrisico's	45
8.2 Milieurisico's	47
9. Ontwikkeling van opties voor beoordeling en eventuele criteria	48
9.1 pH	48
9.2 Redox	49
10. Conclusies	56
11. Aanbevelingen	58
12. Mogelijke bewerkingen en alternatieve toepassingen	59
Referenties	60
Bijlage A Uitloogkarakteristieken van materialen	62

Bijlage B	Modelberekeningen	66
Bijlage C	Informatie over toepassing van beton in vijverconstructies	78
Bijlage D	Effecten van korrelgradatie op de pH en redox potentiaal van slakken	79
Bijlage E	Veldgegevens	85
Bijlage F	Conceptrapport pH en redoxwaarden in praktijktoepassingen van bouwstoffen (Tauw, 2005)	87

Lijst van tabellen

Tabel 4.1	<i>Meetgegevens peilbuismonsters terrein “De Marowijne”, d.d. 22-11-'05.</i>	21
Tabel 4.2	<i>pH-waarden bij standaardkolomproef uitgangsmateriaal en bij semipraktijkproef</i>	25
Tabel 5.1	<i>Reducerende eigenschappen van verschillende alkalische materialen</i>	28
Tabel 5.2	<i>Zuur neutraliserend vermogen van verschillende alkalische materialen</i>	28
Tabel 5.3	<i>Eigen pH van materialen</i>	29
Tabel 5.4	<i>Zuurneutraliserend gedrag van bodems bij een pH verandering van 7 tot 8 en van 7 tot 9</i>	29
Tabel 5.5.	<i>Gewichtsverdeling staalslak na verschillende zeefstappen</i>	30
Tabel 7.1	<i>Indicatieve berekeningen van pH waarden bij diverse toepassingsscenario's van verschillende materialen. De pH waarden (direct onder de bouwstof) zijn berekend op het tijdstip 1 jaar na aanleg van het werk. De vet gedrukte ANC waarden zijn aangenomen op basis van een schatting. De kleuren geven een indicatie van mogelijke toepassing scenario's: Groen betekent vrije toepassing, lichtbruin betekent toepassing met restricties, oranje betekent toepassing na beoordeling van situatie en omgevingscondities, rood betekent geen toepassing of onder strikte aanvullende maatregelen</i>	41
Tabel 7.2	<i>Gegevens toepassing-effect scenario's zoals uitgewerkt in Tabel 7.3</i>	43
Tabel 7.3	<i>Berekende buffercapaciteit (meq/kg) van verschillende materialen en hun toepassingsscenario's in de waterbouw. Eerst wordt de totale buffercapaciteit van het omringend milieu berekend. Deze capaciteit wordt vergeleken met de buffercapaciteit van verschillende bouwstoffen met 30, 300 en 3000 meq/kg</i>	44

Lijst van figuren

Figuur 2.1	<i>Invloed van O₂ en CO₂ op de speciatie van S en de neutralisatie van hoge pH door carbonatatie met CO₂ bij wegebouw toepassing van een bouwmetaal met hoge pH en reducerende eigenschappen. Het netto effect van een toepassing op het omringende milieu wordt bepaald door de balans tussen het uittredende pH/redox front en de neutraliserende werking van O₂ en CO₂ (dit proces kan voor terugtrekking van het front zorgen)</i>	12
Figuur 2.2	<i>Invloed van O₂ en CO₂ op de neutralisatie van hoge pH door carbonatatie met CO₂ en oxidatie van S-species bij toepassing van een bouwmetaal met hoge pH en reducerende eigenschappen in oppervlaktewater</i>	13
Figuur 4.1	<i>Toepassing LD staalslak en AVI bodemas in Hoogezand-Sappemeer. Rechts naast de insteekhaven is de containerterminal zichtbaar. Hier is de veenlaag afgegraven en staalslak toegepast tot 50 cm boven de GHG. Onder de insteekhaven is de locatie opgehoogd met vormzand/LD-staalslak (0-20)/AVI-bodemas met tijdelijke afdichting</i>	18
Figuur 4.2	<i>Neerslag van calciumcarbonaat (binnenste witte rand) in beschadigde pomp</i>	19
Figuur 4.3	<i>Weergave van waarnemingen (ronde symbolen) in Hoorn in Eh -pH grafiek. De doorgetrokken (rode) lijn geeft de pH/Eh relatie van geoxideerd gedemineraliseerd water weer</i>	20
Figuur 4.4	<i>Locatie toepassing LD staalslakken te Akkrum</i>	22
Figuur 4.5	<i>Schaal van slaktoepassing in siervijver Getsewoud</i>	24
Figuur 5.1	<i>Zuurneutraliserend vermogen als functie van de korrelgradatie (staalslak)</i>	30

Figuur 6.1	<i>Schematische weergave van toepassing van secundaire bouwmaterialen in een ophoging. De genoemde chemische omzettingen zijn relevant voor materialen met een hoge pH en/of reducerende eigenschappen.....</i>	36
Figuur 7.1	<i>Resultaat modelberekening pH en redoxpotentiaal als functie van tijd en diepte. In de berekening is 1 m staalslak bovenop 1 m bodem geplaatst en is de verplaatsing van het pH en Eh front over een periode van 60 dagen berekend (staalslak korrelverdeling: 40/10/1 mm = 62/29/9%, infiltratie is 300 mm/yr)</i>	39
Figuur 9.1	<i>Beoordeling toepassing alkalische, zure en reducerende materialen toepassingen op en in de landbodem.....</i>	53
Figuur 9.2	<i>Beoordeling toepassing alkalische, zure en reducerende materialen in de waterbouw</i>	55
Figuur D.1	<i>Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak onder water met een afdeklaag van zand.....</i>	79
Figuur D.2	<i>Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak in afwisselend nat en droog situatie</i>	80
Figuur D.3	<i>Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak permanent nat ..</i>	81
Figuur D.4	<i>Effect van diverse scenario's voor relatief fijnkorrelig materiaal (0-4 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak</i>	82
Figuur D.5	<i>Effect van diverse scenario's voor een midden fractie materiaal (4-16 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak</i>	83
Figuur D.6	<i>Effect van diverse scenario's voor een grove fractie materiaal (16-32 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak</i>	84
Figuur E.1	<i>Volledig overzicht meetresultaten van de monsterneming in peilbuizen op locatie "de Marowijne" te Hoorn</i>	86

Samenvatting

De toepassing van relatief fijnkorrelige industriële slakken als aanvulmateriaal in industrieparken en parkeerplaatsen heeft tot onaanvaardbaar verhoogde pH waarden en reducerende (zuurstofarme) condities in grond- en oppervlaktewater geleid. Gebaseerd op het Bouwstoffenbesluit vallen deze materialen onder categorie 1 (vrije toepassing). Er zijn geen grenswaarden voor pH en redox in deze regelgeving. Op zichzelf hoeft een lagere of hogere pH en een lage redox waarde niet kritisch te zijn. Alleen als de buffer capaciteit van de omgeving wordt overschreden kunnen zich ongewenste emissies voordoen. In dit onderzoek is de afgifte van alkalische bestanddelen en reducerende stoffen onderzocht om vast te stellen of grenswaarden in regelgeving opgenomen moeten worden en op welke wijze daar invulling aan gegeven zou kunnen worden. Zowel de pH als de redox potentiaal zijn ongeschikte grootheden voor dit doel, aangezien de buffercapaciteit van het toegepaste materiaal, de buffercapaciteit van de ontvangende bodem en van het oppervlakte/grondwater water bepalend zijn voor de ontwikkeling van ongewenste effecten. Omdat pH en redox ook beïnvloed worden door gas reacties (O_2 en CO_2), wordt beoordeling complex. Gebruikmakend van het chemische speciatie-transport model ORCHESTRA is een scenario ontwikkeld om de afgifte van alkalische en reducerende bestanddelen uit slakken door infiltratie onder onverzadigde condities te beschrijven. Het zuurneutraliserend vermogen en redox capaciteit van de verschillende materialen is bepaald. Gebaseerd op de verkregen model resultaten is een vereenvoudigd model opgezet om de verschillende bijdragen aan neutralisatie/oxidatie in een aantal gangbare toepassingssituaties te kwantificeren. Beslisschema's zijn uitgewerkt voor effecten op grondwater of oppervlaktewater rekening houdend met de buffercapaciteit en de deeltjesgrootte verdeling van een materiaal, the infiltratiesnelheid, de mate van blootstelling aan O_2 en CO_2 uit de atmosfeer of uit de bodemlucht en de dimensies van de toepassing. Dit heeft geleid tot de eerste aanwijzingen voor de ontwikkeling van acceptatie criteria voor de toepassing van materialen in specifieke toepassingen. De met het model voorspelde afgifte dient nog geverifieerd te worden aan geschikte praktijkmetingen om de betrouwbaarheid van de voorspellingen te toetsen.

1. Inleiding

De recente problemen bij toepassing van staalslakken en hoogovenslakzand in de bouw zijn voor VROM aanleiding nader onderzoek te laten verrichten naar de risico's van het gebruik van deze materialen en andere (cementhoudende) bouwmaterialen waar verhoogde pH en/of lage redox potentiaal (door bijvoorbeeld sulfide vorming of ijzerreductie) speelt en eventueel een probleem zou kunnen vormen. Cementhoudende materialen hebben, voor zover bekend, tot op heden in de praktijk geen problemen opgeleverd. De problemen met (vooral in de relatief fijnkorrelige gradatie, 0-6 of 0-20mm) toegepaste staalslakken en hoogovenslakzand worden veroorzaakt door de hoge pH en de reducerende eigenschappen die aan het omringende milieu opgelegd kunnen worden.

In situaties waar problemen optreden betreft het nieuwe toepassingswijzen van staalslak en hoogovenslak(zand) waarmee bij de inwerkingtreding van het huidige Bsb nog geen rekening kon worden gehouden. Daarom bieden de regels van het Bsb onvoldoende bescherming tegen de thans waargenomen effecten. Het gaat hierbij vooral om toepassing in aanvullingen of ophogingen (veelal 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 uitspoeling optreden naar grondwater en oppervlaktewater met gevolgen voor de waterkwaliteit.

De parameters pH en redoxpotentiaal (Eh) zijn niet als parameter opgenomen in het huidige Bouwstoffenbesluit (Bsb); hierdoor kan een materiaal voldoen aan Categorie 1 maar desondanks toch ongewenste milieueffecten veroorzaken. Momenteel vindt een overgang plaats waarbij het Bsb wordt vervangen door het nieuwe besluit bodemkwaliteit. Naar verwachting zal het besluit bodemkwaliteit vanaf 2008 in werking treden. Ook in deze nieuwe regelgeving worden nog geen eisen gesteld aan de pH, bufferend vermogen en/of reducerende eigenschappen van bouwmaterialen.

De milieueffecten, die zich kunnen voordoen zijn o.a. zuurstofarme condities en een te hoge pH in het oppervlakte water. Deze effecten kunnen tot vissterfte leiden. Andere vormen van blootstelling, zoals die ten gevolge van het inademen van reactief fijn stof, kunnen potentieel gezondheidsproblemen veroorzaken.

In dit project worden de risico's van het gebruik van staalslak, hoogovenslak(zand), cementgebonden materialen en eventuele verwante bouwmaterialen met overeenkomstige eigenschappen (hoge pH en/of lage redox) onderzocht. Er wordt een aantal recente praktijkvoorbeelden beschreven waarbij problemen zijn geconstateerd. De praktijkvoorbeelden zijn alle afkomstig van situaties waarin staalslakken of hoogovenslakzand toegepast is en waarbij problemen zijn opgetreden. De keuze om juist deze materialen in hun toepassing te bestuderen is pragmatisch, van deze casussen zijn (uitgebreide) gegevens van monitoring en deze zijn beschikbaar gesteld voor dit project. Dit betekent echter niet dat de waargenomen effecten bij andere materialen en toepassingen niet op kunnen treden.

Daarnaast is een conceptueel model opgesteld waarmee de effecten van materialen met hoge pH en reducerende condities op de onderliggende bodem, c.q. het grondwater, is berekend. Met de resultaten van de modelberekeningen wordt inzicht verkregen in de belangrijkste processen die de problemen kunnen veroorzaken. Vervolgens worden op basis van de modelresultaten opties ontwikkeld om deze materialen te beoordelen zodat vooraf duidelijk kan worden wanneer deze inherent veilig toegepast kunnen worden.

2. Mechanismen die pH en redox omstandigheden bepalen

Bouwmaterialen als staalslakken, hoogovenslakken, fosforslakken, overige industriële slakken, AVI-bodemas, sediment, cementgebonden materialen en bijvoorbeeld bepaalde soorten bouw en sloopafval kunnen een hoge pH hebben (>10). Daarnaast kunnen materialen van industriële smeltprocessen (zoals LD-staalslakken) reducerende eigenschappen hebben (van der Sloot et al. 1994). Een lage redox potentiaal kan ook optreden in dichte kleilagen boven grondwater en in sedimenten onder de waterspiegel, als mede in ongerijpte baggerspecie. Bij toepassing van dergelijke materialen zal afhankelijk van de mate van blootstelling aan de atmosfeer, neutralisatie van alkalische en oxidatie van reducerende materialen optreden.

Uit metingen in semi-praktijkexperimenten met metaalslakken (staalslak, Pb-Zn slak, fosforslak) is duidelijk geworden dat daarbij verschillende mechanismen zijn te onderscheiden (van der Sloot et al. 1997). Het betreft hier processen die betrekking hebben op de pH, processen die betrekking hebben op de redox omstandigheden en processen die zowel met pH als de redox omstandigheden samenhangen.

pH beïnvloeding

Een alkalisch materiaal kan worden geneutraliseerd door de opname van CO₂ uit de lucht. Dit proces wordt ook wel carbonatatie genoemd. Door dit proces zal de pH van het materiaal dalen. Op zeer lange termijn kan het materiaal daardoor mogelijk een pH aannemen van ongeveer 8.3 (evenwicht pH van calciet). De levering van CO₂ kan ook plaatsvinden doordat organisch materiaal in de onderliggende bodem wordt afgebroken. Ook dit proces helpt de neutralisatie van de hoge pH door carbonatatie. In dit geval zal de redox potentiaal laag blijven omdat er geen zuurstof uit de bodem naar het alkalisch materiaal getransporteerd wordt.

Daarnaast is de uitloging van veel verontreinigingen sterk afhankelijk van de pH. Door neutralisatie van de pH zal de uitloging van verontreinigingen ook veranderen. Dit aspect is echter geen onderdeel van deze rapportage.

Een derde effect van hoge pH van alkalische materialen is de potentiële mobilisatie van opgeloste organische stof (dissolved organic carbon, DOC) in de onderliggende bodem. Een uittrekkend pH front kan namelijk ook de pH van de onderliggende bodem verhogen. De DOC concentratie neemt vaak toe bij toenemende pH. Omdat DOC sterk kan complexeren met zware metalen kan de verspreiding van verontreinigingen toenemen wanneer DOC gemobiliseerd wordt.

Redox beïnvloeding

Wanneer materialen met reducerende eigenschappen worden blootgesteld aan zuurstof, zullen deze materialen in meer of mindere mate gaan oxideren. Bij toepassing van materialen met reducerende eigenschappen zal de oxidatie voornamelijk via zuurstof uit de lucht verlopen. De snelheid van oxidatie is afhankelijk van factoren als de zuurstofconcentratie, bereikbaarheid van het materiaal en de hoeveelheid reducerende componenten in het materiaal.

Wanneer reducerende componenten (bijvoorbeeld sulfiden of gereduceerd ijzer(II)) zich uit het materiaal verspreiden en het grond-/oppervlaktewater bereiken, dan kunnen de reducerende componenten oxideren (naar bijvoorbeeld sulfaat of ijzer(III)) door het opgeloste zuurstof uit het water te gebruiken. Hierdoor kan het watermilieu zuurstofarm worden, dit is schadelijk voor organismen. Het uiteindelijke effect zal sterk samenhangen met de lokale omstandigheden van het omringende milieu.

Een lage redoxpotentiaal als verstoring in de bodem kan ervoor zorgen dat Fe(III) gereduceerd wordt tot Fe(II). Dit kan ertoe leiden dat aanwezige Fe(III)-oxiden omgezet worden, de oorspronkelijk gebonden verontreinigingen komen op die manier vrij. Dit kan verhoogde concentraties van verontreinigingen tot gevolg hebben. De grootte van dit effect is nog niet in de praktijk onderzocht.

Gelijktijdige pH en redox beïnvloeding

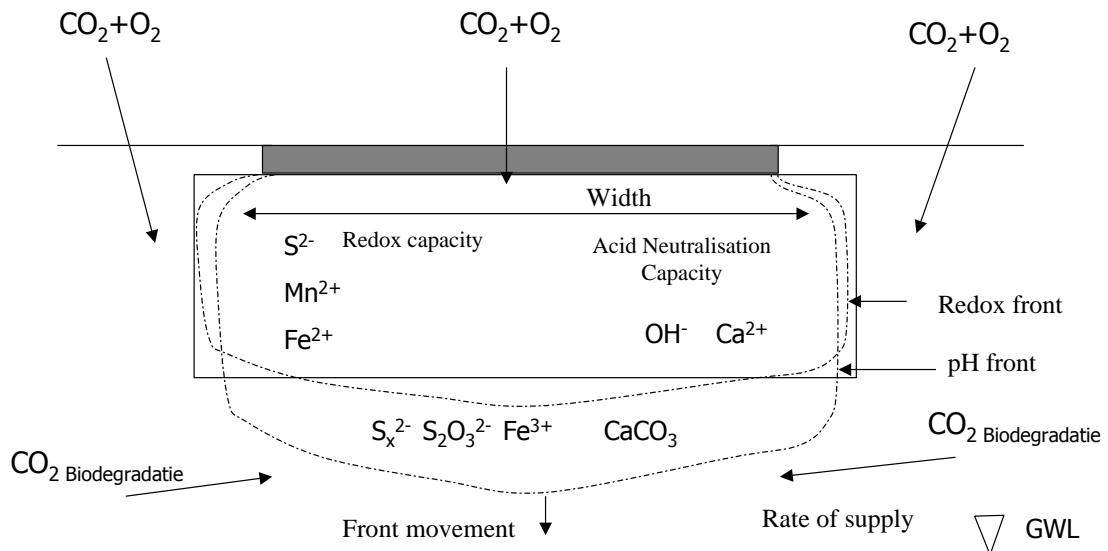
In de praktijk zullen beide bovengenoemde processen tegelijkertijd kunnen optreden. Neutralisatie van een alkalisch materiaal door koolzuur uit water en lucht en gelijktijdige oxidatie van het oppervlak van reducerende materialen door zuurstof uit de lucht. Hierdoor daalt de pH terwijl de Eh (redoxpotentiaal) stijgt.

2.1 pH neutralisatie en redox mechanismen in wegebouw

In Figuur 2.1 is de invloed van O₂ en CO₂ op de chemische speciatie (verschillende chemische ion vormen waarin elementen voorkomen) van zwavel (S) en de neutralisatie van een hoge pH weergegeven bij toepassing van een bouw materiaal met hoge pH en reducerende eigenschappen. Hieruit blijkt dat sulfide species en thiosulfaat (S₂O₃²⁻) onder invloed van O₂ geoxideerd kunnen worden tot sulfaat (SO₄²⁻). Afhankelijk van de lokale bodemcondities kan ook initieel aanwezig sulfaat worden gereduceerd door beïnvloeding van bouwmaterialen met reducerende eigenschappen. Daarnaast kan indringing van CO₂ de alkalische hydroxylionen (OH⁻) via reactie met Ca neutraliseren waarbij CaCO₃ gevormd wordt. Tijdens de aanlegfase kan bij het werken met bouwmaterialen mogelijk ook emissie van stof optreden. Op deze wijze kan mogelijk vrije kalk vrijkomen en/of het geneutraliseerde CaCO₃. Onderzoek van Corus laat bijvoorbeeld zien dat het fijn stof van gecarbonateerde staalslak voor ongeveer 60% uit het relatief onschadelijke CaCO₃ bestaat. De rest van het stof bestaat uit primaire slakmineralen, oxidatieproducten en kwarts. Dit lijkt er op te wijzen dat de verspreiding van vrije kalk via de lucht een onbelangrijke transportroute is.

Bij de beoordeling van de mate van beïnvloeding van de pH en de reducerende eigenschappen zijn de volgende factoren van belang:

- Korrelgrootteverdeling van het materiaal
- Toegankelijkheid van CO₂/O₂ in het materiaal en in de onderliggende bodem
- Mate van blootstelling aan grondwater en/of oppervlaktewater
- Zuurneutraliserend vermogen (buffercapaciteit) en de redoxcapaciteit van het materiaal.



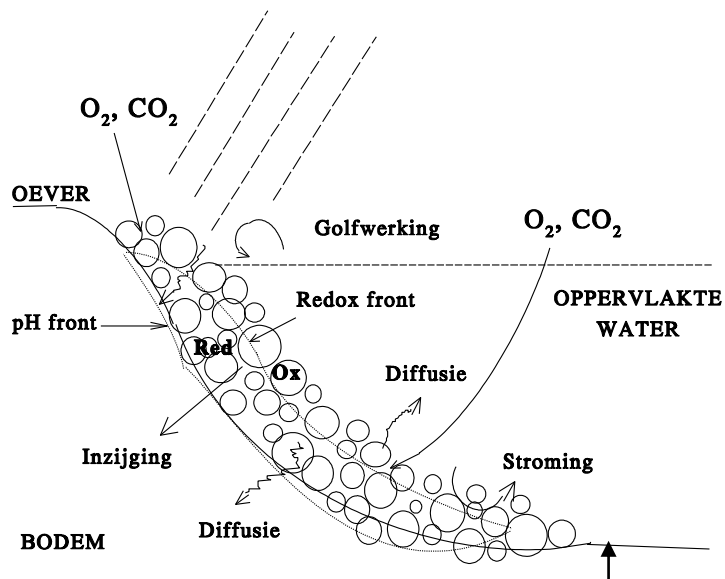
Figuur 2.1 *Invloed van O₂ en CO₂ op de speciatie van S en de neutralisatie van hoge pH door carbonatatie met CO₂ bij wegebouw toepassing van een bouw materiaal met hoge pH en reducerende eigenschappen. Het netto effect van een toepassing op het omringende milieu wordt bepaald door de balans tussen het uitredende pH/redox front en de neutraliserende werking van O₂ en CO₂ (dit proces kan voor terugtrekking van het front zorgen)*

2.2 pH neutralisatie en redox mechanismen in waterbouw

In Figuur 2.2 zijn de processen van alkalische materialen met reducerende eigenschappen in een toepassing als oeverbescherming weergegeven. Bij toepassing van materialen als oeverbescherming zal vaak een deel van het materiaal direct aan de lucht zijn blootgesteld, de rest van het materiaal bevindt zich onder water. Het materiaal dat toegepast wordt als oeverbescherming zal voornamelijk uit grof materiaal bestaan.

Het materiaal dat aan de lucht is blootgesteld kan oxideren (door O₂) en carbonateren (door CO₂) uit de lucht. Onder het wateroppervlak spelen dezelfde processen een rol. Het netto resultaat hangt af van de invloed van carbonatatie en oxidatie van het materiaal. De toepassing van alkalische en reducerende materialen in de waterbouw vindt alleen plaats in gebieden met stromend water en met een relatief groot watervolume. Daardoor zijn de negatieve effecten van pH verhoging en reducerende condities geringer en slechts van korte duur. Uit veldmetingen in een peilbuis in het slakpakket is ook gebleken dat de reducerende condities in de oeverbescherming binnen een jaar verdwenen zijn, waarmee de balans tussen emissie van reducerende species en toevoer van zuurstof ten gunste van de geoxideerde condities verschoven is.

De toepassing van alkalische materialen met reducerende eigenschappen in de waterbouw vindt doorgaans plaats met grof materiaal (bijvoorbeeld 40-200 mm). Daarnaast wordt gezorgd voor een relatief groot (stromend) wateroppervlak. Doorgaans is deze toepassing dan niet kritisch met betrekking tot negatieve effecten van pH en/of reducerende condities (alleen mogelijke kortstondige effecten op moment van aanbrengen).



Figuur 2.2 *Invloed van O_2 en CO_2 op de neutralisatie van hoge pH door carbonatatie met CO_2 en oxidatie van S-species bij toepassing van een bouwmetaal met hoge pH en reducerende eigenschappen in oppervlaktewater*

3. Beschrijving traditionele toepassingen

De materialen die recent tot problemen hebben geleid worden al vele tientallen jaren toegepast zonder dat noemenswaardige milieuproblemen zijn opgetreden (als voorbeeld: jaarlijks is gemiddeld 0,5 Mton LD-staalslak per jaar toegepast in GWW-werken). De reden van de recente problemen is dat door overschotten op de bouwstoffenmarkt de afgelopen drie jaar de toepassingen grootschaliger zijn geworden dan voorheen het geval was. Meer en meer zijn de materialen in ophogingen toegepast, waar ze voordien nooit zijn toegepast (uitgezonderd AVI-bodemas dat vooral als ophoogmateriaal is gebruikt). En juist bij deze grootschalige toepassingen worden de huidige problemen geconstateerd. Alvorens in te gaan op de specifieke probleemsituaties (hoofdstuk 4), worden in dit hoofdstuk de traditionele toepassingen beschreven die geen aanleiding (ook recent niet) tot milieuproblemen hebben gegeven.

3.1 Waterbouw toepassingen

<i>Fosforslak</i>	<i>45-180 mm</i> : oeverbescherming in overwegend mariene milieus. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 52.36.11.
<i>LD-staalslak</i>	<i>32-90 mm en 45-180 mm</i> : oeverbescherming in grote oppervlaktewateren in zowel zoetwater- als mariene omgevingen. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 52.36.11.
<i>LD-staalslak</i>	<i>16-32 mm</i> : vlijlaag voor waterbouwelementen.
<i>Mijnsteen</i>	mijnsteen is enkele jaren toegepast voor de demping van havens. Er zijn weinig gegevens beschikbaar over het uitlooggedrag in die praktijk situatie. Toegepaste gradatie is beschreven in de standaard RAW.
<i>Betonnen elementen</i>	beton elementen worden toegepast in oeverbescherming. Op basis van de afmetingen van dergelijke elementen en het water volume zijn er geen effecten te verwachten.
<i>Colloïdaal beton</i>	(<i>onderwaterbeton</i>): Dit type beton wordt gebruikt als constructief onderwaterbeton voor oever- en bodembescherming.

3.2 Toepassingen in de wegebouw

<i>Fosforslakmengsel</i>	<i>0-22 mm en 0-45 mm</i> (mengsel van fosforslak, maximaal 25 % LD-staalslak en hoogovenslakzand): wegfundering in laagdiktes van 0,2 tot 0,4 m (altijd toegepast onder een asfaltlaag in verband met lichte straling van natuurlijke oorsprong). Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.01, 28.16.02 en 28.16.09.
--------------------------	---

<i>LD-staalslak</i>	<i>0-16 mm en 0-32 mm</i> : wegfundering in laagdiktes van 0,1 tot 0,4 m onder een asfalt, beton- of elementenverharding. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.01 en 28.16.02.
<i>LD-staalslak</i>	<i>0-8 mm</i> : vlijlaag voor elementenverharding (laagdikte enkele cm's). Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 31.46.03.
<i>LD-staalslakmengsel</i>	<i>0-22 mm en 0-45 mm</i> (mengsel van LD-staalslak en hoogovenslakzand): wegfundering in laagdiktes van 0,1 tot 0,4 m onder een asfalt, beton- of elementenverharding. Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.01, 28.16.02 en 28.16.10.
<i>LD-staalslakmengsel</i>	<i>0-8 mm en 0-22 mm</i> (mengsel van LD-staalslak en hoogovenslakzand): halfverharding in laagdiktes van 0,1 tot 0,3 m. Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.01, 28.16.02 en 28.16.10. Toepassing: voetpaden, fietspaden en parkeerterreinen.
<i>LD-staalslakmengsel</i>	<i>0-5 mm</i> (mengsel van LD-staalslak en hoogovenslakzand): vlijlaag onder een elementenverharding (laagdikte enkele cm's). Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 31.46.03.
<i>Hoogovenslakmengsel</i>	<i>0-45 mm</i> (mengsel van hoogovenstukslak, maximaal 25 % LD-staalslak en hoogovenslakzand): wegfundering in laagdiktes van 0,2 tot 0,4 m onder een asfalt, beton- of elementenverharding. Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.01, 28.16.02 en 28.16.08.
<i>Hoogovenslakzand</i>	vlijlaag onder een elementenverharding (laagdikte enkele cm's). Het materiaal is licht hydraulisch en verhardt nadat het is aangebracht en verdicht. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 31.46.02.
<i>Hoogovenslakzand</i>	wegfundering in laagdiktes van 0,1 tot 0,2 m. Civieltechnische eisen: St. RAW Bepalingen 2005 artikel 28.16.11.
<i>Betongranulaat</i>	wordt verkregen door bewerken van betonpuin en betonwaren. Bestaat voor ten minste 90% (m/m) uit gebroken grind of steenslagbeton. Het materiaal kan worden toegepast als wegfundering, toeslagmateriaal in beton, kernmateriaal in waterbouwkundige constructies en als drainage materiaal. Korrelgrootte: typisch 0/40mm en 0/22.4mm. Voor het toepassen van betongranulaat in de wegenbouw zijn in de BRL2506 en de Standaard RAW 2000

bepalingen opgenomen (schraal beton in 28.12 tm 28.17, steenfunderingen in 31.52 tm 31.57).

AVI bodemas

ontstaat bij verbranding van huishoudelijk afval en de daarmee vergelijkbare bedrijfsafvalstoffen. Het materiaal wordt vooral toegepaste in grootschalige ophogingen en aanvullingen in de wegen- en grondbouw. Voor AVI-bodemas in ophogingen zijn bepalingen 22.51 tm 22.57 van de Standaard RAW 2000 van toepassing. In de BRL 2307 zijn eisen opgenomen voor toepassing op de bodem in grond- en wegebouwkundige werken.

Hydraulisch menggranulaat

(mengsel van menggranulaat en 5 tot 20 % LD-staalslak(mengsel)): Wordt toegepast in gebonden wegfunderingen.

Cementgebonden materialen

(immobilisaten, grondstabilisaties, zandcement, BRAC, cementgebonden AVI-bodemas, schraalbeton, etc.): Wordt bijvoorbeeld toegepast in gebonden wegfunderingen.

Kalkstabilisatie

(behandeling van meestal leem- of kleiachtige grond met ongebluste kalk): In het verleden veelvuldig toegepast. Momenteel (nagenoeg) niet meer.

Opmerking:

De toepassing als wegfundering of halfverharding gebeurt (bijna) altijd in combinatie met een zandbed. Het doel van een zandbed is te voorkomen dat de fundering nat wordt door grondwater (drainage) of optrekkend capillair water en er op termijn vorstschade ontstaat. Het materiaal komt dan ook niet in contact met de bodem of grondwater. Terwijl er altijd toestroming van koolzuur en zuurstof mogelijk is. Hetzelfde geldt voor vlijlagen. Deze worden altijd op een zandbed of funderingslaag aangebracht.

Pyriethoudende materialen

mijnsteen, bepaalde kleiafzettingen en diverse sedimenten kunnen pyriet bevatten. Bij blootstelling aan de lucht kan oxidatie optreden met afhankelijk van het zuurneutraliserend vermogen van het materiaal een verzuring van het materiaal. De condities in een pakket van dit type materiaal zal reducerend zijn.

4. Beschrijving casussen

In het verleden zijn veel alkalische materialen en/of materialen met reducerende eigenschappen toegepast in de weg- en waterbouw. Dit gaf in de regel geen problemen met geconstateerde milieu-effecten. Recentelijk zijn problemen bij toepassing van staalslakken en hoogovenslakzand in de bouw geconstateerd. In situaties waar problemen optreden betreft het nieuwe toepassingswijzen van staalslak en hoogovenslak(zand). Het gaat hierbij vooral om toepassing in aanvullingen of ophogingen (veelal 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 uitspoeling optreden naar grondwater en oppervlaktewater met gevolgen voor de waterkwaliteit. In dit hoofdstuk worden een aantal praktijkgevallen beschreven waar problemen zijn opgetreden met hoge pH waarden in grond- en/of oppervlaktewater.

4.1 Hoogezand-Sappemeer

Toepassing LD staalslak 0/20 als ophooglaag op bedrijventerrein "Westerbroek". Het betreft twee terreinen.

Terrein 1: Ca. een jaar geleden is op een terrein van 2 ha. staalslak toegepast als ophoging in het grondwater om het terrein op niveau te brengen (>50 cm boven GHG) voor een AVI bodemas toepassing. Het veenpakket is daarbij afgegraven vanwege zettingsproblemen. Er is een laagdikte van 100 a 120 cm staalslak toegepast. Al tijdens de toepassing werd een verhoogde pH geconstateerd (pH 12) in de bouwput. Het water uit de bouwputten werd geloosd op oppervlaktewater, een ringsloot rondom het terrein, waar ook pH 12 werd gemeten. De sloot watert af richting het Winschoterdiep, alwaar (na verdunning) bij het gemaaltje nog steeds verhoogde pH gemeten wordt (pH 8-10). Momenteel wordt er gemonitord middels 3 peilbuizen. De gemeente heeft een dwangsom uitgeschreven voor financiering van een uitgebreidere monitoring.

"Interessant" is ook de 'toepassing op toepassing'. De AVI bodemas mag als cat. 2 bouwstof worden toegepast tot een maximale toepassingshoogte (volgens certificaat) maar daarin wordt geen rekening gehouden met de reeds toegepaste cat. 1 bouwstof eronder en/of gecombineerde effecten. Terrein 1 is nu afgedicht.

Terrein 2: Daar is eerst vormzand gebruikt, daarboven LD-staalslakken 0/20 en daarboven AVI bodemas. Inmiddels is het terrein tijdelijk afgedicht maar er wordt getwijfeld aan het functioneren van de afdichting want er is een proefsloot gegraven en daaruit blijkt dat de AVI bodemas toepassing in het grondwater ligt.

Geraadpleegd zijn:

dhr. J. Terpstra - Gemeente Hoogezand Sappemeer - afdeling handhaving bouwstoffenbesluit



Figuur 4.1 *Toepassing LD staalslak en AVI bodemas in Hoogezand-Sappemeer. Rechts naast de insteekhaven is de containerterminal zichtbaar. Hier is de veenlaag afgegraven en staalslak toegepast tot 50 cm boven de GHG. Onder de insteekhaven is de locatie opgehoogd met vormzand/LD-staalslak (0-20)/AVI-bodemas met tijdelijke afdichting*

4.2 Hoorn

Bedrijventerrein West Frisia Oost III “De Marowijne” te Zwaag

Ten behoeve van een ophoging en verharding van het terrein van het distributiecentrum van Lidl te Zwaag is een totaal van 105.416 ton LD-staalslakken (0-16mm) toegepast (8 ha.) (gemiddeld ruim een meter dik). De toepassing vond plaats eind 2004. In januari 2005 vond het Hoogheemraadschap verhoogde pH waarden in oppervlaktewater en lozingswater. Daarop is door de gemeente Hoorn een onderzoek ingesteld, uitgevoerd door Unihorn b.v. Er is een uitgebreid meetnet aan peilbuizen geïnstalleerd op en om het terrein van de Lidl. De peilbuizen worden maandelijks gemonitord. Er is sinds februari 2005 in een aantal peilbuizen een sterk verhoogde pH (tot 13,4) gemeten. In een tweetal peilbuizen zijn de pH waarden gedurende het onderzoek blijvend verhoogd. In dezelfde peilbuizen worden in het grondwater ook verhoogde concentraties arseen, barium, cadmium, chroom, nikkel en zink aangetroffen. Behalve voor barium kunnen deze verhoogde concentraties niet direct in verband gebracht worden met de toepassing van LD-staalslak. Er zijn geen verhoogde concentraties van andere verontreinigingen aangetroffen. Er zijn geen referentie metingen beschikbaar van voor de terrein ophoging.

Wel worden hoge concentraties calcium aangetroffen, en treden er problemen op met het neerslaan van calciumcarbonaat in buizen en pomphuizen waardoor buizen verstopt raken en pompen vastlopen. Ten tijde van het schrijven van dit rapport worden nog steeds verhoogde pH waarden gemeten. Op 30-11-2005 zijn twee extra peilbuizen geïnstalleerd op een aangrenzend terrein net ten noorden van het distributiecentrum Lidl, waar dezelfde staalslak in dezelfde periode in een laagdikte van 30 cm is toegepast. De pH waarden van het grondwater die zijn gemeten zijn verhoogd, nl.12,48 en 11,93.

De LD-staalslak is geleverd met een KOMO-attest-met-product-certificaat. Volgens het inkeuringsrapport van Unihorn B.V. is de maximale toepassingshoogte 1000 m. De maximaal aangetroffen dikte van het pakket bedroeg 1.45 m. Hoe de exacte configuratie van de toepassing t.o.v. de GHG is, is nog niet bekend, daarvoor is de monitoringsreeks te kort geweest. De GHG

kan namelijk pas goed bepaald worden als er minimaal een jaar monitoring heeft plaatsgevonden.

Inmiddels is het terrein grotendeels verhard. Het aanbrengen van de verharding begon omstreeks maart 2005 en bestaat grotendeels uit klinkers. Er zijn ten Z, N, en O van het terrein drains aanwezig. Het water afkomstig uit deze drains wordt geloosd op het oppervlaktewater, ondanks de aangetroffen verhoogde pH waarden. Er vindt in deze drains neerslag van calciumcarbonaat plaats. Ook uit de berekeningen blijkt dat mobilisatie van kalk in grote mate kan optreden. (zie de berekende kalk mobilisatie in paragraaf 5.1.5). In het kader van dit onderzoek is deze locatie de enige waarvan bekend is dat er materiële schade is opgetreden door neerslag van calciumcarbonaat.

Er is tijdens de toepassing van de staalslak schade opgetreden aan de riolering en rioolgemalen door neerslag van calciumcarbonaat. Op het riool wordt hemelwaterafvoer geloosd en tijdens de aanleg van het terrein werd ook het water afkomstig van het leegpompen van de bouwputten (gaten voor poeren) op het riool geloosd. Toen de problemen met de riolering werden ontdekt is men begonnen met het doorspuiten van de rioolbuizen, dit is ongeveer 3 weken lang om de 2 a 3 dagen gedaan. Op de foto (Figuur 4.2) is te zien hoe kalkaanslag in het pomphuis heeft plaatsgevonden (binnenste witte rand). Uiteindelijk bleek het noodzakelijk een pomp van het verzamelgemaal geheel te vervangen en is er een pomp van een lokaal gemaal beschadigd geraakt. Tevens moest een stuk persleiding worden vervangen. Daarnaast is er (indirecte) schade opgetreden aan de rioolbuizen tijdens het doorspuiten, waardoor een stuk moest worden vervangen. In het totaal heeft de gemeente Hoorn een schadepost van 30.000 Euro opgelopen.



Figuur 4.2 *Neerslag van calciumcarbonaat (binnenste witte rand) in beschadigde pomp*

Er is door Unihorn b.v. een plan van aanpak opgesteld waarin o.a. wordt voorgesteld om middels IBC de verontreinigingen te isoleren en drainagevoorzieningen te treffen. Aanbevolen wordt om het vrijkomende water te behandelen alvorens te lozen op oppervlaktewater.

De verhoogde concentraties zware metalen (Ni en Zn) en arseen kunnen niet in direct verband worden gebracht met de toepassing van de staalslak. Het vermoeden is dat dit een indirect effect is dat optreedt door de pH verhoging die het geochemisch evenwicht in de bodem verstoort. Daardoor worden verschillende stoffen vanuit de onderliggende bodem gemobiliseerd. In het geval van As kan de oorzaak gezocht worden in de lage redox die wordt opgelegd aan de bodem, waardoor Fe III in Fe II wordt omgezet en As vrijkomt uit de binding van As aan Fe-

oxiden. De verhoogde As concentraties in de bodem zijn waarschijnlijk afkomstig van een verhoogde achtergrond waarde in het gebied.

Geraadpleegd zijn:

dhr. S. Maijer - Milieudienst Westfriesland

dhr. P. Vessies - Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

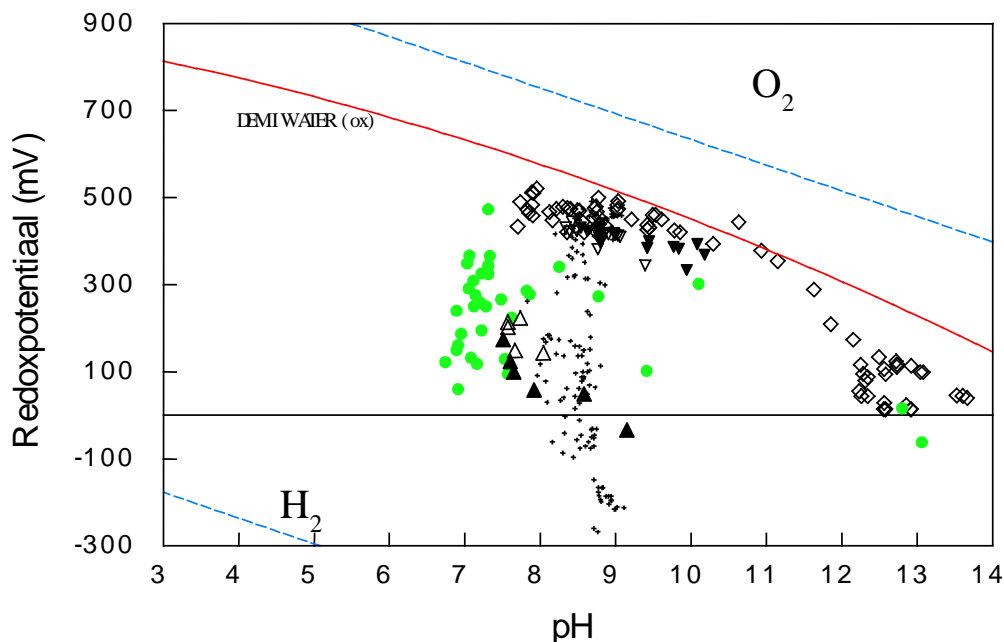
dhr. J. Bleeker - Unihorn b.v

Resultaten aanvullende metingen

Op de locatie van "De Marowijne" is aanvullend veldonderzoek uitgevoerd. In één van de vaste bemonsteringen (22-11-2005) langs de peilbuizen voor pH metingen is ook de redoxpotentiaal gemeten (in alle peilbuizen). Bovendien zijn een aantal grondwatermonsters geanalyseerd op de aanwezigheid van DOC. Een volledig overzicht van alle pH en Eh metingen is te zien in Bijlage V. De toename van de mobiliteit van zware metalen in de ondergrond onder een toepassing van slakken kan namelijk een effect zijn van de toegenomen fractie opgeloste organische stof onder invloed van de hoge pH. De aanvullende metingen zijn bedoeld om eventuele toename van DOC vast te stellen.

De resultaten van de pH en Eh metingen in grondwater van locatie in Hoorn staan weergegeven in Figuur 4.3. De dichte rondjes (groen) zijn de data van de Marowijne. De overige metingen zijn afkomstig van eerder onderzoek aan slak uitloging in relatie tot oeverbescherming [van der Sloot et al., 1995].

Er zijn twee sterk door staalslak beïnvloede grondwatermonsters die hoge pH (ongeveer pH 13) laten zien. Daarnaast zijn er nog twee monsters met een enigszins verhoogde pH van 9-10. Overige monsters hebben bijna allemaal duidelijk verlaagde E_H (vergelijking: deminwater lijn geeft geoxideerde toestand weer). Er zijn echter geen referentie Eh metingen van voor het aanbrengen van de staalslak en het grondwater zou oorspronkelijk ook reducerend van aard kunnen zijn geweest.



Figuur 4.3 Weergave van waarnemingen (ronde symbolen) in Hoorn in Eh -pH grafiek. De doorgetrokken (rode) lijn geeft de pH/Eh relatie van geoxideerd gedemineraliseerd water weer

De resultaten van het aanvullende veldonderzoek zijn weergegeven in Tabel 4.1 (redox gegevens staan ook grafisch weergegeven in Figuur 4.3). Tabel 4.1 laat zien dat twee monsters een zeer hoge pH hebben (>12.5), een van de andere monsters lijkt een verhoogde pH te hebben (9.41). ECN heeft ook DOC analyses uitgevoerd op de grondwater monsters. In hoofdstuk 2 is al genoemd dat een hoge pH in de bodem kan leiden tot verhoogde mobiliteit van DOC (met name humuszuren). Er zijn van deze locatie geen achtergrond DOC waarden bekend, het is daarom lastig om uitspraken te doen over eventuele verhoogde DOC concentraties in het grondwater. De veronderstelling is geuit dat op de plaatsen met een hoge pH de grondwaterspiegel tot in de laag staalslak ligt. Op basis van informatie over de aanleg is dat niet onmogelijk. Een onafhankelijke bevestiging van deze veronderstelling is echter niet beschikbaar.

Vanuit de literatuur is bekend dat DOC in grondwater grofweg tussen de 1 en 40 mg C/L ligt (Appelo en Postma, 2005). Het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) heeft DOC waarden in grondwater onder bemeste landbouwgrond (zandgebied) gemeten. Het langjarig gemiddelde (1992-2001) bedroeg 27 mg C/L. De gemeten waarden in Hoorn liggen (op een meting na) binnen de hier aangegeven ranges. Het is daarom niet duidelijk of de DOC waarden in het grondwater daadwerkelijk verhoogt zijn. Daarnaast is het mogelijk dat het effect van verhoogde DOC concentraties vertraagd optreedt. Het zou goed zijn als DOC als extra parameter wordt opgenomen in de monitoring die door Unihorn wordt uitgevoerd.

Tabel 4.1 *Meetgegevens peilbuismonsters terrein "De Marowijne", d.d. 22-11-'05.*

Nr. peilbuis	Redox (mV)	pH	temp. °C	DOC (mg C/L)	Opmerking
1	-	12.80	7.6	32.7	
23	82	7.22	-	12.4	
20	-	9.41	7.6	29.3	rotte eierenlucht, zeer moeilijk te filtreren
19	22	7.48	-	27.5	
14	-83	6.91	11.1	26.1	Fe aanslag op monsterslang, zeer moeilijk te filtreren
22	-184	6.91	10.7	97.7	rotte eierenlucht
29	-112	7.08	12.5	9.3	rotte eierenlucht
28	-126	7.16	11.2	9.5	rotte eierenlucht
32	-306	13.06	12.5	18.9	rotte eierenlucht

4.3 Akkrum

Locatie Spikerboor en de Kromme Saene

Vanaf september 2004 is een partij LD staalslakken 0/40 van ca. 50.000 á 60.000 ton toegepast als terrein verharding op een terrein van 2 ha. De dikte van de ophoog laag varieert tussen de 0,9 en 1,4 m [blijkens gegevens van ingenieursbureau DHV]. volgens een ander rapport. Uit eerdere verkennende bodemonderzoeken (in 1995, 2002 en 2004) op en nabij de locatie bleek dat het grondwater normale pH waarden had (6,4 - 7,8). Uit deze onderzoeken bleek ook dat in het grondwater arseen, cadmium, chroom, nikkel, zink en lood licht boven de streefwaarde is aangetroffen. In januari 2005, ruim 4 maanden na toepassing van de staalslak, is in aangrenzende watergangen een verhoogde zuurgraad (pH 12) aangetroffen door het Wetterskip Fryslân. Daarop is door de bevoegde gezagen een onderzoek ingesteld wat werd uitgevoerd door ingenieursbureau DHV. De conclusie van het onderzoek was dat pH van het grondwater in de 4 aangebrachte peilbuizen niet was verhoogd (februari 2005) (Meting ter plekke uitgevoerd of later?) In het grondwater is wel een lichte verhoging van de concentratie van barium (Ba) gevonden. In de bodem direct onder de toepassing is een lichte tot sterke verhoging van vanadium gemeten. De verhoogde barium en vanadium concentraties zijn vermoedelijk te relateren aan de toepassing van de LD-staalslak.

Ook in februari 2005 heeft een in-situ partijkeuring van de LD-staalslakken plaatsgevonden [Witteveen+Bos]. De conclusie van de herkeuring is dat de LD-staalslakken volgens het bouwstoffenbesluit als categorie 1 (toepassingshoogte 1000 m) aan te merken is. Uit de weegproeven blijkt dat de LD-staalslak 0/40 een relatieve grote fijne fractie bevat, 86.7 % (m/m) is kleiner dan 16 mm, 12.9 % valt in de fractie 16-40 mm en 0.4 m/m% is groter dan 40 mm.

Bij navraag of er ook materiële schade (aan pompen of riolering) is opgetreden blijkt dat er voorzorgsmaatregelen zijn genomen om eventuele problemen voor te zijn. De gemeente heeft verordend dat alle hemelwaterafvoer met hoge pH dat op het riool zou worden geloosd werd verdund alvorens te lozen op het riool.



Figuur 4.4 *Locatie toepassing LD staalslakken te Akkrum*

Ten slotte is het Ministerie van SZW - ARBO in juli 2005 betrokken geweest bij de beoordeling van de gezondheidsrisico's van het stof dat vrijkwam tijdens en na toepassing. Op advies van de arbeidsinspectie zijn de werkzaamheden stilgelegd waarna is geadviseerd de toepassing continue vochtig te houden (besproeien). Dit is iets waarvan blijkt dat het in de praktijk nogal lastig te realiseren is. Het onderzoek naar de gezondheidsrisico's voor de algemene volksgezondheid door RIVM is afgerond. De belangrijkste conclusie is dat bij normaal gebruik er geen risico's voor de volksgezondheid verwacht worden (in hoofdstuk 8 wordt hier in detail op ingegaan).

Geraadpleegd zijn:

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| dhr. P. Zeldenthuis | - Gemeente Boarnsterhim |
| dhr. F. Bams | - Wetterskip Fryslân |
| dhr. Y. Muller | - Provincie Fryslân |

4.4 Gemeente Wieringermeer

Bedrijventerrein Robbenplaat te Wieringerwerf

Op het bedrijventerrein Robbenplaat te Wieringerwerf is vanaf mei 2005 LD-staalslak 0/20 mm toegepast voor verhardingsdoeleinden. Het terrein is ongeveer 1,5 ha en de toepassingshoogte ca 0,5 m. Na een periode van hevige regenval is het drainagewater vanuit de staalslakken in een van de watergangen terechtgekomen. In een sloot en in waterplassen op de staalslak zijn vervolgens pH waarden van rond de 12 gemeten. Op last van de gemeente heeft de eigenaar van het terrein drainagebassins aangelegd om het sterk basische percolerende water op te vangen in bassins. Dit is aanleiding geweest voor de gemeente Wieringermeer om een aanvullend onderzoek uit te laten voeren [Gietema, 2005] naar de effecten van de toepassing. De vraag hierbij was of de verhoogde pH waarden kunnen worden gerelateerd aan de toepassing van de staalslakken en of de toepassing van de staalslakken heeft geleid tot verontreinigingen van de bodem. Het onderzoek is gestart in augustus 2005.

Er is een beperkt aantal peilbuizen geplaatst en er zijn bodembemonsteringen gedaan. De bevindingen van het onderzoek zijn dat de grond direct onder de slakken een hogere pH heeft dan grond op onverdacht terrein. In grondwater zijn verhoogde pH waarden (11,6) gemeten. De hoge pH in het grondwater kan afkomstig zijn uit de staalslak toepassing. Het is echter ook niet uit te sluiten dat de hoge pH afkomstig is uit het drainage bassin ten noorden van de toepassing. In de bodem direct onder de toepassing zijn verhoogde concentraties van vanadium aangetroffen, welke vermoedelijk te relateren zijn aan de toepassing van de LD staalslak.

Daarnaast is vastgesteld dat de achtergrondconcentraties van een aantal verontreinigingen (Cr, Ni, benzeen en xyleen) al vóór toepassing van de slak verhoogd waren. Ook de matig tot licht verhoogde concentraties barium, chroom en koper zijn niet direct te relateren aan de slaktoepassing. De plaatselijk sterk verhoogde concentraties van kwik in grondwater worden verklaard door een verstoring van het geochemisch evenwicht in de bodem.

Geraadpleegd zijn:

dhr. T. Rolsma - Gemeente Wieringermeer

4.5 Gemeente Oss

A50 - Afrit Paalgraven

Bij de realisatie van Rijksweg A50 is hoogovenslakzand (HSZ) toegepast als ophoogmateriaal. Het materiaal heeft een korrelgrootte van 0-2 mm. Er zijn twee partijen HSZ toegepast, 1 verouderde partij (die opgeslagen heeft gelegen naast de Rijksweg en 1 'verse' partij. In de eerste partij wordt een gemiddelde pH van 6,9, en in de tweede partij een pH van 12 gemeten [MILON, december 2004].

Maximaal drie maanden na toepassing van het HSZ heeft een bemonstering van oppervlaktewater plaatsgevonden (maart 2005). Daarin wordt een pH van 11.6 gemeten. Een maand later heeft in het kader van een strafrechtelijk onderzoek opnieuw een bemonstering van oppervlakte water plaatsgevonden, hierbij is geen verhoogde pH aangetroffen. Dit is een reden geweest voor RWS om geen monitoring op te starten. In een brief van de gemeente Berheze aan de directeur van RWS-Noord Brabant d.d. 25 juli 2005 wordt RWS verzocht om alsnog een plan van aanpak voor de monitoring van grondwaterkwaliteit op te stellen.

Geraadpleegd zijn:

dhr. van der Meijden

- Gemeente Oss

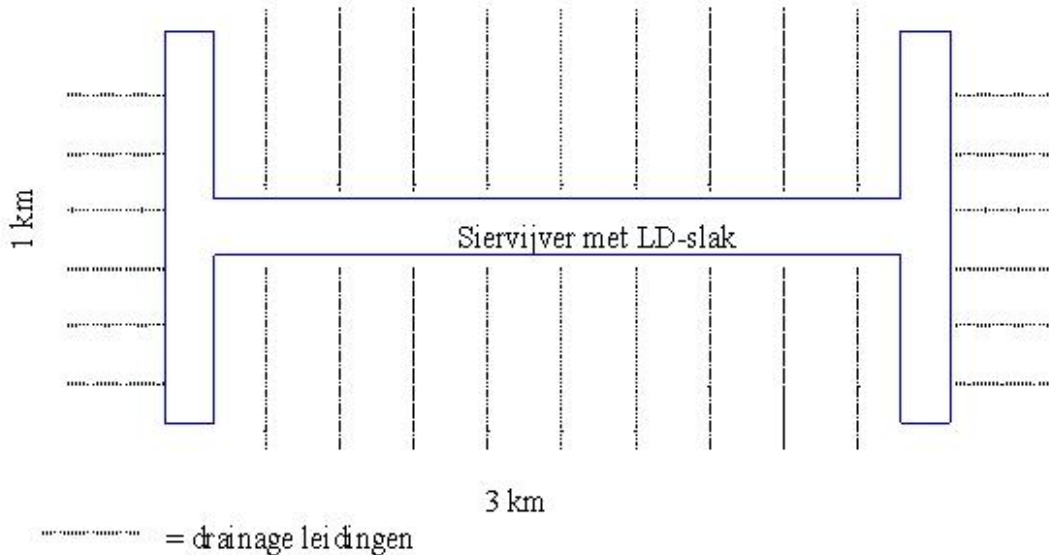
dhr. S. Daverveld

- Waterschap Aa en Maas

4.6 Gemeente Haarlemmermeer

GETSEWOUD Siervijver

In Getsewoud is in 2001 de bodem van een siervijver in een Vinex locatie voorzien van een laag LD-staalslak met een korrelgrootte van 7-32 mm. Het doel van de toepassing is om de opwaartse druk ten gevolge van kwel tegen te gaan. De locatie te Getsewoud omvat een gebied van 1 km bij 3 km. Binnen dit gebied bevinden zich de siervijvers met daarin de LD-slakken. De situatie is schematisch weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 *Schaal van slaktoepassing in siervijver Getsewoud*

In het gehele plan was een totaal gebruik van 240.000 ton staalslakken voorzien (deze hoeveelheid is niet in zijn geheel gebruikt. De exacte hoeveelheid is echter onbekend). De gemiddelde dichtheid (na verdichten van het materiaal) van de slakken is circa 2200 kg/m^3 . Omgerekend komt dit dus neer om een hoeveelheid slakken van ongeveer 110.000 m^3 . De gemiddelde toepassingsdikte bedraagt 2.40 meter. Het gemiddelde oppervlak van de slakken bedraagt dan zo'n 46.000 m^2 .

Kort na het aanbrengen van de LD-staalslakken is een hoge pH in combinatie met reducerende omstandigheden in het water geconstateerd. Dit leidde tot massale vissterfte in de siervijver. Uiteindelijk is het materiaal uit de siervijver verwijderd op 3 juli 2001. De bodem is daarna verzaamd met graniet.

De toepassing van staalslak in Getsewoud is heel anders dan reguliere toepassingen van LD-staalslak in de waterbouw. Ten eerste is een veel dikkere laag slak (met relatief fijne korrelgradatie, 7-32 mm) toegepast met als doel om opwaartse druk ten gevolge van kwel tegen te gaan. Bovendien is de slak toegepast in een relatief klein volume vrijwel stilstaand water. Dit betekent dat het zich ontwikkelende redox en pH front niet de kans krijgt te verdwijnen. Het is duidelijk dat deze toepassing verkeerd is geweest en zeker niet conform de bestaande praktijk met waterbouw toepassingen van LD-staalslak. Normaal gesproken wordt namelijk uit gegaan van een zeer groot volume stromend water zodat er steeds vernieuwing plaatsvindt.

Opmerkingen bij de gesprekken met betrokkenen van bovenstaande casussen

- In een aantal gevallen zijn verhoogde concentraties zware metalen in grondwater aangetroffen. Deze toenames zijn niet in direct verband te brengen met de toepassing van de slak. Mogelijk houden deze waarnemingen verband met een indirect effect op de bodem, en worden zware metalen (die al in de bodem aanwezig waren) gemobiliseerd door de hoge pH

condities. Doordat nadere projectgegevens ontbreken, kan geen uitspraak gedaan worden over het belang van dit mechanisme in deze toepassing.

- De betrokken controlerende instanties (zoals waterschappen, milieudiensten) geven aan dat de eigenaren van de terreinen en de uitvoerders van de constructiewerkzaamheden veelal te goeder trouw hebben gehandeld. Men is zich vaak niet bewust van de 'zorgplicht' en gaat af op alleen de eisen die het Bouwstoffenbesluit oplegt. Wanneer een bouwstof voldoet aan die eisen wordt simpelweg niet verder gekeken of nagedacht over andere mogelijke nadelige beïnvloeding van het milieu door toepassen van de bouwstof. De eigenaren van de terreinen, maar ook de aannemers en gemeenten, voelen zich veelal flink gedupeerd door de vertraging in de bouw, de extra kosten voor isolerende maatregelen en andere maatregelen en de negatieve publiciteit.

AVI-bodemas

Observaties A15 bij Rozenburg en A27 (Steketee et al., 2002): In deze studie van een wegvak van bodemas dat volgens de geldende voorschriften is afgedekt met een ondoorlatende laag is geconstateerd dat de pH in een groot deel van het pakket na ca. 5 jaar nog steeds relatief hoog is (pH > 10.5). In lagen die relatief dicht onder de afdichting liggen is een duidelijke neutralisatie geconstateerd (pH ~ 9).

In de Vondelingen weg is AVI bodemas toegepast in een laagdikte van ca. 30 cm. In veld onderzoek uitgevoerd door RIVM, ECN en INTRON ca. 8 jaar na aanleg is vastgesteld dat de hele laag AVI bodemas door carbonatatie geneutraliseerd is en er geen meetbare lange termijn pH effecten in de bodem zijn opgetreden (Schreurs et al., 1996a, Schreurs et al., 1996b, Schreurs et al., 1997).

Toepassing cement gestabiliseerde vliegas

In de Coloradoweg is een wegstabilisatie van vliegas met cement als bindmiddel toegepast. In het kader van een studie van RIVM, ECN en INTRON (Schreurs et al., 1996a) zijn ook metingen in de bodem uitgevoerd. De laagdikte van deze toepassing was 40 cm. Uit de veldmetingen aan kernen bemonsterd ca 11 jaar na aanleg kan worden geconstateerd dat er geen significante pH effecten in de bodem zijn waar te nemen. Onder de asfaltdeklaag was de pH in de stabilisatie nog steeds hoog (> 11), terwijl in de schouder van de weg de pH van de stabilisatielaag lager was dan pH 9.

Vergelijking van laboratorium- en praktijkresultaten

De pH waarden in het laboratorium en praktijkobservaties van AVI-bodemas, puingranulaat en zogenaamde Trimix (mengsel van hoogovenslak, staalslak en hoogovenslakkenzand) zijn door Tauw vergeleken. Er zijn monsters van het verse materiaal aan een kolomtest onderworpen. Daarnaast zijn monsters van semi-praktijkproeven (700-1400 kg materiaal) genomen voor pH meting. Een samenvatting van de resultaten staat in Tabel 4.2. Bij open toepassingen treedt bij veel materialen een relatief snelle daling van de pH op (de proef duurde in dit geval 1.4 jaar), waarschijnlijk als gevolg van carbonatatie. Het effect van verkleining, dat in een overschatting van de pH kan resulteren, heeft eveneens invloed maar dit effect lijkt minder groot dan carbonatatie.

Tabel 4.2 *pH-waarden bij standaardkolomproef uitgangsmateriaal en bij semipraktijkproef*

Proef	AVI-bodemas	puingranulaat	Trimix
	5x versneld ⁽¹⁾	1x versneld ⁽¹⁾	1x versneld ⁽¹⁾
Stkolom, vers	9,0 (L/S 0,61)	12,2 (L/S 0,45)	12,8 (L/S 0,52)
Semi-praktijkproef	7,6 (L/S 0,42)	8,0 (L/S 0,58)	12,34 (L/S 0,49)

(1) 5x versneld: tempo bevochtiging 5x zo snel in vergelijking met gemiddelde regenval, 1x versneld: tempo bevochtiging vergelijkbaar met gemiddelde regenval. Bevochtiging vindt plaats door periodieke kunstmatige beregening

Tabel 4.2 laat zien dat er in de praktijk neutralisatie optreedt. Wanneer de pH waarden van het verse en blootgestelde materiaal vergeleken worden dan lijkt het of het Trimix monster het minst gereageerd heeft met CO₂ omdat het verschil in pH waarden het kleinst is. Dit is echter niet waar omdat de pH gebaseerd is op een logaritmische schaal ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). Uit de resultaten in Tabel 4.2 is te berekenen (onder aanname dat de buffercapaciteiten onderling gelijk zijn) dat in trimix ongeveer 4 maal zoveel OH⁻ verbruikt is dan in puingranulaat, terwijl het op het eerste gezicht misschien lijkt dat juist puingranulaat meer OH⁻ verbruikt heeft. Wanneer het trimix monster eenzelfde hoeveelheid OH⁻ zou verbruiken als puingranulaat dan zou de eind pH op 12.7 uitkomen. Het is echter wel zo dat het AVI-bodemass en het puingranulaat monster in absolute zin meer geneutraliseerd (gecarbonateerd) zijn doordat de pH na blootstelling aan de lucht gedaald is tot neutrale waarde. Bovenstaand voorbeeld pleit voor een beoordeling van materialen op de buffercapaciteit in plaats van op slechts de pH van een materiaal.

5. Karakterisering

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de beschikbare fysisch/chemische eigenschappen van materialen met hoge pH en/of reducerende eigenschappen. Door gebrek aan metingen van alle relevante parameters is het overzicht niet compleet. Het zal daarom in de toekomst belangrijk worden om aanvullende gegevens te verzamelen om de karakterisering van materialen completer te maken.

In eerder onderzoek is de rol van het zuur/base neutraliserend vermogen van een groot aantal materialen geëvalueerd in relatie tot de veranderingen in uitgeloopte hoeveelheid bij uitloging met aangezuurd water ten opzichte van uitloging met demiwater []. Voor de beoordeling van materialen ten aanzien van hun mogelijkheid zure, basische of reducerende condities op te leggen aan hun omgeving zijn een aantal basis gegevens van belang. Dit betreft een overzicht van de fysisch eigenschappen van onderhavige materialen met het accent op de korrelgradatie, samenstelling, uitloging, pH gedrag inclusief zuur/base neutraliserend vermogen en reducerend vermogen.

Daarbij zijn de volgende materialen betrokken:

- hoogovenstukslak
- fosforslak
- mijnsteen
- hoogovenslakzand
- hoogovenslakmengsel
- LD-staalslakmengsel (LD-staalslak met hoogovenslakzand)
- LD-staalslak
- ELO staalslak
- AVI bodemas
- Sediment/ baggerspecie
- Grond (klei)
- cement mortel
- bouw&sloop afval
- menggranulaat
- betongranulaat

Van een beperkt aantal materialen is informatie beschikbaar over sulfide gehalte van vaste stof alsmede van uitloogoplossingen. De algemene karakterisering van het uitlooggedrag van AVI-bodemas, cement mortel en staalslak is weergegeven in Bijlage I.

Voor de beoordeling van zuur/base gedrag en oxidatie toestand van materialen zijn pH en Eh toestandsgrontheden, die de status van het materiaal weergeven. Echter voor de beoordeling van de onderlinge beïnvloeding van materialen zijn deze gegevens onvoldoende. Dat kan alleen op basis van buffercapaciteiten. Dus een zuur/ base neutraliserend vermogen en een redox capaciteit, uitgedrukt in eenheden, die een optelsom van capaciteiten mogelijk maakt, waarmee dan kan worden aangegeven of een gegeven systeem tot verhoogde pH of lage redox aanleiding zal geven. Het zuurneutraliserend vermogen wordt bepaald door de mineralogie van de vaste stof, waarbij met name CaO een belangrijk aandeel van de buffering vertegenwoordigt.

Tabel 5.1 toont het reducerend vermogen van een aantal materialen. Het reducerend vermogen is uitgedrukt in mmol O₂/kg, dit betekent dat een bepaalde hoeveelheid O₂ nodig is om het materiaal te oxideren. Het hangt dus van de omstandigheden in de toepassing af of er voldoende O₂ bij het materiaal kan om dit te oxideren.

Tabel 5.1 *Reducerende eigenschappen van verschillende alkalische materialen*

Materiaal	Reducerend vermogen (mmol O ₂ /kg)*	Standaard deviatie (mmol O ₂ /kg)	Referentie
Fosforslak	166	29	ECN-C-94-094
Hoogovenstukslak	207	27	ECN-C-94-094
LD-staalslak	347	165	ECN-C-94-094
LD-Staalslak	186	72	ECN, 2005
Mijnsteen	<10		ECN-C-94-094
Hoogovenslakzand	308	35	ECN, 2005
Malburg slib	436	38	ECN, 2005

* 1 mmol O₂ /kg correspondeert met 32 mg O₂/kg.

In Tabel 5.2 staat het berekende zuurneutraliserend vermogen (ZNV) weergegeven voor een aantal materialen waar ECN onderzoek aan gedaan heeft. Het ZNV voor deze materialen ligt tussen 0.048 en 4 mol/kg. In deze berekeningen is de benodigde hoeveelheid zuur berekend om de pH van ongeveer 12 naar pH 7.5 te brengen. Voor de proef (TS14429) wordt het te onderzoeken materiaal verkleind tot 95% < 4 mm.

Tabel 5.2 *Zuur neutraliserend vermogen van verschillende alkalische materialen*

Monstercode	Omschrijving	from pH	to pH	ZNV (mol/kg)
Cement mortel PCA D EU	Cement mortel	12	7.5	0.048
Cement mortar BFS D EU	Cement mortel	12	7.5	0.049
Cement mortar BFS D EU	Cement mortel	12	7.5	0.052
Cement mortar PCA D EU	Cement mortel	12	7.5	0.053
Crushed cement mortar CEM I 1	Gebroken cement mortel	12	7.5	4.32
Crushed cement mortar CEM I 1	Gebroken cement mortel	12	7.5	5.04
Crushed cement mortar CEM I 1	Gebroken cement mortel	12	7.5	5.00
Crushed cement mortar CEM I 1	Gebroken cement mortel	12	7.5	4.32
Crushed cement mortar CEM I 1	Gebroken cement mortel	12	7.5	6.72
Hoogovenslakzand	Hoogovenslakzand (0-2mm)	11.4	7.5	0.099
LD-Steel_slag_carbonated_30%	Gecarbonateerde LD-staalslak	12	7.5	0.231
Bottomash_AVSH	Verouderde AVI bodemas	11.9	7.5	0.259
LD-Steel_slag_carbonated_90%	Gecarbonateerde LD-staalslak	12	7.5	0.418
MSWI Bottom_ash_fresh	AVI bodemas	11.9	7.5	0.426
MSWI Bottom ash Austria	AVI bodemas (Oostenrijk)	11.85	7.5	0.807
Bottomash_MSWI_fresh2	AVI bodemas	11.9	7.5	0.834
LD-Steel_slag_carbonated_60%	Gecarbonateerde LD-staalslak	12	7.5	0.852
LD-Steel_slag_fresh	LD-staalslak (vers)	12	7.5	1.643
LD-Steel_slag_1993_red	LD-staalslak (vers)	12	7.5	2.665
LD-Steel_slag_1994_ox	LD-staalslak (vers)	12	7.5	3.396
LD-Steel_slag_fresh2	LD-staalslak (vers)	12	7.5	3.506
Cement mortel CEN I D	Cement mortel	12	7.5	4.003
Bouw en sloop afval	Bouw en sloop afval na verkleining	12	7.5	0.33
Betongranulaat #*	Betongranulaat	12	7.5	4
Metselwerk granulaat # \$	Metselwerkgranulaat	11	7.5	0.4

Deeltjes grootte verdeling belangrijk, geen data onverkleind en gecarbonateerd

\$ Uitgaande van 10 % mortel in granulaat

* Uitgaande van "vers" beton

De eigen pH van een suspensie materiaal (bij een vloeistof/vaste stof verhouding, L/S, van 10) na 48 uur equilibratie is weergegeven in Tabel 5.3. Vooral de pH waarden van cementmortel en LD-staalslak zijn hoog met waarden ruim boven pH 12. AVI-bodemas heeft een pH die afhankelijk van o.a. de ouderdom tussen de 11 en 8.5 ligt. Ook de pH van LD-staalslak kan door carbonatatie fors verlaagd worden. In de voorbeelden in Tabel 5.3 staan twee labexperimenten

met LD-staalslak carbonatatie (60 en 90%), hieruit blijkt dat de pH twee eenheden gedaald is (factor honderd minder alkaliniteit).

Tabel 5.3 *Eigen pH van materialen*

Monstercode	pH
Bottomash_AVSH	8.48
Bottomash_MSWI_fresh	10.2
LD-Steel_slag_carbonated_60%	10.3
LD-Steel_slag_carbonated_90%	10.52
MSWI Bottom_ash_fresh2	11.09
Hoogovenslakzand	11.32
Cement mortar OPC I D	12.46
LD-Steel_slag_fresh	12.58
LD-Steel_slag_fresh	12.61

In Tabel 5.4 is het zuurneutraliserend vermogen van grond weergegeven. De resultaten zijn afgeleid uit de TS14429 uitloogtest (ZNV test). Tabel 5.4 laat zien dat de ZNV waarde om de pH van 7 naar 9 te brengen ongeveer 0.04 mol/kg is. Om het effect van pH verhoging van een bodem te kunnen kwantificeren wordt in dit rapport gebruik gemaakt van modellering. Daarnaast zijn eenvoudiger berekeningen gemaakt van de resulterende pH in verschillende situaties op basis van de in dit hoofdstuk genoemde gegevens.

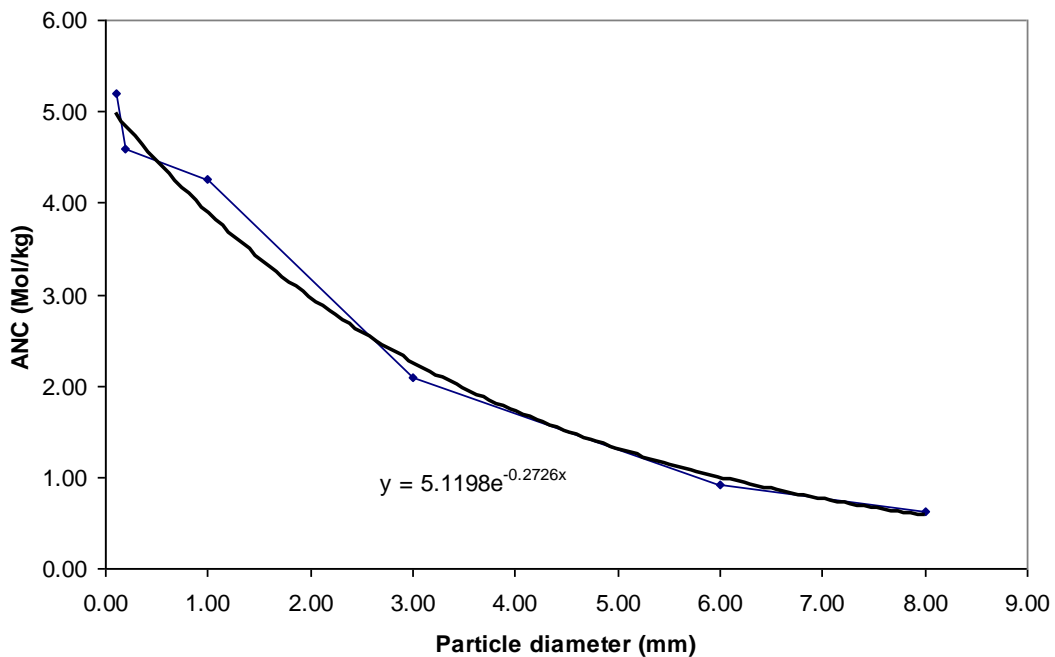
Tabel 5.4 *Zuurneutraliserend gedrag van bodems bij een pH verandering van 7 tot 8 en van 7 tot 9*

ZNV data for soil	ZNV/BNV calculation results		
	from pH	to pH	acid/base (mol/kg)
SOIL-A_AUSTRIA	7	8	0.0741
SOIL-B_AUSTRIA	7	8	0.029656
EUROSOIL 4 + 3 % Green compost EU	7	8	0.009697
EUROSOIL 4 + 3 % Sewage sludge EU	7	8	0.007597
Eurosoil4	7	8	0.016179
SOIL-WP2	7	8	0.01681
Zinc_Soil	7	8	0.024079
		average	0.025
		stdev	0.023
SOIL-A_AUSTRIA	7	9	0.115
SOIL-B_AUSTRIA	7	9	0.049
EUROSOIL 4 + 3 % Green compost EU	7	9	0.017
EUROSOIL 4 + 3 % Sewage sludge EU	7	9	0.013
Eurosoil4	7	9	0.029
SOIL-WP2 HORIZONTAL	7	9	0.04
Zinc_Soil	7	9	0.031
		average	0.042
		stdve	0.034

ZNV als functie van de korrelgradatie

Uit de metingen aan zeeffractie van staalslak blijkt dat de korrelgradatie van de materialen een heel belangrijke factor is. Figuur 5.1 laat zien dat het zuurneutraliserend vermogen bij toenemende korrelgrootte sterk afneemt (proeven uitgevoerd met de PrEN 14429 uitloogproef). De fijnste fractie uit deze experimenten (<100 µm) heeft een ZNV van ongeveer 5 mol/kg, dit neemt af tot een ZNV van ongeveer 0.5 mol/kg voor de fractie >8 mm. De gemeten gewichtsverdeling van de zeeffracties staan in Tabel 5.5. Het aandeel van deeltjes <1mm is

ongeveer 20% in gewicht, maar is dus verantwoordelijk voor ruim meer dan de helft van het ZNV. Deze resultaten zijn in de modelberekeningen gebruikt om de effecten van korrelgradatie weer te geven. De meting van ANC aan verkleind materiaal geeft een beschikbaarheid van ANC weer. ANC meting aan deeltjes grootte fracties bidet de mogelijkheid de actuele ANC te bepalen. Als een generieke relatie (die een breder spectrum aan materialen omvat) kan worden vastgesteld tussen deeltjes grootte en ANC dan biedt dat mogelijkheden voor lange termijn voorspelling. De mate waarin mogelijk sealing optreedt door precipitatie van calcië in de poriën van de slak is nog onbekend.



Figuur 5.1 Zuurneutraliserend vermogen als functie van de korrelgradatie (staalslak)

Tabel 5.5. Gewichtsverdeling staalslak na verschillende zeefstappen

Fractie	Gewicht (gram)	Percentage (%)
> 8 mm	789.1	37.45
8 mm > X > 4mm	363.4	17.25
4 mm > X > 2 mm	252.2	11.97
2 mm > X > 0.710 mm	231	10.96
0.710 mm > X > 0.5 mm	68.5	3.25
0.5 mm > X > 0.1 mm	259.8	12.33
< 0.1 mm	143.2	6.80

5.1 Vereenvoudigde berekeningen praktijkscenario's

Er zijn een aantal praktijksituaties beoordeeld door een balans te maken tussen het zuurneutraliserend vermogen van een alkalisch materiaal en de neutraliserende factoren (CO₂ uit (bodem-)lucht of water). De rekenvoorbeelden zijn uitgevoerd op basis van het gebruik van beton en staalslak in diverse scenario's. Bij deze evaluaties maakt het in principe niet uit welk materiaal de alkaliniteit levert. Een belangrijk verschil is wel de korrelgradatie, die bij deze eenvoudige vergelijkingen niet eenvoudig meegenomen kan worden. Deze berekeningen geven een grove indruk van eventueel te verwachten effecten. Er wordt steeds een balans opgesteld van de neutraliserende capaciteit van materialen, bodem, water en lucht.

De buffering van een systeem wordt geschat door de buffercapaciteit in milli-equivalenten (meq) uit te drukken. De buffercapaciteit van een alkalisch materiaal in een bepaald scenario wordt berekend. Daarnaast wordt de buffercapaciteit van de verschillende "neutraliserende" compartimenten/processen berekend. Uiteindelijk zal de balans opgemaakt worden van het aantal vrijkomende milli-equivalenten uit een alkalisch milieu tegen het aantal "neutraliserende" milli-equivalenten vanuit bodem, water en lucht.

Op basis van de (vereenvoudigde) berekeningen blijkt dat zonder aanvullende verklaring van werkelijk emissiegedrag, de emissie van alkaliniteit en reducerende bestanddelen uit materialen zowel ten aanzien van oxidatie als ten aanzien van carbonatatie moeilijk nauwkeurig kwantitatief te bepalen is. Dat betekent dat aspecten als korrelgradatie en toepassingsomstandigheden in de meer gedetailleerde modellering meegenomen moeten worden om tot een conclusie over aanvaardbaarheid te komen.

5.1.1 Betonwand in oppervlaktewater

In dit scenario wordt het effect bepaald van een betonnen wand die in contact staat met oppervlakte water. Er wordt aangenomen dat de waterpartij 50 m lang, 40 m breed en 2 m diep (watervolume is 4.000 m^3) is. De bodem van het water bestaat uit een laag van 0.5 m sediment. De betonnen wand staat verticaal aan een zijde van de waterpartij, dit levert een contact oppervlak van 100 m^2 (50×2) op. Het water heeft een pH van 7 ($1e-4 \text{ meq/L}$) en zal door uitloging van alkalische componenten uit het beton in pH verhoogd kunnen worden. In dit scenario wordt tevens rekening gehouden met carbonatatie door CO_2 dat in de lucht aanwezig is.

Gegevens betonwand

Met behulp van de ECN database met uitlooggegevens is berekend dat cement mortel een gemiddelde buffercapaciteit (tot pH 7) heeft van 4.795 meq/kg ($n=10$). Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze buffercapaciteit op verkleind materiaal bepaald is, terwijl de betonnen wand een monoliet is. Om deze reden wordt een vertaalfactor van 5 gekozen om te compenseren voor de verminderde buffercapaciteit van de betonnen wand. Er dient ook iets te worden aangenomen omtrent de totale hoeveelheid beton die "meedoet" in de afgifte van alkalische componenten. Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat slechts de eerste 2 mm van het beton een bijdrage levert aan de afgifte van alkalische componenten. Dit betekent dat in totaal 512 kg cement mortel (0.2 m^3 cement mortel, dichtheid 2560 kg/m^3) kan bijdragen aan een pH verhoging van het water. Uit deze gegevens valt te berekenen dat in totaal **491.028 meq** ($4.795 \times 512/5$) geneutraliseerd moet worden door het water, het sediment en door carbonatatie processen. Uitgaande van pH 7 zou dit bij instantane menging van cement mortel in het totaal volume water (beschouwd als ongecarbonateerd water) een pH van 13.1 opleveren. Neutralisatie door de diverse genoemde bronnen zorgt ervoor dat dit niet gebeurt, dit wordt hieronder nader toegelicht.

Gegevens oppervlaktewater

Het bufferend vermogen van water wordt ook wel uitgedrukt als het zuurbindend vermogen. Uit een rapport van Mol (1983) blijkt dat een zuurbindend vermogen van 0.5 meq/L als een reële waarde gezien kan worden. Het oppervlaktewater levert dan **2.000.000 meq** ($0.5 \times 4.000 \times 1.000$) voor neutralisatie.

Gegevens sediment

Voor de laag sediment wordt aangenomen dat dit een buffercapaciteit heeft van 42 meq/kg (gegevens ECN database). In dit scenario wordt aangenomen dat de bovenste 2 cm bijdraagt aan neutralisatie, dit resulteert in een totaal volume sediment van 40 m^3 (2.000 m^2 , 0.02 m hoog, dichtheid 1.500 kg/m^3). De totale neutralisatie door sediment bedraagt dan **2.520.000 meq** ($0.042 \times 60.000 \times 1.000$)

Gegevens carbonatatie

De atmosfeer bevat ongeveer 350 ppm CO₂ (dus 350/1.000.000 L CO₂/L lucht), dit komt overeen met 31 meq/m³ (22.4 L CO₂/mol, een mol CO₂ levert twee equivalenten). De diffusiecoëfficiënt van CO₂ in gas is 1e-5 m²/s. De CO₂ flux naar het wateroppervlak is dan 16.4 meq/m²/dag. In een maand tijd is dit dan **960.000 meq** (oppervlak is 2000 m²).

Resultaat

Samenvattend zal de betonwand ongeveer 491.028 meq afgeven. Dit wordt ruimschoots gecompenseerd door de 5.480.000 meq (2.000.000+2.520.000+960.000) die door het oppervlaktewater, het sediment en door carbonatatie geleverd wordt. Er wordt daarom geconcludeerd dat een dergelijk scenario geen effecten van verhoogde pH zal laten zien in de praktijk. Bij de interpretatie van dergelijke berekeningen dient te worden gerealiseerd dat aanpassing van aannamen onherroepelijk zal leiden tot andere uitkomsten. Het verschil in buffering van de betonwand en de neutraliserende processen (water, sediment, lucht) is in dit geval echter meer dan een factor 10. Dit biedt daarom zeker nog ruimte om aanpassingen in de aannamen te kunnen doen zonder dat de conclusies voor dit scenario veranderen.

5.1.2 Betonnen siervijver

Het is bij mensen die een betonnen siervijver hebben bekend (zie Bijlage III en diverse bronnen op internet) dat bij aanleg van een betonnen vijver nog enige tijd gewacht moet worden voordat de vissen en planten uitgezet kunnen worden. Het beton moet namelijk eerst uitloggen voordat de alkalische pH van het water weer neutraal wordt. Over het algemeen wordt geadviseerd om de betonnen bak na aanleg te vullen met water en om de inhoud wekelijks te verversen. Na drie verversingen is het beton voldoende uitgelogd zodat de organismen kunnen overleven.

Bij deze berekeningen wordt met een aantal aannamen berekend of de pH in een vijver na drie verversingen voldoende geneutraliseerd is om de vijver in gebruik te nemen. Deze berekeningen kunnen worden gezien als een soort (kwalitatieve) validatie van de modelleringresultaten en de bijbehorende aannamen.

Er wordt aangenomen dat de siervijver 3 m lang, 3 m breed en 1 m diep (watervolume is 9 m³) is. De bodem van het water bestaat uit een laag van 0.5 m sediment (totale diepte van bodem en waterlaag is 1.5 m). Het wateroppervlak dat in contact staat met het beton is dan 12 m² op. Het water heeft een pH van 7 (1e-4 meq/L) en zal door uitloging van alkalische componenten uit het beton in pH verhoogd kunnen worden. In dit scenario wordt tevens rekening gehouden met carbonatatie door CO₂ dat in de lucht aanwezig is. Het water wordt 4 maal verversen met een frequentie van 1 maal per week.

Gegevens betonnen vijver

Met behulp van de ECN database met uitlooggegevens is berekend dat cement mortel een gemiddelde buffercapaciteit (tot pH 7) heeft van 4.795 meq/kg (n=10). Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze buffercapaciteit op verkleind materiaal bepaald is, terwijl de betonnen wand een monoliet is. Om deze reden wordt een vertaalfactor van 5 gekozen om te compenseren voor de verminderde buffercapaciteit van de betonnen wand. Er dient ook iets te worden aangenomen omtrent de totale hoeveelheid beton die "meedoet" in de afgifte van alkalische componenten. Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat slechts de eerste 2 mm van het beton een bijdrage levert aan de afgifte van alkalische componenten. Dit betekent dat in totaal 61.4 kg cement mortel (0.024 m³ cement mortel, dichtheid 2560 kg/m³) kan bijdragen aan een pH verhoging van het water. Uit deze gegevens valt te berekenen dat in totaal **58.923 meq** (4.795*61.4/5) geneutraliseerd moet worden door het water, het sediment en door carbonatatie processen.

Gegevens oppervlaktewater

Het bufferend vermogen van water wordt ook wel uitgedrukt als het zuurbindend vermogen. Uit een rapport van Mol (1983) blijkt dat een zuurbindend vermogen van 0.5 meq/L als een reële waarde gezien kan worden. Het oppervlaktewater levert dan 4.500 meq ($0.5 \cdot 9 \cdot 1.000$) voor neutralisatie. In deze berekeningen wordt het water 4 maal ververst, dus het water levert in totaal **18.000 meq**.

Gegevens sediment

Voor de laag sediment wordt aangenomen dat dit een buffercapaciteit heeft van 42 meq/kg (gegevens ECN database). In dit scenario wordt aangenomen dat de bovenste 2 cm bijdraagt aan neutralisatie, dit resulteert in een totaal volume sediment van 0.02 m^3 (9 m^2 , 0.02 m hoog, dichtheid 1.500 kg/m^3). De totale neutralisatie door sediment bedraagt dan **11.340 meq** ($0.042 \cdot 270 \cdot 1.000$).

Gegevens carbonatatie

De atmosfeer bevat ongeveer 350 ppm CO_2 (dus $350/1.000.000 \text{ L CO}_2/\text{L}$ lucht), dit komt overeen met 31 meq/m^3 ($22.4 \text{ L CO}_2/\text{mol}$, een mol CO_2 levert twee equivalenten). De diffusiecoëfficiënt van CO_2 in gas is $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. De CO_2 flux naar het wateroppervlak is dan $16.4 \text{ meq/m}^2/\text{dag}$. In een maand tijd is dit dan **4.032 meq** (oppervlak is 9 m^2).

Resultaat

Samenvattend zal de betonnen bak ongeveer 58923 meq afgeven. Dit wordt voor ongeveer de helft gecompenseerd door de 33.372 meq ($18.000 + 4.032 + 11.340$) die door het water, het sediment en door carbonatatie geleverd wordt. In dit geval zou het water nog niet voldoende geneutraliseerd zijn. De schattingen die in dit scenario gedaan zijn leiden in ieder geval tot een verschil in neutralisatie capaciteit van een factor 2. De berekening geeft aan dat neutralisatie van het alkalische water in principe haalbaar moet zijn in ongeveer een maand tijd. Er dient hierbij te worden opgemerkt dat de afwijking in alle aannamen waarschijnlijk ook in deze orde ligt.

5.1.3 Siervijver aangelegd met staalslak

In dit scenario wordt de situatie van staalslak toepassing als oeverbescherming in stilstaand water gesimuleerd zoals toegepast in Getsewoud in 2001. Bij deze berekeningen wordt op basis van het bufferende vermogen van staalslak, het ontvangende water en de invloed van carbonatatie een schatting gemaakt van de neutralisatie balans.

Er wordt aangenomen dat de siervijver 3.500 m lang (gegevens situatie Getsewoud), 20 m breed (gegevens situatie Getsewoud) en 1 m diep (eigen aanname) is. Het totale watervolume is 70.000 m^3 . De bodem en de oeverbescherming zijn bedekt met een laag staalslak. Het wateroppervlak dat in contact staat met de staalslak is dan 33.000 m^2 . Het water heeft een pH van 7 ($1 \cdot 10^{-4} \text{ meq/L}$) en zal door uitloging van alkalische componenten uit staalslak in pH verhoogd kunnen worden. In dit scenario wordt tevens rekening gehouden met carbonatatie door CO_2 dat in de lucht aanwezig is.

Gegevens staalslak

Met behulp van de ECN database met uitlooggegevens is berekend dat staalslak een gemiddelde buffercapaciteit (tot pH 7) heeft van 2.802 meq/kg ($n=4$). Er dient ook iets te worden aangenomen omtrent de totale hoeveelheid staalslak die "meedoet" in de afgifte van alkalische componenten. Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat de eerste centimeter van de staalslak laag een bijdrage levert aan de afgifte van alkalische componenten (ter vergelijking, voor de beton scenario's werd gerekend met 2 mm. Staalslak is vrij grofkorrelig, water kan gemakkelijk toetreden). Dit betekent dat in totaal 1.023 ton staalslak ($33.000 \cdot 0.01 \text{ m}^3$ met een dichtheid van 3.150 kg/m^3) kan bijdragen aan een pH verhoging van het water. Uit deze

gegevens valt te berekenen dat in totaal **2.87e9 meq** ($2.802 \cdot 1.023 \cdot 1.000$) geneutraliseerd moet worden door het water, het sediment en door carbonatatie processen.

Gegevens oppervlaktewater

Het bufferend vermogen van water wordt ook wel uitgedrukt als het zuurbindend vermogen. Uit een rapport van Mol (1983) blijkt dat een zuurbindend vermogen van 0.5 meq/L als een reële waarde gezien kan worden. Het oppervlaktewater levert dan **3,5e7 meq** ($0.5 \cdot 70.000 \cdot 1.000$) voor neutralisatie.

Gegevens sediment

Voor de laag sediment wordt aangenomen dat dit een buffercapaciteit heeft van 42 meq/kg (gegevens ECN database). In dit scenario wordt aangenomen dat de bovenste 2 cm bijdraagt aan neutralisatie, dit resulteert in een totaal volume sediment van 1.400 m³ (70.000 m², 0.02 m hoog, dichtheid 1.500 kg/m³). De totale neutralisatie door sediment bedraagt dan **8.82e7 meq** ($0.042 \cdot 2.100.000 \cdot 1.000$).

Gegevens carbonatatie

De atmosfeer bevat ongeveer 350 ppm CO₂ (dus 350/1.000.000 L CO₂/L lucht), dit komt overeen met 31 meq/m³ (22.4 L CO₂/mol, een mol CO₂ levert twee equivalenten). De diffusiecoëfficiënt van CO₂ in gas is 1e-5 m²/s. De CO₂ flux naar het wateroppervlak is dan 16.4 meq/m²/dag. In een jaar tijd is dit dan **4.09e8 meq** (oppervlak is 70.000 m²).

Resultaat

Samenvattend zal de staalslak oeverbescherming ongeveer **2.87e9 meq** afgeven. Dit wordt voor slechts 18% gecompenseerd door de **5.32e8 meq** ($3.5e7 + 4.09e8 + 8.82e7$) die door het water, het sediment en door carbonatatie geleverd wordt. Zelfs wanneer rekening gehouden wordt met de onzekerheden in de schattingen is het op basis van deze vereenvoudigde berekening zeer aannemelijk dat er in deze situatie problemen met de hoge pH ontstaan.

5.1.4 Effect van reducerende eigenschappen van staalslak

Naast waargenomen effecten van verhoogde pH bij secundaire bouwstoffen, kunnen deze materialen ook reducerende condities aan hun omgeving opleggen. Het betreft hier vooral materialen van industriële smeltprocessen (zoals LD slakken) (van der Sloot et al. 1994). Een lage redox potentiaal kan ook optreden in dichte kleilagen boven grondwater en in sedimenten onder de waterspiegel, als mede in ongerijpte baggerspecie. Bij toepassing van dergelijke materialen zal afhankelijk van de mate van blootstelling aan de atmosfeer, neutralisatie van alkalische en oxidatie van reducerende materialen optreden.

In dit voorbeeld wordt de zogenaamde reducerende capaciteit van staalslak afgezet tegen de oxidatie capaciteit van de lucht en het (grond)water. Er is enerzijds gekozen om dit voorbeeld door te rekenen aan de hand van gegevens over staalslak omdat hiervan in de praktijk gezien is dat het materiaal voldoende reducerende capaciteit heeft om in voorkomende situaties voor problemen te zorgen. Anderzijds, zijn er gegevens beschikbaar van de reducerende capaciteit van dit materiaal.

Gegevens staalslak:

Er wordt aangenomen dat staalslak een reducerend vermogen heeft van 200 mmol O₂/kg en dat er een laag staalslak gebruikt is van 1 m hoog met een oppervlak van 1 m². In dit voorbeeld worden twee situaties doorgerekend, een situatie waar alle staalslak "meedoet" en een situatie waar 20% van de staalslak bijdraagt aan de reducerende condities. De dichtheid van de staalslak is 3.100 kg/m³, er is dan 620.000 mmol O₂ nodig om het pakket te oxideren. Onder de aanname dat 20% van het pakket bijdraagt aan verspreiding van reducerende condities zal 124.000 mmol O₂ nodig zijn.

Gegevens O₂ flux uit de atmosfeer

Wanneer alle O₂ volledig uit de lucht verwijderd wordt uit 0.5 m³ lucht/dag, dan is de flux 4918 meq/m²/dag. In een maand tijd betekent dit dan 147.531 meq/m². Als alle staalslak bijdraagt aan de verspreiding van reducerende condities, dan is na een maand ongeveer 23% van het pakket geoxideerd. Indien 20% van de staalslak bijdraagt, dan is het pakket in een maand tijd geoxideerd.

Deze berekeningen laten zien dat er zeker een initieel effect van de reducerende condities te verwachten is, dit is in overeenstemming met de redox metingen die ECN in Zwaag heeft uitgevoerd. De grootte van het effect en de tijd die nodig is om een pakket te oxideren zal in de praktijk afhangen van de mogelijkheden voor zuurstof om het pakket te bereiken en van het werkelijke percentage staalslak dat bijdraagt aan verspreiding van de reducerende omstandigheden.

Gegevens grondwater

De oxidatie capaciteit door grondwater lijkt onvoldoende te zijn om het pakket te neutraliseren. Geoxideerd grondwater bevat ongeveer 10 mg O₂/L, dit is 0.278 mmol O₂/L. Dit betekent dat er 446-2232 m³ grondwater nodig zou zijn om 1 m³ staalslak te oxideren.

5.1.5 Problemen met verstoppingen door calciëterslag bij staalslak toepassingen

Uit de praktijksituatie met staalslak toepassing in Zwaag blijkt dat er schade aan riolering en rioolgemalen ontstaan is. In Figuur 4.2 is al een voorbeeld gegeven van deze schade aan een pomp. Er vormt zich een dikke laag calciëterslag (CaCO₃) aan de wanden van de pomp. Hieronder wordt een schatting gemaakt van de mogelijk vrijkomende hoeveelheden calciëterslag vanuit een laag staalslak.

Gegevens staalslak

Het oppervlak is 1 m² en de infiltratie wordt geschat op 300 mm/jaar (gemiddelde Nederlandse infiltratie). Dit betekent dat er jaarlijks 300 liter water uit de laag staalslak percoleert. Volgens metingen van Unihorn B.V. is de calcium concentratie ongeveer 1000 mg/L (gegevens van L/S=10 schudtest). Deze concentratie komt goed overeen met metingen die bij ECN gedaan zijn aan staalslak monsters. Dit betekent dat de jaarlijkse calciumvracht 0.3 kg/m² (1000*300/1.000.000) is.

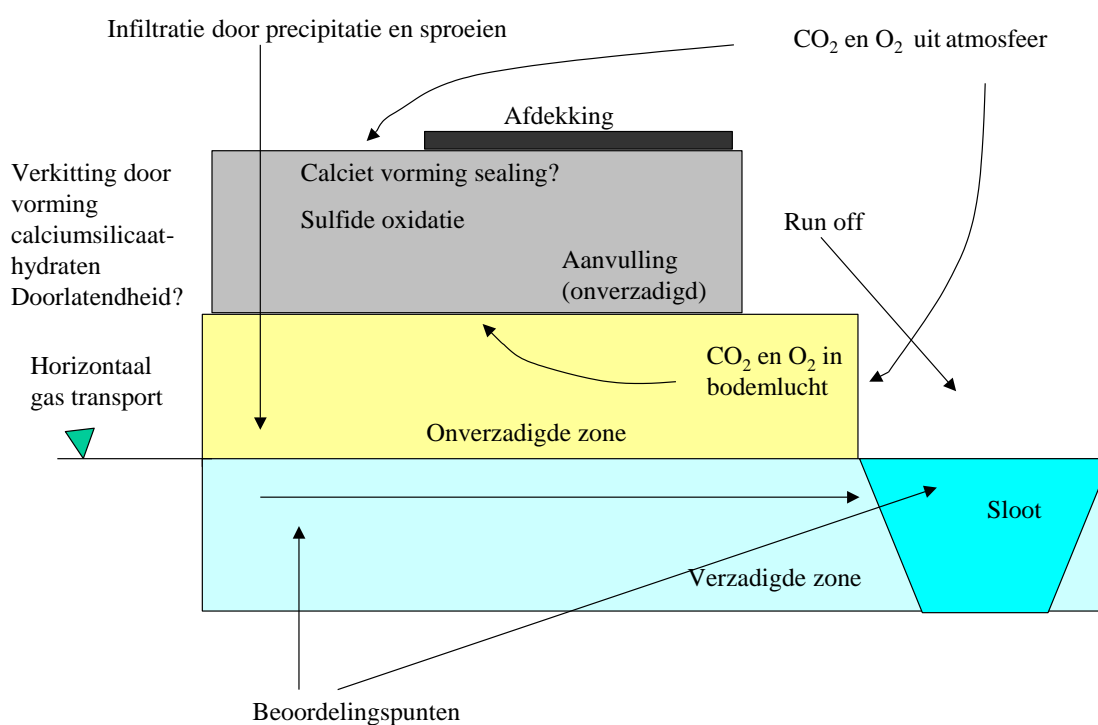
Wanneer wordt aangenomen dat alle vrijgekomen Ca omgezet wordt naar CaCO₃ door carbonatatie processen, dan betekent dit dat er jaarlijks 0.75 kg/m² calciëterslag gevormd wordt (1 mol Ca vormt 1 mol calciëterslag, dus 0.3*1000/40*100/1000). Als aangenomen wordt dat alle Ca omgezet wordt naar calciëterslag en op een punt precipiteert dan valt goed aannemelijk te maken dat hier in de praktijk problemen van kunnen komen.

6. Conceptueel model van de processen en interacties

Conceptuele beschrijving van de modelmatige aanpak en de relevante processen:

- Afgifte van alkalische componenten en reducerende species
- Carbonatatie en oxidatie
- Nat/droog cycli
- Waterverzadiging/partiele verzadiging
- Korrelgradatie
- Diffusie van gas en diffusie van reactanten in water
- Transport van de bron naar grond en oppervlaktewater
- Bufferwerking van ontvangende bodem

(Schematic scenario.doc en conceptueel model slakken.doc)



Figuur 6.1 *Schematische weergave van toepassing van secundaire bouwmaterialen in een ophoging. De genoemde chemische omzettingen zijn relevant voor materialen met een hoge pH en/of reducerende eigenschappen*

7. Modelling van pH - en redoxcondities

7.1 Transport modellering

Op basis van de pH en redox condities die in een materiaal ontstaan door een combinatie van alkalische (CaO, portlandiet, ed) en eventueel reducerende stoffen (S²⁻, Fe²⁺) kan door een toepassingsscenario te beschrijven het transport van alkaliniteit en reducerende species worden gekwantificeerd, waarbij met oxidatie en carbonatatie rekening kan worden gehouden. Bij de modellering van de oxidatie en neutralisatie snelheid van slakken wordt rekening gehouden met diverse korrelgradaties onder invloed van koolzuur en zuurstof uit de lucht in een verzadigd en onverzadigd systeem in stationaire condities (geen stroming) en bij een infiltratie van 300 mm/jaar en een verhoogde infiltratie om voorkeursstroming te simuleren.

Uit bestaande gegevens (LeachXS) worden input parameters afgeleid (op basis van beschikbare informatie over het uitlooggedrag van met name hoofdelementen en de aanwezigheid van organische stof, voor zover relevant) die in de transport modellering gebruikt worden om het effect van pH en redox te beschrijven. Recente ontwikkelingen op het gebied van geochemische modellering in combinatie met transport modellering maken het nu mogelijk om het effect zuurstof op de pH en de redoxpotentiaal te berekenen. Ook is er potentie om redox fronten te modelleren. Het model (ORCHESTRA) dient te worden aangepast zodat effecten van carbonatatie en opname van zuurstof berekend kunnen worden. De emissies vanuit bouwmaterialen naar oppervlaktewater kunnen berekend worden onder aannamen van de hoeveelheid ontvangend water en de eventuele stroomsnelheden. Door de hoeveelheid en het debiet in het model te variëren of door de hoeveelheid materiaal aan te passen kan de invloed van deze parameters berekend worden.

Om de snelheid van carbonatatie en oxidatie van een laag bouw materiaal te berekenen en effecten van korrelgradatie hierop te evalueren is in ORCHESTRA een reactief transport model geïmplementeerd dat de volgende processen beschrijft:

1. Evenwichtsprocessen via set chemische evenwichtsreacties (oplossen, neerslaan, adsorptie, complexatie, verdampen, oxidatie, reductie) voor uitgebreide set stoffen en reacties.
2. Transport van stoffen in en uit aggregaten via moleculaire diffusie in poriën.
3. Transport van CO₂ en O₂ in gasfase van macro poriën atmosfeer via bodem naar aggregaten.
4. Neerwaarts transport van stoffen via convectie in macro poriën (tussen aggregaten).

Belangrijkste inputparameters voor model:

1. Chemische samenstelling van aggregaten (totaal beschikbare hoeveelheden van stoffen)
2. Initiële pH en redox conditie in aggregaten
3. Grootte van aggregaten
4. Laagdikte toepassing
5. Partiele CO₂ en O₂ druk in de atmosfeer
6. Waterverzadigingstoestand van het profiel en aggregaten
7. Water flux

Discretisatie

Voor de berekeningen is het systeem in verticale richting opgedeeld in lagen van 10 cm dikte. Tussen deze lagen is transport via convectie en gasdiffusie mogelijk.

Deze lagen zijn niet homogeen, maar bevatten elk een bepaald volume aggregaatmateriaal dat is onderverdeeld in 10 afzonderlijke laagjes, van oppervlak van aggregaat naar kern. De verhouding tussen volume en oppervlak van deze laagjes wordt bepaald door de grootte van het

aggregaat. Tussen deze laagjes is transport via moleculaire diffusie mogelijk. Snelheid hiervan hangt af van porositeit en waterverzadiging van het aggregaat. In de aggregaten worden concentratieprofielen berekend. Deze concentratiegradiënten bepalen transport binnen aggregaat en ook de overdracht van aggregaat naar macro poriën.

Belangrijkste uitkomsten van modelberekeningen:

1. Berekenende concentraties van stoffen als functie van diepte (in profiel en aggregaat) en tijd.
2. Berekenende pH en redox profielen als functie van diepte en tijd
3. Verdeling van stoffen over verschillende fasen (opgelost, geadsorbeerd gasvormig etc.)
4. Concentraties opgeloste stoffen in bodemvocht (macro poriën)

Het model beschrijft hoe de chemische samenstelling van het bodemvocht in het bodem profiel verandert onder invloed van aan het oppervlak toetredende zuurstof en koolzuurgas.

Een belangrijk aspect hierbij is dat het model onderscheid maakt tussen de chemie van het water in de macro poriën (en doorstromende water) en de chemische samenstelling van het materiaal in de aggregaten.

Resultaten

De chemische samenstelling van het poriewater wordt in grote lijnen bepaald door evenwicht tussen twee processen:

1. snelheid van gasdiffusie van zuurstof en koolzuurgas uit atmosfeer naar beneden
2. snelheid van moleculaire diffusie van alkaliniteit en reducerende stoffen uit aggregaten naar buiten.

Als het eerste proces domineert resulteert dit in geoxideerde omstandigheden met een neutrale pH. Dominantie van het tweede proces leidt tot sterk gereduceerd, basische omstandigheden.

De snelheid van het eerste proces is vooral afhankelijk van de diepte in het profiel, en de waterverzadigingstoestand.

Het tweede proces wordt sterk beïnvloed door grootte van aggregaten (diffusie oppervlak en afstand tot macro poriën).

De diepte waarop beide processen in evenwicht zijn vormt de grens tussen geoxideerde en gereduceerde (en neutrale en alkalische) omstandigheden.

Samenstelling macro poriën bepaald samenstelling doorstromend grond/bodemwater.

Grote aggregaten (> 25 mm), onverzadigde bodem bevorderen grote dikte van geoxideerde gecarbonateerde laag.

Waterverzadiging belemmert gasdiffusie en zo oxidatie en carbonatatie.

Kleine aggregaten (< 4mm) (ook als maar een deel van materiaal in kleine fractie aanwezig is) hebben een groot oppervlakte en korte afstand van materiaal tot buitenkant, en dus een veel snellere uitwisseling van materiaal naar poriewater.

Kleine aggregaten beïnvloeden bovendien ook de fysische gasdoorlatendheid van de bodem negatief. (remmen proces 1, bevorderen proces 2).

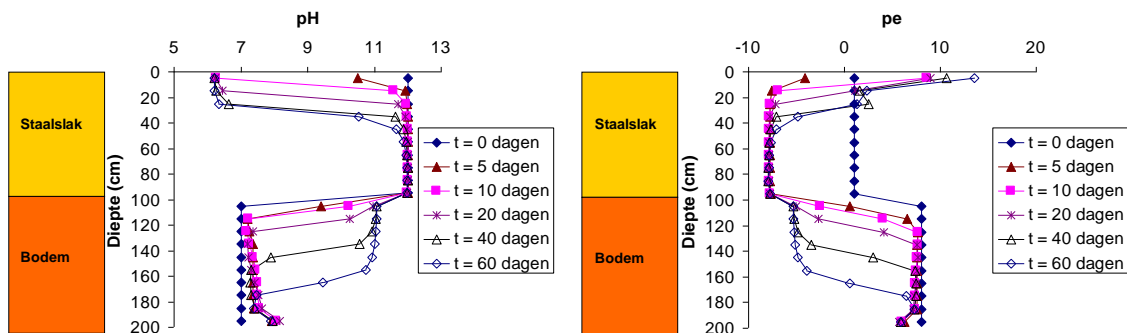
In Orchestra is een model beschreven om naast uitspoeling CO₂ en O₂ diffusie in een slak laag te beschrijven. Condities:

- <4 mm verzadigd
- < 4mm onverzadigd
- < 4 mm onverzadigd met stroming
- ca. 40 mm verzadigd

- ca. 40 mm onverzadigd
- 40 mm onverzadigd met stroming

In Figuur 7.1 is een voorbeeld resultaat opgenomen van de modelberekeningen. In de rekenscenario's is steeds aangenomen dat 1 m staalslak bovenop 1 m grond geplaatst is. Vervolgens is een bepaalde infiltratie aangenomen (range: 0-3000 mm/jr om ook effect van extreme infiltratie mee te nemen) en er zijn aannames gedaan over de hoeveelheid O₂ en CO₂ die zowel van boven als van onderen het pakket kan bereiken. Figuur 7.1 laat de pH en pe (-log(Eh)) zien na 0, 5, 10, 20, 40 en 60 dagen infiltratie. Uit de Figuur is te zien dat de pH en pe aan de bovenzijde van het staalslak pakket binnen afzienbare tijd geneutraliseerd raakt door reactie met CO₂ (pH effect) en O₂ (pe-effect). Het neutralisatie front dringt naar verloop van tijd steeds dieper in het pakket staalslak.

Daarnaast toont Figuur 7.1 de indringing van verhoogde pH en verlaagde pe in het onderliggende bodempakket. Ongeveer 60 cm van de onderliggende bodem is na 60 dagen beïnvloedt door verhoogde pH en verlaagde pe. Afhankelijk van de aannames die gedaan worden bij de modelberekeningen kan het front zich dieper in de bodem verspreiden of zich zelfs terugtrekken bij voldoende neutralisatie capaciteit. In Bijlage II zijn de resultaten van de modellering samengevat.



Figuur 7.1 *Resultaat modelberekening pH en redoxpotiaal als functie van tijd en diepte. In de berekening is 1 m staalslak bovenop 1 m bodem geplaatst en is de verplaatsing van het pH en Eh front over een periode van 60 dagen berekend (staalslak korrelverdeling: 40/10/1 mm = 62/29/9%, infiltratie is 300 mm/yr)*

Het algemene beeld van de modellering is dat de korrelgrootte, de hoeveelheid CO₂ in de bodem en de infiltratie sterk bepalend zijn voor de indringingsdiepte van pH en pe. De voorlopige conclusie is dat in geval van diffusiegecontroleerde afgifte, er in de materiaaleigenschappen weinig verandert. Dit betekent dat werkzaamheden in het pakket (na aanleg) weer tot dezelfde hoge pH en reducerende eigenschappen aanleiding geven. De emissie naar de omgeving kan beperkt blijven, mits toevoer van koolzuur en zuurstof gegarandeerd blijft. Deze omstandigheid kan ontstaan door cementatie (te checken met doorlatendheid), door sealing ten gevolge van calcië precipitatie in het aan de atmosfeer blootgestelde oppervlak en door afdekking met een waterondoorlatende laag (inclusief afdekking aan de randen). Toepassing van grof korrelige slak leidt in de meeste gevallen tot dusdanig beperkte emissie van alkalische en reducerende stoffen, dat onder normale blootstelling aan koolzuur en zuurstof uit de lucht en of bodemlucht geen sprake zal zijn van ongewenste emissies. Bij uitgestrekte toepassingen (naar verwachting > 20 m, dient geverifieerd te worden door praktijkonderzoek), waarbij zuurstof en koolzuur over grote afstanden moeten diffunderen, kan in het midden van de toepassing een risico voor hoge pH en reducerende condities in grondwater ontstaan. Bij toepassing van fijnkorrelige materialen met een hoog ZNV en/of reducerende condities zal in veel gevallen een verhoogd risico op emissies bestaan. Nu nog niet waargenomen effecten of in beperkte mate waargenomen effecten zijn toe te schrijven aan neutralisatie/oxidatie in de bodem. De buffercapaciteit van de bodem is beperkt en kan op termijn overschreden worden.

7.2 Indicatieve berekeningen toepassing-effect relaties voor toepassing op bodem

Vanuit de praktijk is al bekend dat een aantal toepassingen geen problemen geeft en dat in een aantal gevallen wel problemen met hoge pH en/of reducerende condities opgetreden zijn. De gedetailleerde model transportberekeningen hebben aangegeven welke processen belangrijk zijn bij het optreden van hoge pH en/of reducerende condities. Om de grenzen van acceptabele toepassingsscenario's van verschillende materialen vast te stellen dienen veel aanvullende modelberekeningen uitgevoerd te worden. De transportberekeningen met een dergelijk complex systeem echter zeer tijdrovend (enkele dagen op een 4-processor PC). Daarom worden de grenzen voor relevante toepassingsscenario's met verschillende materialen in deze paragraaf op een versimpelde manier berekend. De uitgangspunten voor deze berekeningen zijn wel overeenkomstig met de gedetailleerde modelberekeningen.

Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat er een laag materiaal (variërend in laagdikte) wordt aangebracht op een laag bodem. Afhankelijk van de toepassing is het werk afgedekt (met bijvoorbeeld straatstenen of asfalt). Bij elk toepassingsscenario wordt vervolgens een bijbehorend volume materiaal gekozen en wordt de infiltratie van regenwater geschat (300 mm voor open toepassing, 100 mm voor toepassing onder bestrating en 10 mm onder asfalt). Ook worden aannamen gedaan over het zuurneutraliserend vermogen als functie van de korrelgrootte (dit is gemeten voor staalslak en geëxtrapolerd naar de andere materialen). De neutralisatie door CO₂ vanuit de lucht en de bodem is gelijk gesteld voor alle scenario's, het oppervlak van de toepassing is wel verdisconteerd (groter oppervlak betekent meer CO₂ beschikbaar). Vervolgens wordt berekend wat de resulterende pH onder het werk (laag materiaal en laag van 1 m bodem) is na 1 jaar na de aanleg van de toepassing.

De resultaten van deze indicatieve berekeningen zijn weergegeven in Tabel 7.1. De Tabel geeft per scenario de berekende pH waarde aan. Met kleuring is aangegeven welke pH waarden acceptabel (groen), waarschijnlijk in praktijk acceptabel (licht oranje) en onacceptabel (oranje en rood) zijn. In deze rekenmethode is de redoxpotentiaal niet meegenomen. Er kunnen daarom geen uitspraken gedaan worden over de effecten van reducerende omstandigheden als gevolg van de toepassingen.

De uiteindelijke pH in het milieu bepaalt het effect van het bouw materiaal. Aan de hand van Tabel 7.1 (of een verbeterde versie die gebaseerd is op praktijkwaarnemingen) zouden normen voor het zuurneutraliserend vermogen (ZNV) en de korrelgrootte voor de toepassing afgeleid kunnen worden.

Tabel 7.1 *Indicatieve berekeningen van pH waarden bij diverse toepassingsscenario's van verschillende materialen. De pH waarden (direct onder de bouwstof) zijn berekend op het tijdstip 1 jaar na aanleg van het werk. De vet gedrukte ANC waarden zijn aangenomen op basis van een schatting. De kleuren geven een indicatie van mogelijke toepassing scenario's: Groen betekent vrije toepassing, lichtbruin betekent toepassing met restricties, oranje betekent toepassing na beoordeling van situatie en omgevingscondities, rood betekent geen toepassing of onder strikte aanvullende maatregelen*

	Materiaal	Type	Staalslak				HO slak				Beton en betongranulaat			Bodemass		
			Granulair			Monoliet	Granulair			Monoliet	Granulair		Monoliet	Granulair		
			0-20 mm	0-40 mm	> 40 mm	> 40 mm	< 4 mm	0-20 mm	0-40 mm	> 40 mm	< 4 mm	0-20 mm	0-40 mm	> 40 mm	< 4 mm	0-20 mm
ANC (mol/kg)	4.27	1.18	0.94	0.055	2	0.5	0.3	0.02	4	0.9	0.7	1	0.3	0.2		
Laagdikte (cm)	Afstand tot GW (cm)															
Toepassingen																
Waterbouw, Oeverbescherming																
	Stromend	nvt														
	Stagnant	nvt														
	Stagnant na voorbereiding	nvt														
	Stagnant groot volume	nvt														
Wegenbouw																
Half verharding																
	Fietspad (100*2m)	10-15	>50													
	Erf (50*30m)	15-50	> 50													
	Industrieterrein (500*500m)	30-50	>50													
Afdekking (bestrating)																
	Vleilaag (100*8m)	10-15	> 50													
	Wegfundering (100*8m)	30-50	> 50													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	> 50													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	> 50													
	Wegfundering (100*8m)	30-50	10-20													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	10-20													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	10-20													
	Wegfundering (100*8m)	30-50	0													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	0													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	0													
Afdekking (asfalt)																
	Wegfundering (100*8m)	30-50	> 50													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	> 50													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	> 50													
	Wegfundering (100*8m)	30-50	10-20													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	10-20													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	10-20													
	Wegfundering (100*8m)	30-50	0													
	Industrie terrein (500*500m)	30-50	0													
	Dphoging/aanwilling (500*500m)	50-150	0													
Beton en cement																
	Vulstof#															
	Partiele zandvenangning #															
	Aggregaat															
Asfalt productie																
	Vulstof#															
	Partiele zandvenangning #															
	Aggregaat															

* Kan mogelijk bij aanleg tijdelijk enigszins verhoogde concentraties opleveren, die na enige tijd verdwijnen

Technische mogelijkheden/beperkingen op dit moment onbekend. Voordeel: door reducerende eigenschappen wordt CrVI uit Portland omgezet in Cr III (niet kritisch).

Uit Tabel 7.1 kunnen een aantal deelconclusies worden getrokken:

- Bij een onafgedekte (open) toepassing ontstaan bij toepassingshoogten van meer dan 50 cm en gradaties met korrelgrootte van minder dan 6 mm naar alle waarschijnlijkheid op kortere of langere termijn problemen met de beïnvloeding van bodem en grondwater door een hoge pH waarde.
- Door afdekking met een water ondoorlatende afdekking (bijv. asfalt) kan de infiltratie dusdanig gereduceerd worden dat de toevoer van gassen (O₂ en CO₂) kan voorkomen dat het pH en redox front het grondwater bereikt mits de onverzadigde zone minimaal 50 cm bedraagt en de onderliggende bodem redelijk gasdoorlatend is. In geval van klei of veen is nog onduidelijk in welke mate alleen de neutralisatie door "zuur" veen voldoende buffering oplevert (zonder invloed van CO₂ uit de atmosfeer).

- Op grond van het feit dat alleen door neutralisatie met koolzuur en oxidatie door bodemlucht voorkomen kan worden dat een pH front c.q. een redox front de bodem indringt en uiteindelijk tot het grondwater doordringt, is het van belang dat een minimale afstand van de onderzijde van de toepassing tot de hoogste grondwaterstand wordt aangehouden. Vooral nog wordt daarvoor minimaal 50 cm voorgesteld. Het is op dit moment nog niet duidelijk welk punt (bijvoorbeeld GHG) als basis dient voor de vaststelling van een minimale hoogte van 50 cm. Dit punt dient in ieder geval zo gekozen te worden dat dit een inherent veilige situatie oplevert.
- In geval van halfverharding mag alleen bij toepassing van relatief dunne lagen (< 15 cm) van relatief fijnkorrelig materiaal (< 6 mm) een beperkt en tijdelijk pH effect verwacht worden.
- Uit de modellering blijkt dat het pH front en het redox front ongeveer gelijke tred houdt met elkaar. Dat hoeft overigens niet in alle omstandigheden zo te zijn, maar als eerste benadering lijkt het een redelijke aanname, die door metingen in de praktijk geverifieerd dient te worden. Omdat de pH en redox via een groot aantal processen zijn gekoppeld zal in de praktijk redox en pH front samenvallen.

7.3 Indicatieve berekeningen toepassing-effect relaties voor toepassing op waterbodem

In deze paragraaf worden de toepassing-effect relaties voor toepassing van bouwstoffen op de waterbodem berekend. Deze indicatieve berekeningen zijn niet met de geavanceerde transportberekeningen uitgevoerd. De effecten van de toepassing worden op een vereenvoudigde manier berekend. Echter, de uitgangspunten voor deze berekeningen zijn wel in overeenstemming met de gedetailleerde modelberekeningen. De gebruikte gegevens en uitgangspunten voor deze indicatieve berekeningen zijn weergegeven in Tabel 7.2. Het resultaat van de berekeningen staat in Tabel 7.3.

Bij deze berekeningen wordt aangenomen dat er een laag materiaal (0.01 m van de totale laagdikte levert alkaliniteit) wordt aangebracht op een laag waterbodem. Bij elk toepassingsscenario wordt vervolgens een bijbehorend volume materiaal (bouwstof en sediment) gekozen en wordt het watervolume geschat (voor poldersloot, klein kanaal en middelgrote rivier). Ook worden aannamen gedaan over het zuurneutraliserend vermogen als functie van de korrelgrootte (dit is gemeten voor staalslak en geëxtrapolerd naar de andere materialen). De neutralisatie door CO_2 vanuit de lucht en de bodem is gelijk gesteld voor alle scenario's, het oppervlak van de toepassing is wel verdisconteerd (groter oppervlak betekent meer CO_2 beschikbaar). Vervolgens wordt berekend wat de resulterende pH onder het werk (laag materiaal en laag van 1 m bodem) is na 1 jaar na de aanleg van de toepassing.

Tabel 7.3 laat de buffercapaciteiten zien van het omringend milieu ten opzichte van de capaciteit van een alkalische bouwstof. De totale buffercapaciteit van beide materialen dienen met elkaar vergeleken te worden om een inschatting te kunnen krijgen van een mogelijke maximale buffercapaciteit limiet voor toepassing. Op basis van deze indicatieve berekeningen kan worden afgeleid dat de buffercapaciteit van een poldersloot ongeveer net zo groot is als de buffercapaciteit van een laag bouwstofmateriaal van 20 cm dik in dit water (aanvullende specificaties in Tabel 7.2). Daarnaast laat Tabel 7.3 zien dat de buffercapaciteit van de bouwstof minder kritisch is bij toepassing in een middelgrote rivier. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de grotere dimensies van dit type waterweg.

Tabel 7.2 *Gegevens toepassing-effect scenario's zoals uitgewerkt in Tabel 7.3*

Parameter	Eenheid	Poldersloot				Klein kanaal		Middelgrote rivier	
		stilstaand	zeer traag stromend	traag stromend	matig stromend	stilstaand	stromend	matig stromend	stromend
Lengte aanleg:	m	400	400	400	400	400	400	400	400
Breedte bodem	m	3	3	3	3	21	21	45	45
Breedte wateroppervlak	m	7	7	7	7	29	29	55	55
Gemiddelde breedte watergang	m	5	5	5	5	25	25	50	50
Bodem oppervlak	m ² /m	3	3	3	3	21	21	45	45
Oever oppervlak	m ² /m	4.5	4.5	4.5	4.5	9	9	11.7	11.7
Diepte	m	1	1	1	1	2	2	2.6	2.6
Stroomsnelheid	m/s	0	0.003	0.003	0.03	0	0.03	0.03	0.3
Debiet	m ³ /s	0	0.015	0.015	0.15	0	1.5	3.9	39
Laagdikte oever	m	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Direct werkende laagdikte bouwstof	m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Laagdikte op bodem	m	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
'Direct werkende' laagdikte sediment	m	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Lengte mengzone:	m	50	50	50	50	250	250	500	500
1* verversing toepassingslengte:	dag	-	0.310	0.310	0.031	-	0.0031	0.00119	0.00012
1* verversing mengzone:	dag	-	0.039	0.039	0.004	-	0.0019	0.00149	0.00015

Tabel 7.3 *Berekende buffercapaciteit (meq/kg) van verschillende materialen en hun toepassingsscenario's in de waterbouw. Eerst wordt de totale buffercapaciteit van het omringend milieu berekend. Deze capaciteit wordt vergeleken met de buffercapaciteit van verschillende bouwstoffen met 30, 300 en 3000 meq/kg*

Gegevens omringend milieu	Poldersloot				Klein kanaal		Middelgrote rivier	
	stilstaand	stromend	stromend	stromend	stilstaand	stromend	stromend	stromend
(Eenheid: meq)								
Stroomsnelheid	-	zeer traag	traag	matig	-		matig	
sediment deel aanleg	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.5E+06	1.1E+07	1.1E+07	2.3E+07	2.3E+07
sediment deel mengzone	-	1.9E+05	1.9E+05	1.9E+05	-	6.6E+06	2.8E+07	2.8E+07
water initieel aanlegzone:	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+06	1.0E+07	1.0E+07	2.6E+07	2.6E+07
water initieel mengzone:	-	1.3E+05	1.3E+05	1.3E+05	-	6.3E+06	3.3E+07	3.3E+07
initieel uit de lucht in de aanlegzone:	4.5E+04	4.5E+04	4.5E+04	4.5E+04	1.9E+05	1.9E+05	3.5E+05	3.5E+05
initieel uit de lucht in de mengzone:	-	5.6E+03	5.6E+03	5.6E+03	-	1.2E+05	4.4E+05	4.4E+05
	+ -----	+ -----	+ -----	+ -----	+ -----	+ -----	+ -----	+ -----
Totaal omringend milieu	1.0E+06	1.2E+06	1.2E+06	1.2E+06	1.0E+07	1.7E+07	5.9E+07	5.9E+07
Gegevens bouwstof	Poldersloot				Klein kanaal		Middelgrote rivier	
	stilstaand	stromend	stromend	stromend	stilstaand	stromend	stromend	stromend
(Eenheid: meq)								
		zeer traag	traag	matig			matig	
Buffercapaciteit bouwstof 30 meq/kg:	1.2E+06	1.2E+06	1.2E+06	1.2E+06	2.4E+06	2.4E+06	3.1E+06	3.1E+06
Buffercapaciteit bouwstof 300 meq/kg:	1.2E+07	1.2E+07	1.2E+07	1.2E+07	2.4E+07	2.4E+07	3.1E+07	3.1E+07
Buffercapaciteit bouwstof 3000 meq/kg:	1.2E+08	1.2E+08	1.2E+08	1.2E+08	2.4E+08	2.4E+08	3.1E+08	3.1E+08

8. Gezondheid- en milieurisico's bij toepassing van materialen met een pH- en/of redoxeffect

8.1 Gezondheidsrisico's

De gezondheidsrisico's bij toepassingen van staalslak zijn recentelijk bestudeerd. Een aantal klachten van werknemers bij de Arbeidsinspectie heeft geleid tot het verschijnen van een rapport dat richt op de risico's voor werknemers bij directe blootstelling aan staalslak¹. Onder meer de situatie in Akkrum (zie casus) heeft geleid tot een onderzoek naar humane blootstellingsrisico's van LD slakken, in opdracht van de VROM-Inspectie Regio Noord². Dit rapport richt zich op de risico's voor de volksgezondheid. Daarnaast heeft Corus een onderzoek uitgevoerd naar de karakterisering van staalslak stof³, naar aanleiding van vragen van de Arbeidsinspectie. Er dient te worden opgemerkt dat onderstaande discussie over staalslak ook geldt voor andere alkalische materialen zoals cement, beton- en menggranulaat en AVI-bodemas. De documentatie van de Arbeidsinspectie richt zich echter op het gebruik van staalslak naar aanleiding van geconstateerde problemen met deze toepassing.

Allereerst moet worden opgemerkt dat de uitgangspunten van deze documenten nogal verschillen: de blootstellingsrisico's voor de algemene volksgezondheid zijn heel anders dan blootstellingsrisico's voor werknemers die in direct contact staan met de slaktoepassing in een werk. Voor werknemers die in een arbeidssituatie gelden de volgende blootstellingsroutes¹:

- inademing of inslikken van stof afkomstig van het materiaal
- directe contact van de (vochtige) huid aan CaO of Ca(OH)₂, of met CaO verontreinigd (grond)water en;
- inademing van aërosolen afkomstig van het verontreinigde en sterk alkalische water.

Voor de beoordeling van risico's voor de volksgezondheid is de blootstellingroute via direct contact van de huid met CaO verontreinigd water niet meegenomen. Direct contact van stof met de (vochtige) huid of aanraking van sterk alkalisch water met de huid kan leiden tot irritatie, blaarvorming en chemische brandwonden.

In beide gevallen richten de rapporten zich vooral op de aanwezigheid van calciumoxide (CaO), die in contact met water een zeer hoge pH veroorzaakt. Beide documenten noemen de inhalatie route als de belangrijkste blootstellingroute. De arbeidsinspectie noemt als primair risico de acute gezondheidsschade die kan optreden binnen enkele uren na blootstelling en bij hoge blootstelling met fatale gevolgen. De blootstelling aan (nat) cement via huidcontact kan zeker gezondheidseffecten met zich meebrengen. Door huidcontact met het sterk basische cement kunnen ernstige brandwonden ontstaan. Deze problemen doen zich jaarlijks voor, voornamelijk bij werkzaamheden van mensen in hun eigen huis. Een ander risico van het gebruik van cement is het zeswaardig chroom dat hierin aanwezig is. Dit is een stof waarvan bekend is dat ze irritatie, ulcera (ontstoken brandwonden) en huidallergieën veroorzaakt en kankerverwekkend is.

Als secundair risico noemt de arbeidsinspectie de blootstelling aan andere componenten van de staalslak (gecombineerde blootstelling) door het oplossen van de kristallijne stofdeeltjes in de

¹ A. Bax, Team Vakgroep Arbeidshygiëne: "De inspectiemodule secundaire bouwstoffen; handhaving bij werkzaamheden in, op of met Converterslak, Staalslak of LD-slak" versie 3 oktober 2005.

² Concept briefrapport van M.H. Broekman - RIVM, - "Onderzoek humane blootstellingsrisico LD staalslakken" - 1 november 2005.

³ PowerPoint presentatie van S. van der Laan - Corus en H. Schoenmaker - Pelt & Hooykaas: "Karakterisering stoffractie staalslak" - 31 augustus 2005.

longen waardoor andere elementen vrijkomen (carcinogene zware metalen worden genoemd als voorbeeld). Dit laatste is echter geheel niet onderbouwd in het rapport van de arbeidsinspectie.

Hierna volgt een rekenvoorbeeld van dit secundaire effect voor lood. Lood is één van de meest schadelijke zware metalen voor de mens. De staalslak bevat (volgens rapport van de Arbeidsinspectie) 8 mg/kg lood. De maximaal aanvaardbare concentratie (MAC)-waarde van lood is 0,15 mg/m³ en de PTWI (provisional tolerable weekly intake) van lood is 25 µg per kg lichaamsgewicht (volgens de WHO guidelines for drinking water). Voor een gemiddeld lichaamsgewicht geldt dus dat er wekelijks een opname van 65 kg * 25 µg = 1.6 mg mag plaatsvinden. Veronderstellend dat alle lood die met het stof in de longen komt ook daadwerkelijk vrijkomt en opgenomen wordt door het lichaam, betekend dat er wekelijks 1.6 mg / 8 mg/kg = 0.203 kg stof ingeademd mag worden. Dus het gecombineerde effect veroorzaakt door het vrijkomen van verontreinigingen uit kristallijne deeltjes in de longen lijkt in dit specifieke geval van lood niet erg waarschijnlijk. Ook andere carcinogene zware metalen zitten in vergelijkbare lage concentraties dat er een onwaarschijnlijke hoeveelheid stof ingeademd zou moeten worden om dit secundaire effect op te laten treden.

Algemeen geaccepteerd is dat stofdeeltjes met een hoge pH een irriterende werking hebben op luchtwegen en slijmvliezen en bij direct contact aan de huid. Er is dan ook een MAC-waarde (maximaal aanvaardbare concentratie) vastgesteld voor CaO in de lucht in een arbeidssituatie van 2 mg/m³ en voor Ca(OH)₂ bedraagt de MAC-waarde 5 mg/m³. Volgens het RIVM kan de gezondheidkundige grenswaarde voor inhalatoire blootstelling van de algemene bevolking lager geschat worden.

De belangrijkste conclusie van het RIVM briefrapport is dat bij normaal gebruik of bij het verwijderen van kleine hoeveelheden slakken er geen risico's voor de volksgezondheid zullen optreden. Bovendien neemt het blootstellingsrisico af naarmate de slak verouderd (door carbonatatie). Het is echter niet bekend hoe lang deze verouderingsprocessen duren.

In de weergave van de samenstelling van de door RIVM bemonsterde LD-staalslak uit Akkrum wordt de gemeten hoeveelheid Ca ook uitgedrukt als CaO. Dit betekent niet dat alle Ca als CaO aanwezig zou zijn, maar geeft een handvat om een maximum pH te berekenen. Het totaal Ca gehalte in staalslak uitgedrukt als CaO is 39 - 45% m/m CaO. Het aandeel vrije kalk in deze 40 % zorgt voor de hoge pH.

Uit de karakterisering van de stoffractie van staalslak door Corus blijkt dat de fractie < 63 µm voor 60% uit CaCO₃ bestaat, voor 25% uit primaire slakmineralen waaronder het calciumsilicaat larniet (2CaO.SiO₂) en calciumferriet (2CaO.Fe₂O₃). en verder overige mineralen (magnetiet en hematiet ~13% en kwarts ~ 3,5%). Het aanwezige calciumsilicaat reageert met water om calcium silicaat hydraten en portlandiet (Ca(OH)₂) te vormen. De gemeten pH van de fractie < 63 µm (na 15 minuten) was 10.2, en wordt grotendeels veroorzaakt door de aanwezige larniet.

Blijkbaar is de mineralogische samenstelling van de stoffractie niet rechtstreeks te extrapoleren uit de samenstelling van het grove materiaal en heeft door carbonatatie van de stoffractie al een afname van de zuurgraad plaatsgevonden. Hiermee is echter geen rekening gehouden in het rapport van de Arbeidsinspectie (waarin wordt gesproken over een pH > 11), noch het rapport van RIVM.

De genoemde effecten zullen ook in meer of mindere mate een rol spelen bij toepassingen van materialen als cement, beton- en menggranulaat, AVI-bodemas en hoogovenslakzand. Er is op dit moment echter geen kwantitatieve informatie over andere materialen beschikbaar.

8.2 Milieurisico's

Toepassing van materialen met een pH of redox potentiaal, die afwijkt van de omgeving, hoeft niet automatisch direct te leiden tot een probleem voor milieu en gezondheid. Door koolzuur uit de bodem en uit de lucht wordt een te hoge pH gecompenseerd. Ook ten aanzien van een lage redox geldt dat bij voldoende toetreding van zuurstof oxidatie optreedt en het effect verdwijnt. Echter teveel op een specifieke plaats is niet aanvaardbaar, omdat de toevoer van koolzuur en of zuurstof te traag is om de effecten door percolatie bij te houden. Oppervlakte water en het bovenste grondwater dient in principe geoxideerd te zijn (Eh ca. 50 mV bij pH 7). Een lozing op oppervlaktewater is in het algemeen acceptabel wanneer de pH in de mengzone tussen de 6,5 en 9 blijft. Buiten de mengzone mag de pH door een lozing slechts beperkt veranderen ten opzichte van de natuurlijke pH ter plaatse.

Oppervlaktewater

Voor oppervlaktewater geldt dat pH>10 een kritieke waarde is en er boven deze pH waarde onomkeerbare nadelige ecologische effecten plaatsvinden voor zowel flora als fauna. Vissterfte treedt op bij hoge pH waarden door alkose. Alkose is een verstoring van het zuur-base evenwicht door ophoping van alkalische reststoffen in het lichaam waardoor het bloed alkalischer wordt dan normaal. Alkose kan al optreden bij een pH waarde boven de 8, hoewel dit vissoort- en locatie-specifiek is. Bij een plotselinge verandering in pH (acuut) kan er massale vissterfte optreden. Bij chronisch optreden van een pH stijging kan de vis zich eerst nog goed aanpassen en kan het lang duren voor de vis dood is. Als gevolg van basisch water wordt kieuw en vinweefsel vernietigd en kunnen melkachtige plakken en rode huidgedeelten te zien zijn, voornamelijk aan de buik.

De normen voor lozingen op oppervlakte water worden bepaald door de waterbeheerder (dat kan RWS zijn voor de grotere wateren of de waterschappen voor de kleinere wateren). De waterbeheerder verleent de vergunning voor een lozing, op basis van een aantal factoren waaronder het aantal vervuilingseenheden, grootte van het ontvangende waterlichaam. pH is altijd wel een parameter die wordt meegenomen in vergunningen voor lozingen. In het geval van Hoorn/Zwaag wordt een pH van 9 genoemd als bovengrens voor het drainwater. Zuurstofloosheid van water zou dat in principe ook moeten zijn, maar wordt in geen enkele casus genoemd. pH lijkt toch de sturende factor te zijn voor de acceptatie van een lozing.

Bodem en grondwater

Het bodemleven is sterk afhankelijk van pH en redox status van de bodem. Afwijkingen van min of meer neutrale condities leiden tot verstoring van bestaande evenwichten (o.a. mogelijke DOC mobilisatie). In een aantal gevallen zullen verstoringen van tijdelijke aard zijn en kan de natuurlijke situatie binnen afzienbare tijd hersteld worden. Hierbij dient te worden opgemerkt dat bepaalde bodemsystemen van nature reducerend kunnen zijn (bijvoorbeeld sedimenten). Het gaat er bij de milieu-effecten dus vooral om of er een verstoring is van de natuurlijke situatie. Daarnaast gaat het er vervolgens om of die verstoring dusdanig van aard is (qua tijd en effect) dat deze acceptabel is voor het bevoegd gezag.

9. Ontwikkeling van opties voor beoordeling en eventuele criteria

In de huidige regelgeving wordt beperkt aandacht gegeven aan pH (zuurgraad) en/of zuur/base neutraliserend vermogen en Eh (Redox) en/of redox capaciteit als kwaliteitsparameter bij de beoordeling van grond, sediment, bouw- en afvalstoffen. In enkele regelingen is in algemene termen een range aangegeven, waar de pH binnen zou moeten blijven. Het Indicatief Meerjaren Programma (IMP) 1980-1984 beschrijft dat de pH in water aan een absolute norm gebonden is en niet buiten het pH-traject 6.5 tot 9 zou moeten komen. In het IMP 1985-1989 worden ecologische kwaliteitsdoelstellingen voor een 15-tal typen oppervlaktewateren beschreven waarbij de pH trajecten aangegeven worden. Hierbij worden naast criteria voor pH ook normen voor opgelost zuurstof beschreven. De pH waarden die in dit document genoemd worden liggen veelal tussen pH 6.5-9. Voor opgelost zuurstof worden waarden genoemd tussen 8 en 11 mg O₂/L. Veel wateren zitten binnen die range, maar sommige (b.v. veen gebieden) van nature niet. Natuurlijke overschrijdingen kunnen dan tijdelijk of blijvend zijn, en bepalen dan ook sterk welke organismen/ecosystemen mogelijk kunnen voorkomen.

Naast de gewenste range van pH en opgelost zuurstof in oppervlaktewater (en bodem en grondwater), is in het IMP (1980-1984) ook een beperking aan de absolute verandering genoemd met betrekking tot pH. Hierbij wordt aangegeven dat een pH verandering groter dan 0.5 niet toegestaan is. Dergelijke criteria zijn niet gevonden voor het opgeloste zuurstof gehalte.

Het RIZA noemt normen voor oppervlakte water met betrekking tot het zuurbindend vermogen (Janssen, 1974; rapport met een onderbouwing voor de beoordeling van een lozingsaanvraag van sterk zuurhoudend afvalwater). In het rapport wordt genoemd dat het zuurbindend vermogen (tot pH 6.7) van het water niet meer dan 10% mag veranderen.

De pH- en redox aspecten van toepassing van staalslak kan een direct milieueffect hebben op verschillende milieucompartmenten en in verschillende gebruikssituaties en blootstellingcondities. In de afgelopen tijd zijn diverse soorten risico's genoemd die in beperkte of sterke mate kunnen optreden bij de ophogingen met staalslak. Deze verschijnselen kunnen (potentieel) ook bij andere materialen optreden, maar naar verwachting dan in (veel) mindere mate.

Uit de inventarisatie van de pH en Eh gegevens van diverse materialen blijkt dat het optreden van ongewenste effecten afhangt van de balans tussen afgifte van alkalische (of zure) componenten en de mate van buffering door de bodem of de toevoer van neutraliserende c.q. oxiderende componenten. Dit bepaalt de mate van onbalans en dus het doorslaan naar een ongewenste conditie. pH en redox zijn elk niet kritische parameters, omdat zowel een afwijkende pH als een lage redox in het milieu voor kunnen komen. 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. Op basis van de beoordeling van allerlei toepassingsscenario's kan inzicht worden verkregen welke pH c.q. redox veranderingen op kunnen treden en in hoeverre dat tot ongewenste pH of Eh veranderingen kan leiden.

De volgende situaties zijn te onderscheiden:

9.1 pH

- Oppervlaktewater:
 - a. Brongerichte maatregelen. (Alara /BAT/ etc.)
 - b. Beoordeling van emissies volgens het 'CIW-mengzone model'.

- Belasting op de grens van de mengzone minder dan 10% van het aanwezige bufferend vermogen
 - Binnen de mengzone geen overschrijdingen van het Ernstig risico-niveau
 - c. Buiten de mengzone geen pH-waarden buiten de range pH=6,5-9, ten gevolge van de belasting
 - d. Nadere eisen of geen belasting in speciale beschermingsgebieden.
- Grondwater:
 - a. bescherming van terrestrische organismen en ecosystemen
 - b. bescherming van (ecosystemen van het) oppervlaktewater dat wordt gevoed door het grondwater
 - c. bescherming van de kwaliteit van het grondwater, in relatie tot speciaal gebruik (bijv. voor de drinkwatervoorziening)

De numerieke eisen, die hieraan gekoppeld zouden moeten worden wijken niet sterk af van de eisen aan oppervlakte water.
 - Bodem.
 - a. Bescherming van het vaste deel van de bodem is onder meer gericht op het voorkómen van afbraak en wegspoeling van organische stof uit de bodem. Bij hoge pH wordt mogelijk DOC gemobiliseerd dat organische micro verontreinigingen en metalen door complexatie vrij kan maken.
 - b. Daarnaast voorkómen of beperken van verhoogde mobiliteit van metalen en andere stoffen uit de bodem zelf, waardoor risico's elders kunnen ontstaan in grondwater of vaste deel van de bodem
 - Humane risico's (Werknemers (arbo) en andere betrokkenen)
 - a. Risico's door stof; inademing en contact met de huid. Onderscheid naar het stof als fijnkorrelig materiaal en de gevolgen door de mate waarin de korrels chemisch reactief (alkalisch) zouden zijn.
 - b. Risico's door direct contact met plassen water met hoge pH boven op het terrein of water dat vrij komt bij werkzaamheden, zoals in gegraven sleuven en gaten.
 - Beplantingen, met name de dieper wortelende bomen en struiken.
 - a. Beperkingen van de plantengroei door pH veranderingen in de wortelzone
 - Materialen, bouwwerken en installaties
 - a. Aantasting van materialen, bijv. kunststof leidingen, houten palen, e.d.
 - b. Verstopping van drainagesystemen
 - c. Verstopping van rioleringen of andere voorzieningen, waarmee opgevangen percolaat wordt afgevoerd.

9.2 Redox

- Oppervlakte water
 - a. Brongerichte maatregelen. (Alara /BAT/etc.)
 - b. Beoordeling van emissies kan in principe ook via het 'CIW-mengzone model'.
Belasting op de grens van de mengzone minder dan 10 % van het aanwezige bufferend vermogen (in dit geval het zuurstof gehalte in het water)
Binnen de mengzone geen overschrijdingen van het Ernstig risico-niveau
 - c. Buiten de mengzone geen opgelost O₂-waarden lager dan 8 mg/l ten gevolge van de belasting
 - d. Nadere eisen of geen belasting in speciale beschermingsgebieden.

- Grondwater
 - a. bescherming van terrestrische organismen en ecosystemen (verandering naar anoxische condities desastreus voor onder oxische condities levende organismen)
 - b. bescherming van (ecosystemen van het) oppervlaktewater dat wordt gevoed door het grondwater
 - c. bescherming van de kwaliteit van het grondwater, in relatie tot speciaal gebruik (bijv. voor de drinkwatervoorziening)

De numerieke eisen, die hieraan gekoppeld zouden moeten worden wijken niet sterk af van de eisen aan oppervlakte water.

- Grond
 - a. Bescherming van het vaste deel van de bodem is onder meer gericht op behoud van de bodemfuncties, die door reducerend worden van de bodem bedreigd worden.
 - b. Daarnaast voorkómen of beperken van verhoogde mobiliteit van metalen en andere stoffen uit de bodem zelf, waardoor risico's elders kunnen ontstaan in grondwater of vaste deel van de bodem.

De factoren, die een rol spelen bij de beoordeling van arbeidshygiënische aspecten van toepassing van slakken, cementhoudende en verwante materialen zijn:

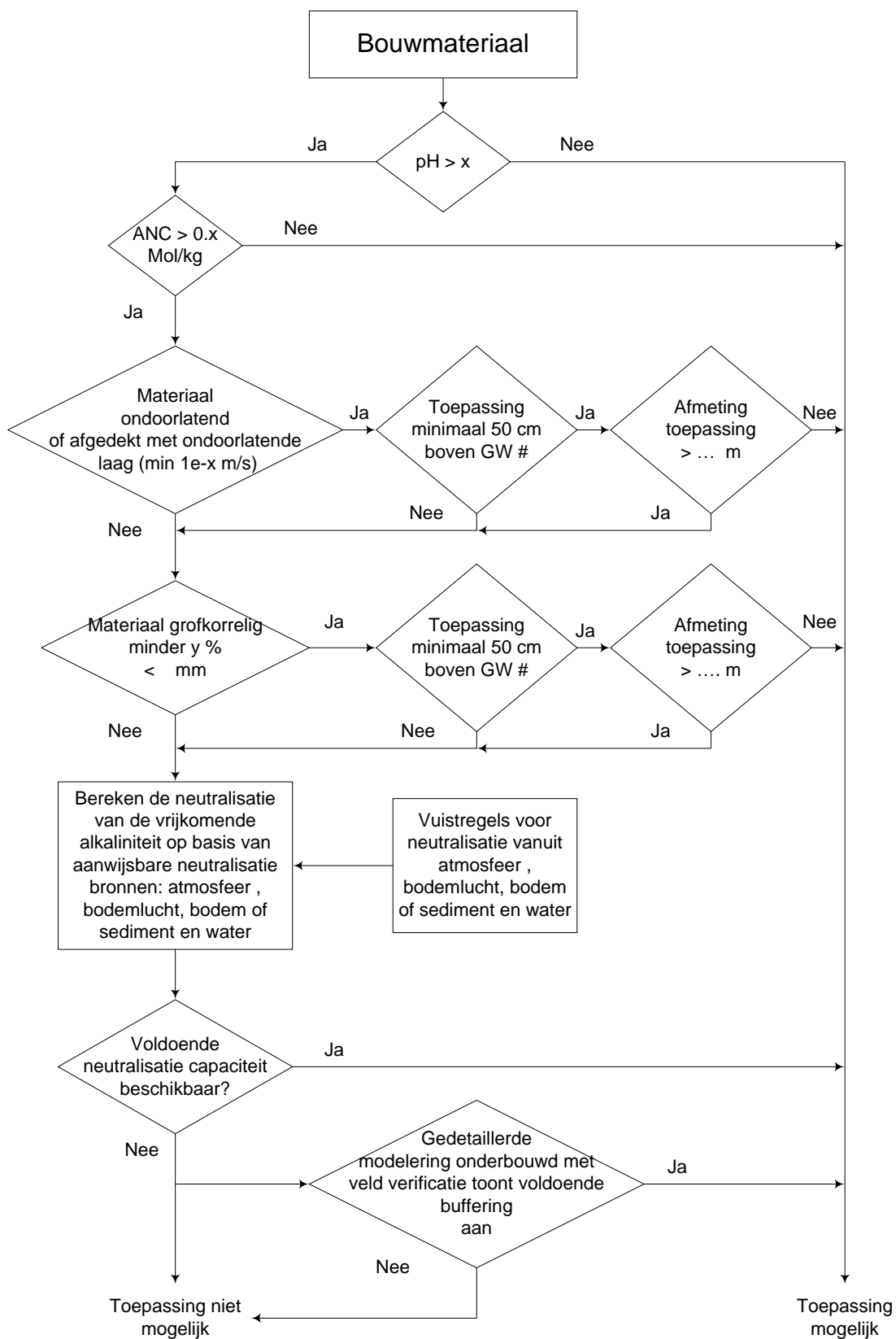
- stof emissie - dit is direct gerelateerd aan een hoeveelheid in mg/m³, waaraan in bepaalde toepassingssituaties grenzen zijn gesteld (zoals werken in besloten ruimten)
- alkaliniteit van fijn stof (irritatie) - dit is een aspect dat op dit moment lastig te kwantificeren is. Metingen van CORUS (mededeling van S. van der Laan) wijzen in dit soort situaties op vergaande carbonatatie van geëmitteerd stof. Voor opentoeppingen van materiaal na enige blootstelling aan omgevingscondities zal dit het geval zijn. Bij overslag van "vers" materiaal kan mogelijk wel alkalisch fijn stof ontstaan.

De factoren, die een rol spelen bij de ontwikkeling van eventuele criteria op basis van beïnvloeding van grond - en oppervlakte water zijn:

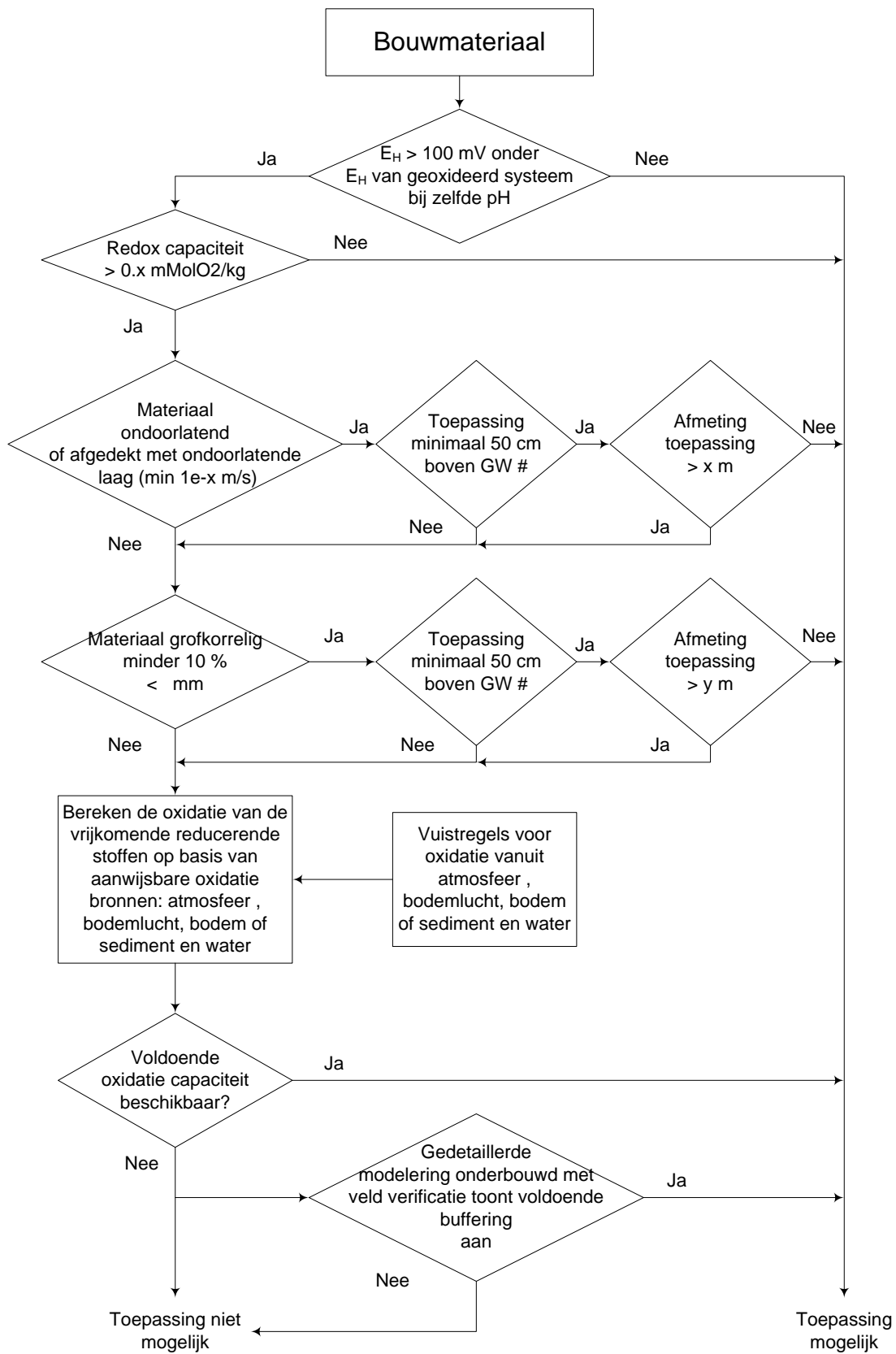
- het zuurneutraliserend vermogen (maat voor de alkaliniteit van het materiaal)
- de reducerende capaciteit van het materiaal
- niet-vormgegeven of vormgegeven materiaal
- deeltjes grootte verdeling van het materiaal
- mate van afsluiting/afdekking van het materiaal
- laagdikte/hogte van de toepassing
- locatie van het materiaal w.o. toepassing boven of in (grond)water
- afstand tot het grondwater
- grondwaterstroming
- mate van toegankelijkheid voor O₂ en CO₂
- stroomsnelheid van oppervlaktewater als het gaat om waterbouwtoepassingen

In Figuur 9.1 is een stroomschema opgenomen, waarin is aangegeven hoe een beoordeling ten aanzien van pH en redox effecten voor materialen in de wegenbouw opgebouwd zou kunnen worden. Afhankelijk van de pH, buffercapaciteit en toepassingsomstandigheden kunnen materialen beoordeeld worden op geschiktheid voor toepassing in de wegenbouw (of andere toepassingen op en in de landbodem). De specifieke eisen voor acceptatie zijn nog nader in te vullen, hiervoor is zeker nog aanvullend praktijkonderzoek nodig. De berekeningen zoals beschreven in paragraaf 7.2 kunnen als basis dienen voor de afleiding van criteria.

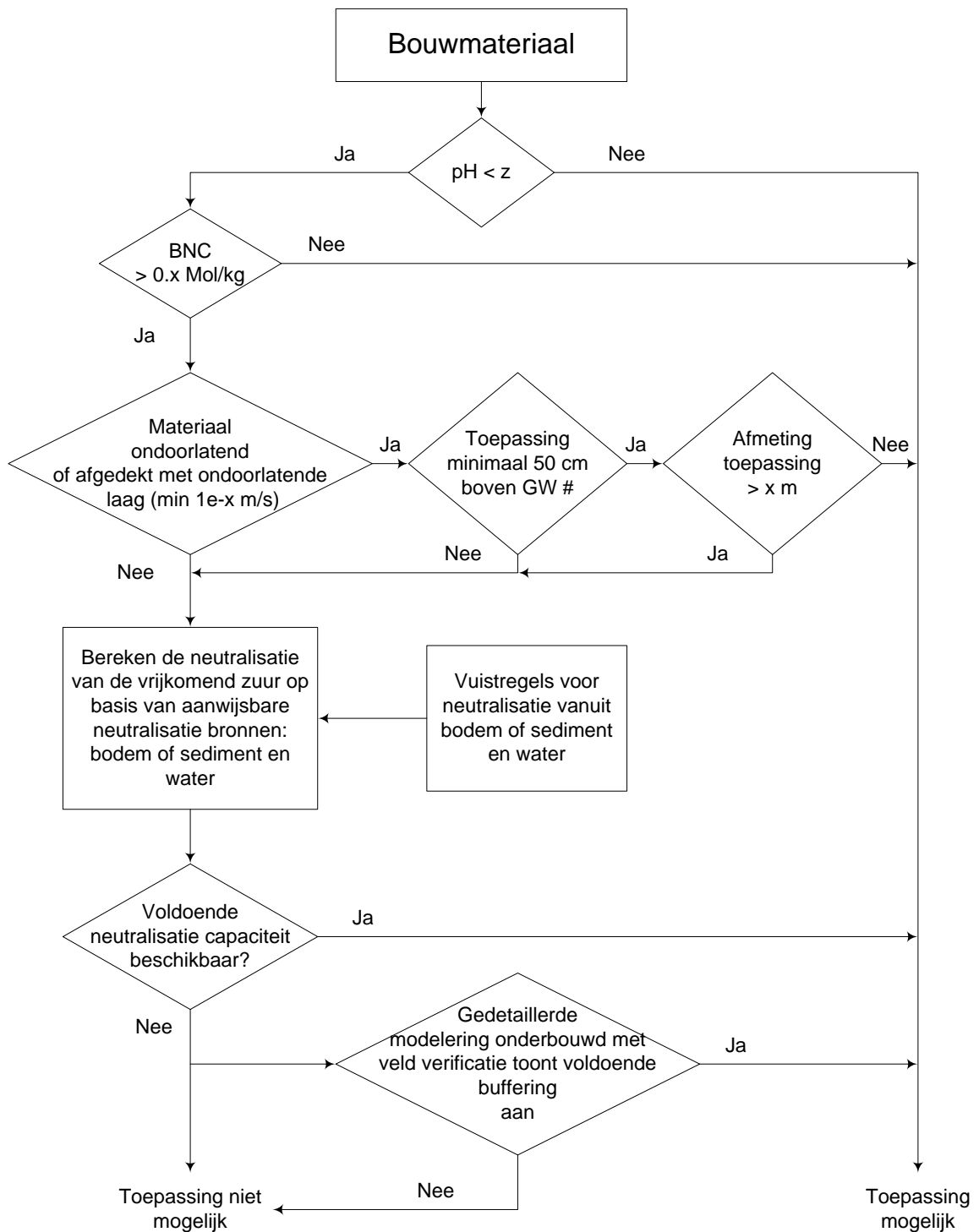
BEOORDELING ALKALISCHE MATERIALEN



BEOORDELING REDUCERENDE MATERIALEN



BEOORDELING ZUURREAGERENDE MATERIALEN

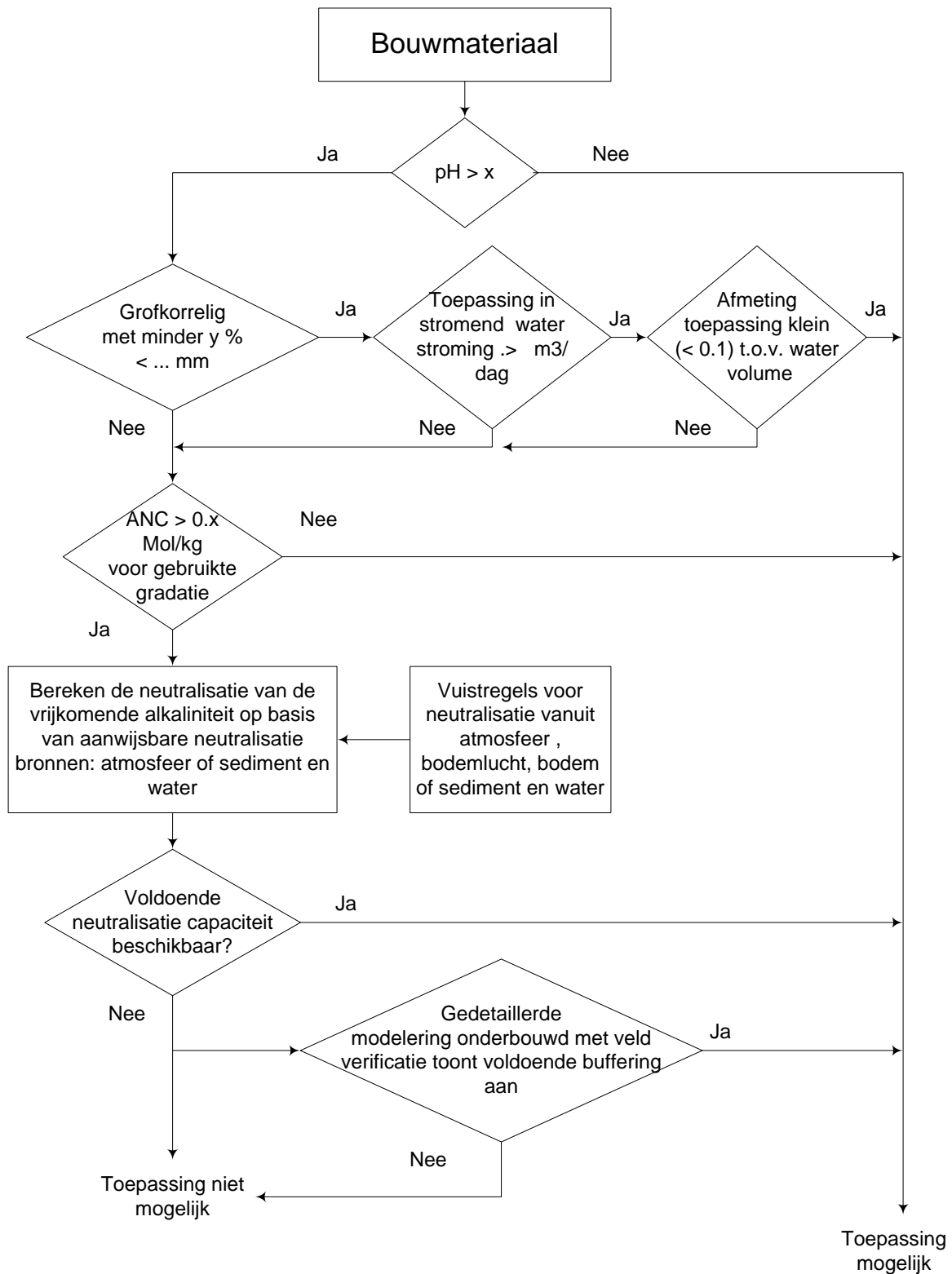


Figuur 9.1 *Beoordeling toepassing alkalische, zure en reducerende materialen toepassingen op en in de landbodem*

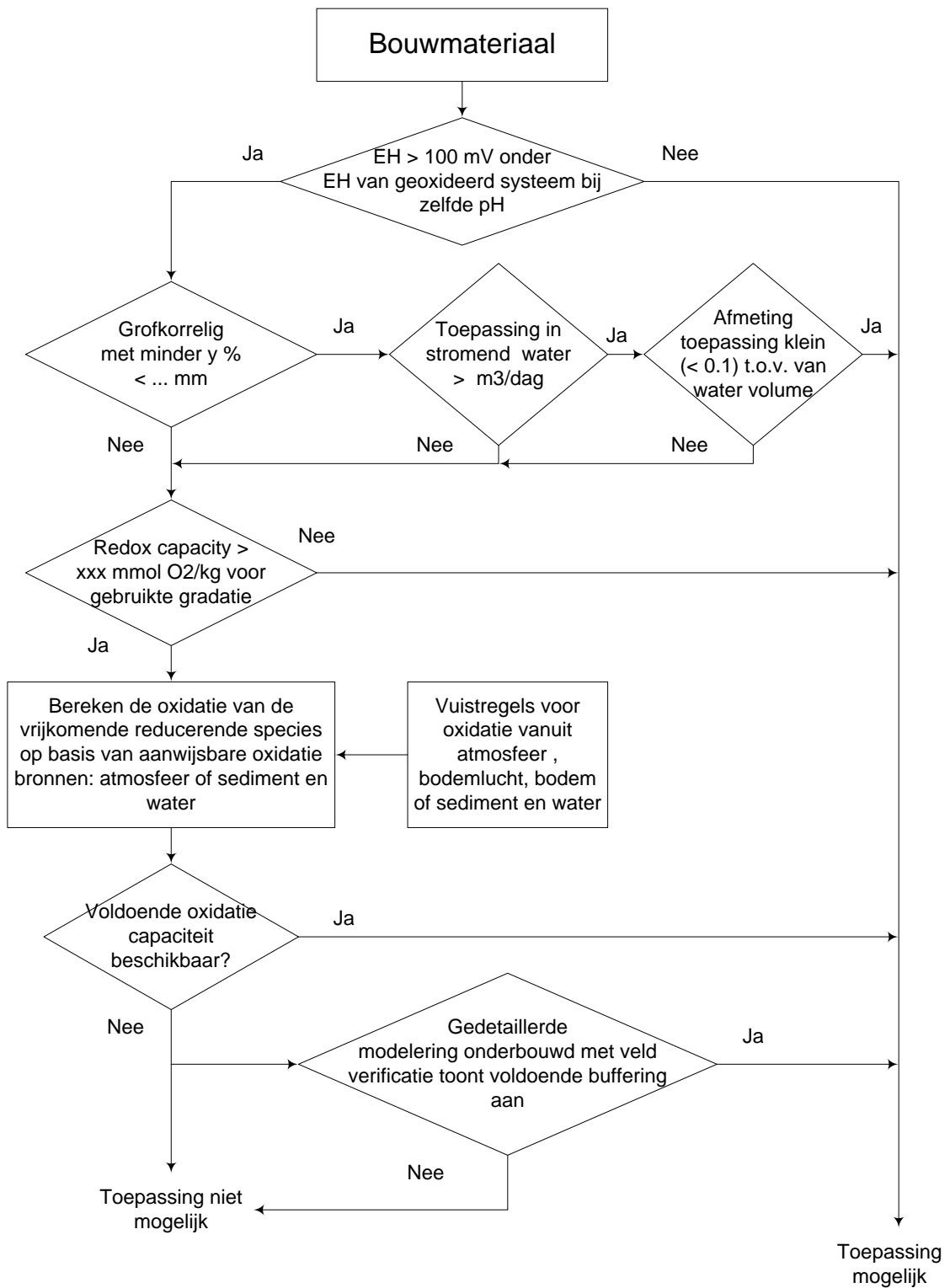
De beoordeling van materialen die in de waterbouw sector toegepast worden dient anders te zijn dan de beoordeling voor toepassingen op en in de landbodem. In Figuur 9.2 is een stroomschema opgenomen, waarin is aangegeven hoe een beoordeling ten aanzien van pH en redox effecten voor materialen in de waterbouw opgebouwd zou kunnen worden. Afhankelijk van de korrelgrootte verdeling, de buffercapaciteit en toepassingsomstandigheden (afmetingen

waterpartij en stroomsnelheid) kunnen materialen beoordeeld worden op geschiktheid voor toepassing in de waterbouw. De specifieke eisen voor acceptatie zijn nog nader in te vullen, hiervoor is zeker nog aanvullend praktijkonderzoek nodig. De berekeningen zoals beschreven in paragraaf 7.3 kunnen als basis dienen voor de afleiding van criteria.

BEOORDELING ALKALISCHE MATERIALEN Waterbouw



BEOORDELING REDUCERENDE MATERIALEN Waterbouw



Figuur 9.2 *Beoordeling toepassing alkalische, zure en reducerende materialen in de waterbouw*

10. Conclusies

Algemeen

Staalslak wordt in verschillende toepassingen ingezet in de bouw. Daarbij is met name sprake van toepassing van grof korrelig materiaal tot grove brokken in geval van overbescherming. De recente problemen bij toepassing van staalslakken en hoogovenslakzand in de bouw zijn voor VROM aanleiding nader onderzoek te laten verrichten naar de risico's van het gebruik van deze materialen en andere (cementhoudende) bouwmaterialen. Het gaat hierbij specifiek om materialen die een verhoogde pH en/of lage redox potentiaal (bijvoorbeeld door sulfiden en/of ijzer(II)) hebben waardoor eventueel problemen zouden kunnen optreden. Cementhoudende materialen hebben, voor zover bekend, tot op heden in de praktijk geen problemen opgeleverd. De problemen met (vooral in de relatief fijnkorrelige gradatie, 0-16mm) toegepaste staalslakken en hoogovenslakzand worden veroorzaakt door de hoge pH en de reducerende eigenschappen die aan het omringende milieu opgelegd kunnen worden. Voor zover bekend hebben traditionele toepassingen van staalslak slechts kortstondige of minimale beïnvloeding van het omringende milieu veroorzaakt. In situaties waar problemen optraden betrof het nieuwe toepassingswijzen van staalslak en hoogovenslak(zand) waarmee bij de inwerkingtreding van het huidige Bsb nog geen rekening kon worden gehouden. Daarom bieden de regels van het Bsb onvoldoende bescherming tegen de thans waargenomen effecten.

Casus Staalslak:

De metingen in Hoorn wijzen op een meetbare beïnvloeding van het grondwater tav reducerende eigenschappen en in beperkte mate ten aanzien van pH (3 peilbuizen, maar wel met zeer hoge pH). De ruimtelijke verdeling van de beïnvloedde punten is niet direct verklaarbaar.

Effect korrelgrootte:

Uit het onderzoek blijkt dat de korrelgradatie een heel belangrijke rol speelt bij de emissie van alkalische bestanddelen en reducerende species uit slak. Uit de modelberekeningen blijkt dat een grove slak (mediaan groter dan 45mm) onder realistische condities (300 mm/jr infiltratie, onverzadigde condities) geen netto verspreiding van alkalische componenten en reducerende species oplevert. Het pH en redox front blijft in het slakpakket.

Voor fijnkorrelig materiaal (aannee korrelgrootte verdeling van 1 (85%), 10 (10%) en 40 (5%) mm) is de neutralisatie door koolzuur uit de lucht en uit de bodem, alsmede de neutralisatie door de bodem onvoldoende om op langere termijn de verspreiding van alkalische stoffen en reducerende species tegen te houden (aannee 300 mm/jr infiltratie en onverzadigde condities). Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze conclusies slechts gebaseerd zijn op de (state of the art) modelberekeningen. Om deze bevindingen verder te onderbouwen dient praktijkonderzoek verricht te worden.

Effect carbonatatie:

Als door afsluiting van het pakket (bovenafdichting, cementatie of sealing van de poriën door calcië) het pakket zich meer als een monoliet gaat gedragen, zal de verspreiding van alkalische bestanddelen en reducerende species navenant afnemen. Door diffusie is de verspreiding zeer traag en in die situatie kan een beperkte toevoer van koolzuur en zuurstof uit de onverzadigde bodem voldoende zijn om het systeem in balans te houden. Of deze situatie van toepassing is in Akkrum (open toepassing) of in Hoorn (afdekking met bestrating) is op basis van de huidige gegevens nog niet vast te stellen. De materiaaleigenschappen veranderen niet of weinig, hetgeen betekent dat bij werkzaamheden in het pakket rekening moet worden gehouden met opnieuw optredende hoge pH en reducerende condities.

Bij carbonatatie van een onafgedekt oppervlak zal het stof dat door verwaaiing vrij komt grotendeels gecarbonateerd zijn en op grond daarvan minder irritante effecten opleveren bij blootstelling.

Bij overslag van slak zal naar alle waarschijnlijkheid het grootste deel als gecarbonateerd oppervlakte materiaal vrijkomen, maar door verbrijzeling kan mogelijk ook vers niet-gecarbonateerd materiaal als fijn stof vrijkomen. De verhouding tussen vers en gecarbonateerd materiaal is in deze situaties onbekend en kan alleen door aanvullende meting vastgesteld worden.

Modellering van chemische processen en transport van verontreinigingen:

Uit de geochemische modelberekeningen met transport door infiltratie en gas transport in het onverzadigde pakket (Orchestra) zijn op dit moment nog een aantal aanvullende conclusies te trekken. De conclusies kunnen dienen als uitgangspunt voor het benodigde praktijkonderzoek:

- Bij onafgedekte toepassing ontstaan bij toepassingshoogten van meer dan 50 cm en gradaties met korrelgrootte van minder dan 6 mm (maximale korrelgrootte) naar alle waarschijnlijkheid op kortere of langere termijn problemen met de beïnvloeding van bodem en grondwater.
- Door afdekking met een water ondoorlatende afdekking (bijv. asfalt) kan de infiltratie bij toepassing van fijnkorrelig materiaal dusdanig gereduceerd worden dat de toevoer van gassen (O₂ en CO₂ via de bodemlucht) kan voorkómen dat het pH en redox front het grondwater bereikt mits de onverzadigde zone minimaal 50 cm bedraagt en de onderliggende bodem redelijk gasdoorlatend is. In de praktijk zou dit eventueel uitgevoerd kunnen worden door een zandbed aan te brengen. In geval van klei of veen is nog onduidelijk in welke mate neutralisatie door "zuur" veen voldoende buffering van de bodem oplevert.
- Op grond van het feit dat alleen door neutralisatie met koolzuur en oxidatie door bodemlucht voorkomen kan worden dat een pH front c.q. een redox front de bodem indringt en uiteindelijk tot het grondwater doordringt, is het van belang dat een minimale afstand van de onderzijde van de toepassing tot de hoogste grondwaterstand wordt aangehouden. Vooral wordt daarvoor minimaal 50 cm voorgesteld.
- Voorlopig wordt voorgesteld om tussen de onderkant van de bouwstof en het hoogste niveau van het grondwater een doorlatendheid van de bodem van tenminste 10-6 m/s te handhaven. Nader praktijkonderzoek zou moeten uitwijzen in hoeverre deze keuze afdoende is om de noodzakelijke beluchting te realiseren.
- In geval van halfverharding mag alleen bij toepassing van relatief dunne lagen (< 15 cm) van relatief fijnkorrelig materiaal (< 6 mm) een beperkt en tijdelijk effect verwacht worden.
- Uit de modellering blijkt dat het pH front en het redox front ongeveer gelijke tred houdt met elkaar. Dat hoeft overigens niet in alle omstandigheden zo te zijn, maar als eerste benadering lijkt het een redelijke aanname, die door metingen in de praktijk geverifieerd dient te worden.

Aanzet voor regelgeving

Op basis van de huidige bevindingen wordt door VROM een concept regeling voor beheersing van extreme pH en redox condities opgesteld. De invulling van de kritische randvoorwaarden is sterk afhankelijk van de verificatie van de juistheid van die voorlopige waarden vanuit praktijk verificatie in recente toepassingsituaties.

11. Aanbevelingen

De modellering is gebaseerd op een aantal aannamen, die op dit moment de beste schattingen zijn die met de beschikbare kennis gemaakt kunnen worden. De beschikbare informatie vanuit de praktijk is zeer beperkt. Het is van belang de modellering te ijken door verificatie van de modellering aan veldmetingen. Dit betreft enerzijds verificatie in een gecontroleerd lysimeter experiment met goed bekende materialen onder gecontroleerde condities. Daarbij gaat het met name om de voortschrijding van pH en redox fronten in de onverzadigde zone in de tijd.

Anderzijds leveren metingen aan boorkernen onttrokken uit praktijktoepassingen in situaties, waar de materialen al enige jaren geleden zijn aangebracht inzicht in de mate, waarin het pH en redox front in de ondergrond zijn doorgedrongen. Dit is vooral van belang, omdat de buffercapaciteit van de onderliggende bodem eindig is en in veel gevallen het ZNV en de reducerende capaciteit, de neutralisatie mogelijkheden van een halve meter bodem ver te boven gaan. Dit zou kunnen betekenen dat het front op weg is maar ook op langere termijn tot ongewenste effecten kan leiden. Verder is het van belang voor andere materialen dan staalslak na te gaan hoe de relatie tussen ZNV en korrelgradatie is om na te gaan of de relatie min of meer universeel of materiaal specifiek is.

12. Mogelijke bewerkingen en alternatieve toepassingen

Welke opties zijn beschikbaar voor bewerking van de materialen voor toepassing of opties voor alternatieve toepassingen van deze reststoffen? Daarbij is het uiteraard wel van belang dat het beschikbare/geproduceerde volume ingezet kan worden en dat de kosten van voorbewerking aanvaardbaar zijn.

- alkalische materialen voor toepassing neutraliseren. Leidt tevens tot binding van CO₂
- staalslak kwaliteitsverbetering in productieproces (minder alkalisch maken) → rekening houden met toename van de uitloging van V.
- nabewerking tot minder waterdoorlatend product
- alternatieve gebonden toepassingen door toepassing als zand en grind vervanger in beton en asfalt.
- toepassen als grondstof bij de cement productie van blended cement (beperkingen?)

Referenties

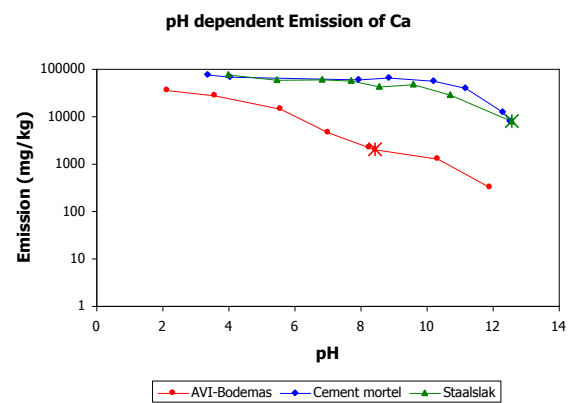
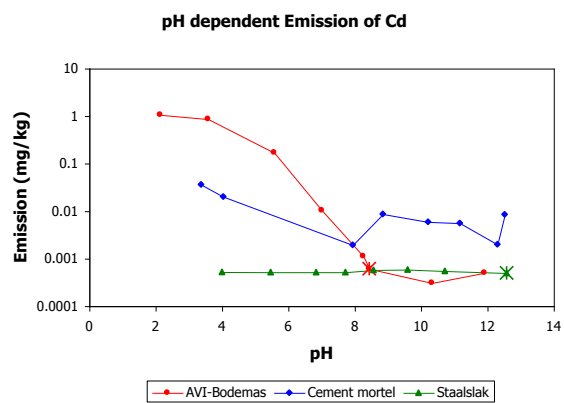
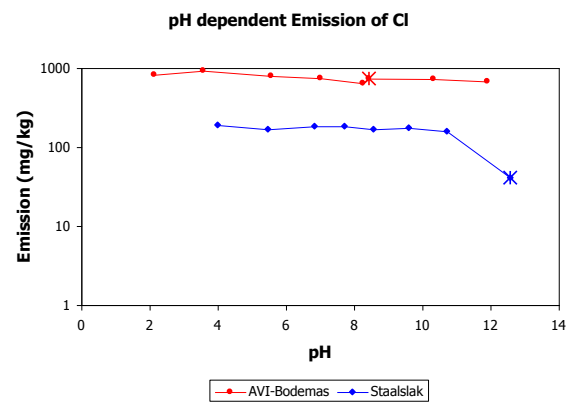
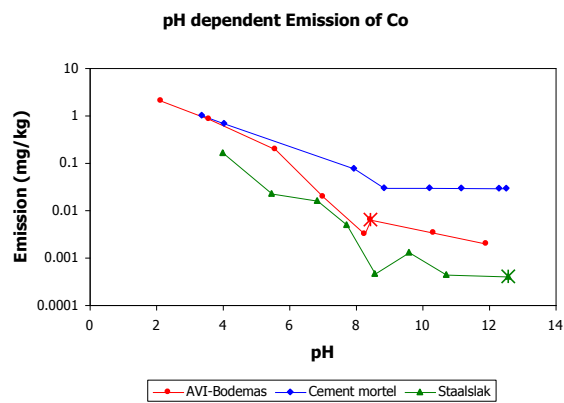
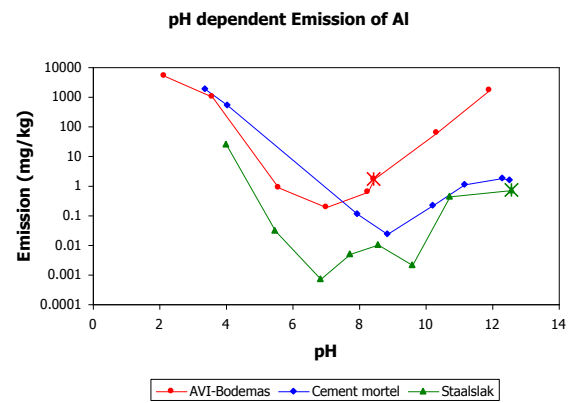
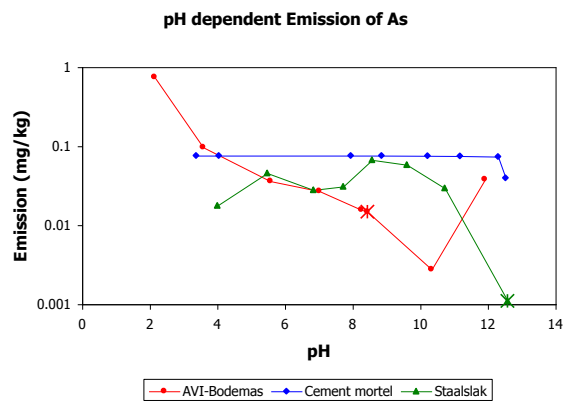
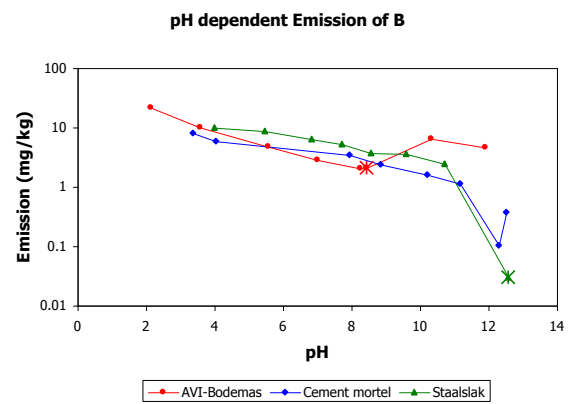
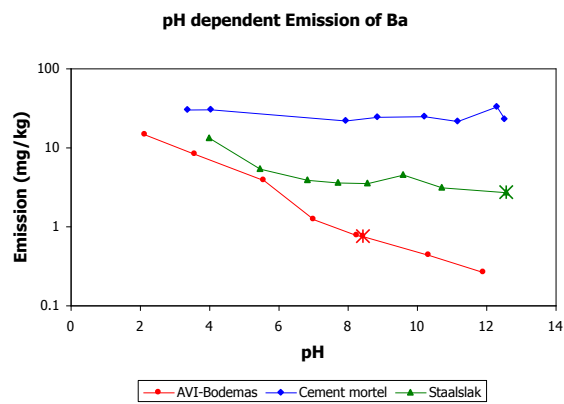
- Allegrì, G., Bálsamo, S., Grilli, A., López, F.A., Pietrini, R. and Tortolini, M. "Environmental behaviour assessment of Linz-Donawitz (LD) furnace slag-study of their recovery processes", Ed.: CIPA s.s.s., Milán, Italia, 2000. Obra colectiva. ISBN 1121-8215
- Appelo, C.A.J., Postma, D., Geochemistry, groundwater and pollution, A.A. Balkema publishers, Leiden, The Netherlands, 2005.
- Apul, D., Gardner, K.H., Eighmy, T.T., Fallman, A.M. and Comans, R.N.J., Simultaneous Application of Dissolution/Precipitation and Surface Complexation/Surface Precipitation Modeling to Contaminant Leaching, Environ. Sci. Technol. 2005, 39, 5736-5741.
- A. Bax, Team Vakgroep Arbeidshygiëne: "De inspectiemodule secundaire bouwstoffen; handhaving bij werkzaamheden in, op of met Converterslak, Staalslak of LD-slak" versie 3 oktober 2005.
- BRL 9328, Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest-met-productcertificaat voor ELO-staalslak voor toepassing in de wegenbouw en kust- en oeverwerken, Intron, 2002.
- BRL 9310, Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest-met-productcertificaat voor LD-mengsel voor toepassing in de wegenbouw en voor het KOMO-attest-met-productcertificaat voor LD-staalslakken voor toepassing in GWW-werken, Intron, 2003.
- BRL 9310, wijzigingsblad, d.d. 2003-08-12: LD-mengsel voor toepassing in de wegenbouw en LD-staalslakken voor toepassing in GWW-werken.
- Cleven, R., Notities ten behoeve van concept verslag '(LD)-staalslakken)' - 20 dec 2005
- Concept briefrapport van M.H. Broekman - RIVM, - "Onderzoek humane blootstellingsrisico LD staalslakken" - 1 november 2005.
- CORUS/ARBONED Conceptverslag bijeenkomst veiligheidsaspecten bij gebruik staalslak. 31 augustus 2005.
- de Haan, IJ.H., Unsaturated watermovement under road constructions containing sub-bases constructed with secondary materials, Stevinrapport 22.1.03.10, VROM, 2003.
- DGM-BWL - Circulaire - Toepassing van staalslak en hoogovenslak(zand) in aanvullingen en ophogingen
- DHV briefrapport B-NN-BE20050264 Verificatie onderzoek Spikerboor te Akkrum
- Gietema, S., Verkennend bodemonderzoek en onderzoek slakken, Grontmij rapportnummer 304192, 2005.
- Huijgen, W.J.J. and Comans, R.N.J., Carbonation of steel slag for CO₂ sequestration: leaching of products and reaction mechanisms, Environmental Science & Technology, 40, 8, 2790-2796, 2006.
- Janssen, M.P.M., Onderzoek aangaande de invloed van de lozing van Akzo-Chemie Nederland B.V. lokatie Amsterdam-N op het IJ, RIZA, 1974.
- Landview. Bouwstoffenonderzoek Marowijne te Hoorn - april 2005- i.o.v gemeente Hoorn
- Landview. Slibonderzoek Marowijne te Hoorn - februari 2005- i.o.v gemeente Hoorn
- Milon Onderzoek zuurgraad slakkenzand toegepast tpv A50 nabij afrit Paalgraven te Nistelrode
- Novioconsult- Visiedocument Ketenhandhaving 'begeleiden en verleiden'

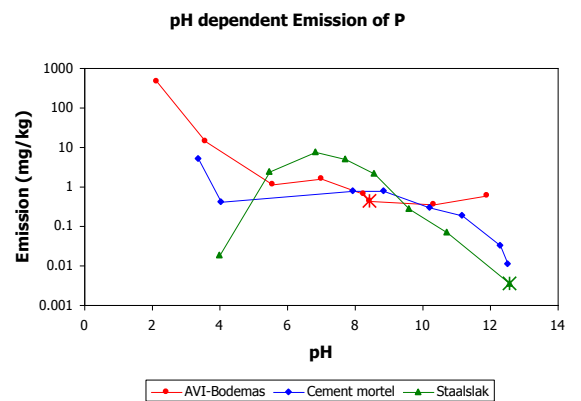
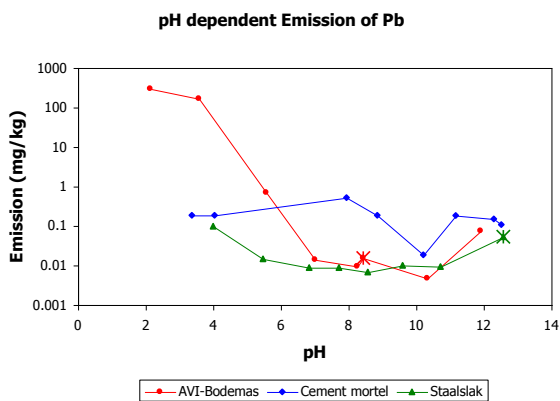
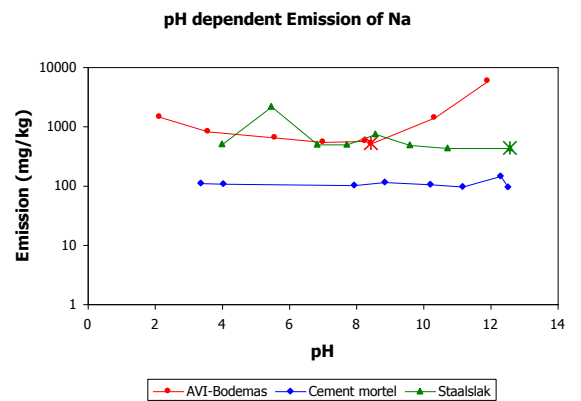
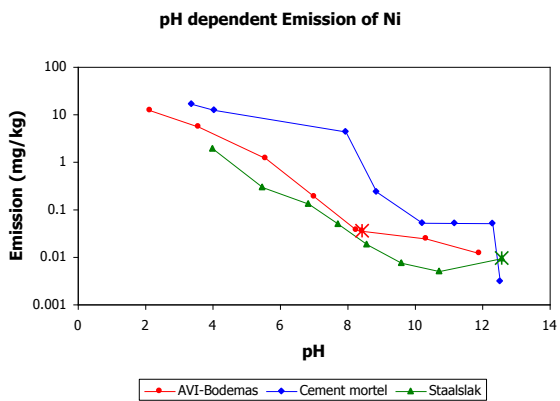
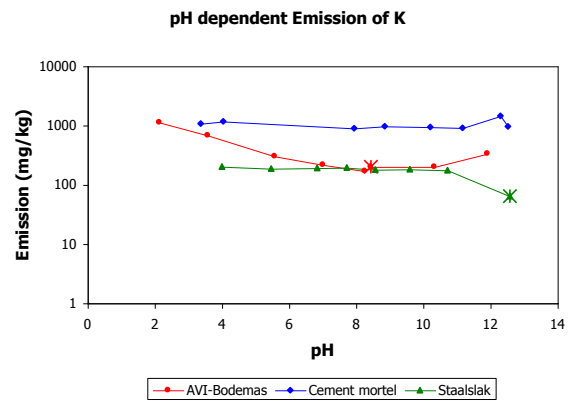
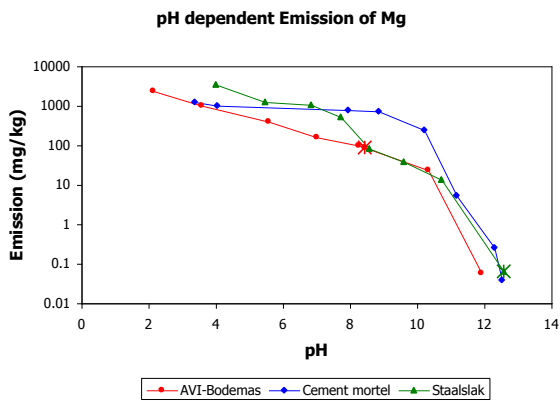
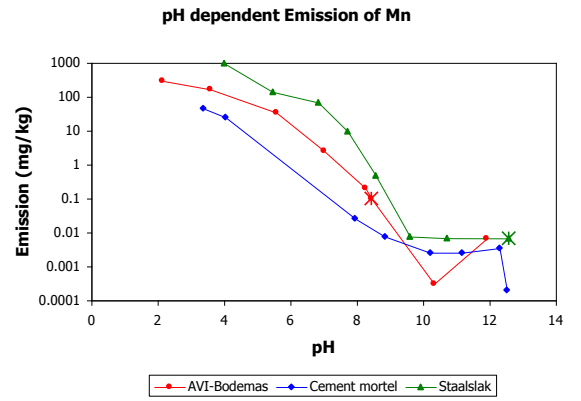
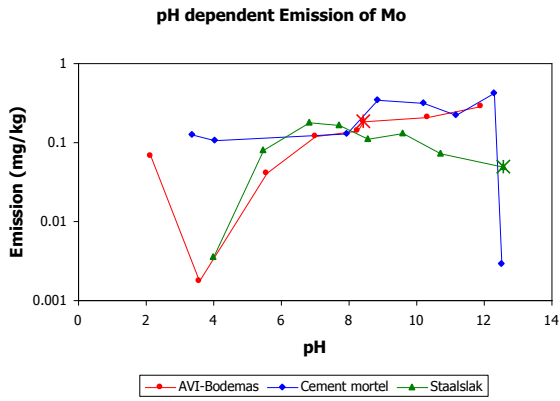
- Onstenk, E., Pelt & Hooykaas, Notitie N05.09 /EO 05-12-2005, Knelpunten bij de toepassing van LD-staalslak en fosforslak
- Chaurand, P., Rose, J., Briois, V., Olivi, L., Hazemann, J.L., Proux, O., Domas, J. and Bottero, J.Y., Environmental impacts of steel slag reused in road construction: a crystallographic and molecular (XANES) approach, *J. Hazard. Mater.*, 139, 3, 537-542.
- Schreurs, J.P.G.M., Wesselink, L.G., van der Sloot, H.A. Relatie Uitlooggedrag Laboratorium-Praktijk bij Wegenbouwkundige Projecten. CROW project. INTRON - RIVM – ECN, INTRON rapport no 96082, 1996a.
- Schreurs, J.P.G.M., van der Sloot, H.A. en Hendriks, Ch.F. Uitlooggedrag in de wegenbouw: de praktijk getoetst aan de laboratoriumproef. *Wegen*, 70, 1996b, 32-35.
- Schreurs, J.P.G.M., van der Sloot, H.A. and Hendriks, Ch. F. Verification of laboratory-field leaching behaviour of coal fly ash and MSWI bottom ash as a roadbase material. *Proceedings WASCON 1997 Conference "Putting Theory Into Practice"*, June 4-6, 1997 Houthem, The Netherlands.
- Steketee, J.J., van der Kolk, O. en Halter, W.R., Evaluatie-onderzoek van de ophoging met AVI-bodemassas in Rijksweg A15 : samenvattend eindrapport, 2002, rapportnummer: DWW-2002-032.
- Steketee, J.J., pH en redoxwaarden in praktijktoepassingen van bouwstoffen, *RAPPORTNR. 4420225*, Tauw, 2005
- Unihorn Rapport 5055-1-MI-RAP Plan van aanpak in het kader van de verhoogd aangetroffen pH-waarden in het grondwater van bedrijventerrein "De Marowijne" te Zwaag - oktober 2005- in opdracht van de gemeente Hoorn.
- van der Laan, S. (Corus) en Schoenmaker, H. (Pelt & Hooykaas), "Karakterisering stoffractie staalslak" PowerPoint presentatie - 31 augustus 2005.
- Verhoeve Milieu Noord Rapportage verkennend bodemonderzoek Distributiecentrum Lidl te Zwaag Westfrisia Oost fase III- februari 2004- i.o.v gemeente Hoorn
- Werkgroep VEM, Vervolgonderzoek normstelling essentiële metalen (VEM), eindrapportage juli 2004.

Overige literatuur/documenten

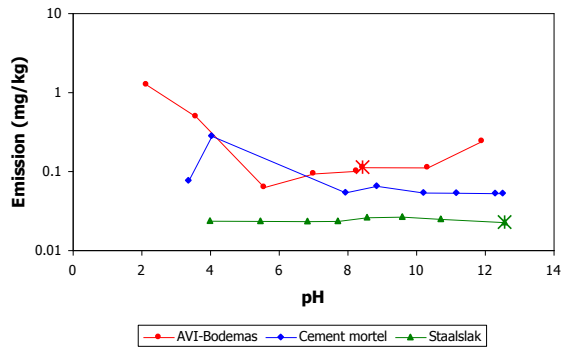
- Veiligheidsinformatie Corus Staal BV: Converterslak, document CS2234.
- Circulaire: Toepassing van staalslak en hoogovenslak(zand) in aanvullingen en ophogingen, Directoraat-Generaal milieubeheer, kenmerk: BWL/2005057671, 21-6-2005.
- Artikel Cobouw, 14 juli 2005, Extra actie stopt uitloging staalslakken niet.

Bijlage A Uitloogkarakteristieken van materialen

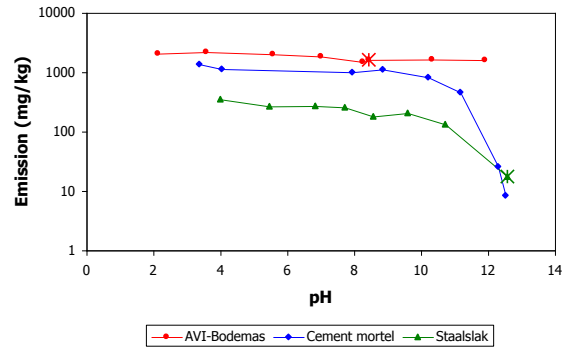




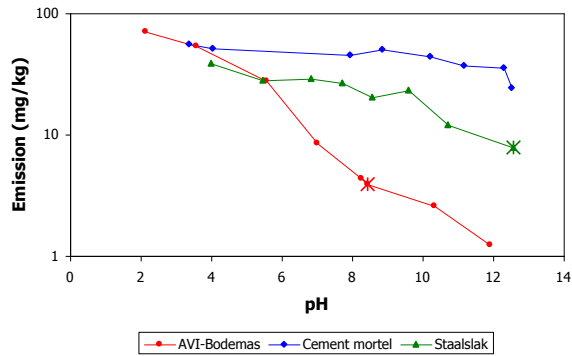
pH dependent Emission of Sb



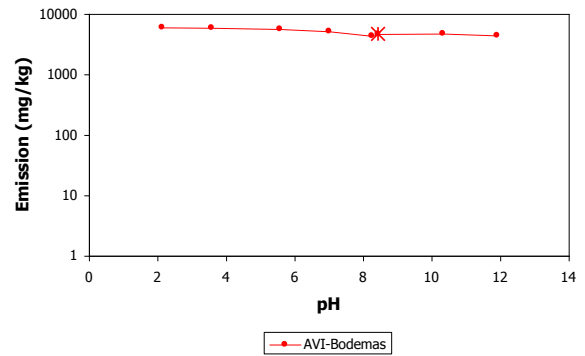
pH dependent Emission of S



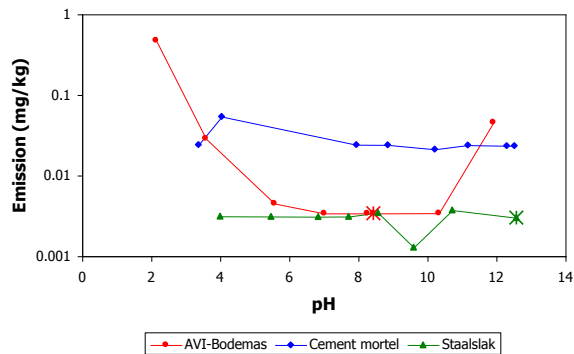
pH dependent Emission of Sr



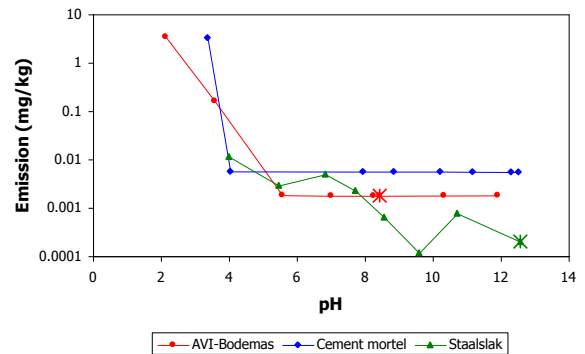
pH dependent Emission of SO4



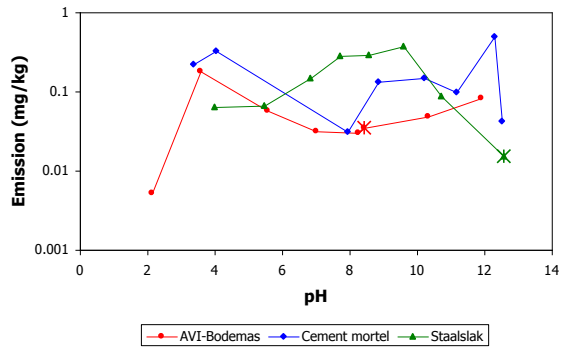
pH dependent Emission of Sn



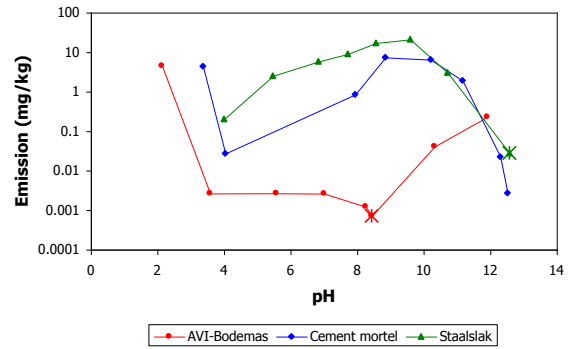
pH dependent Emission of Ti

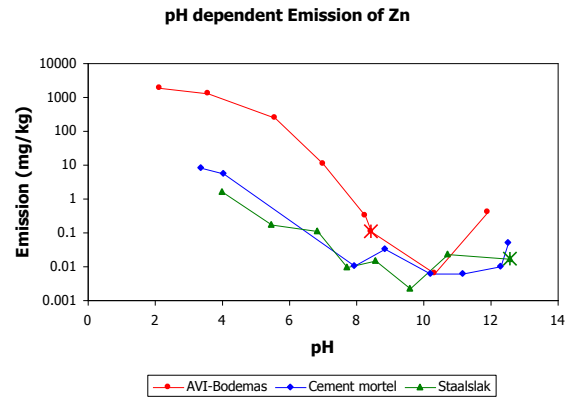
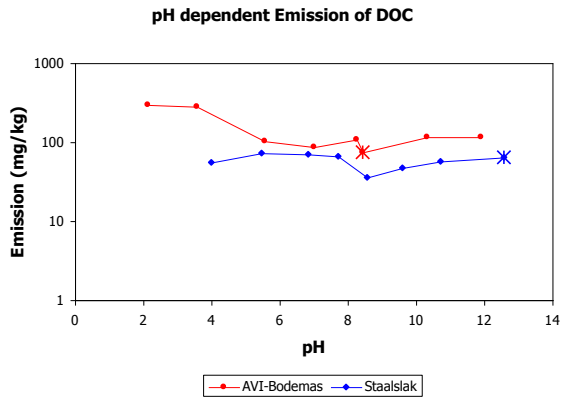


pH dependent Emission of W



pH dependent Emission of V





Bijlage B Modelberekeningen

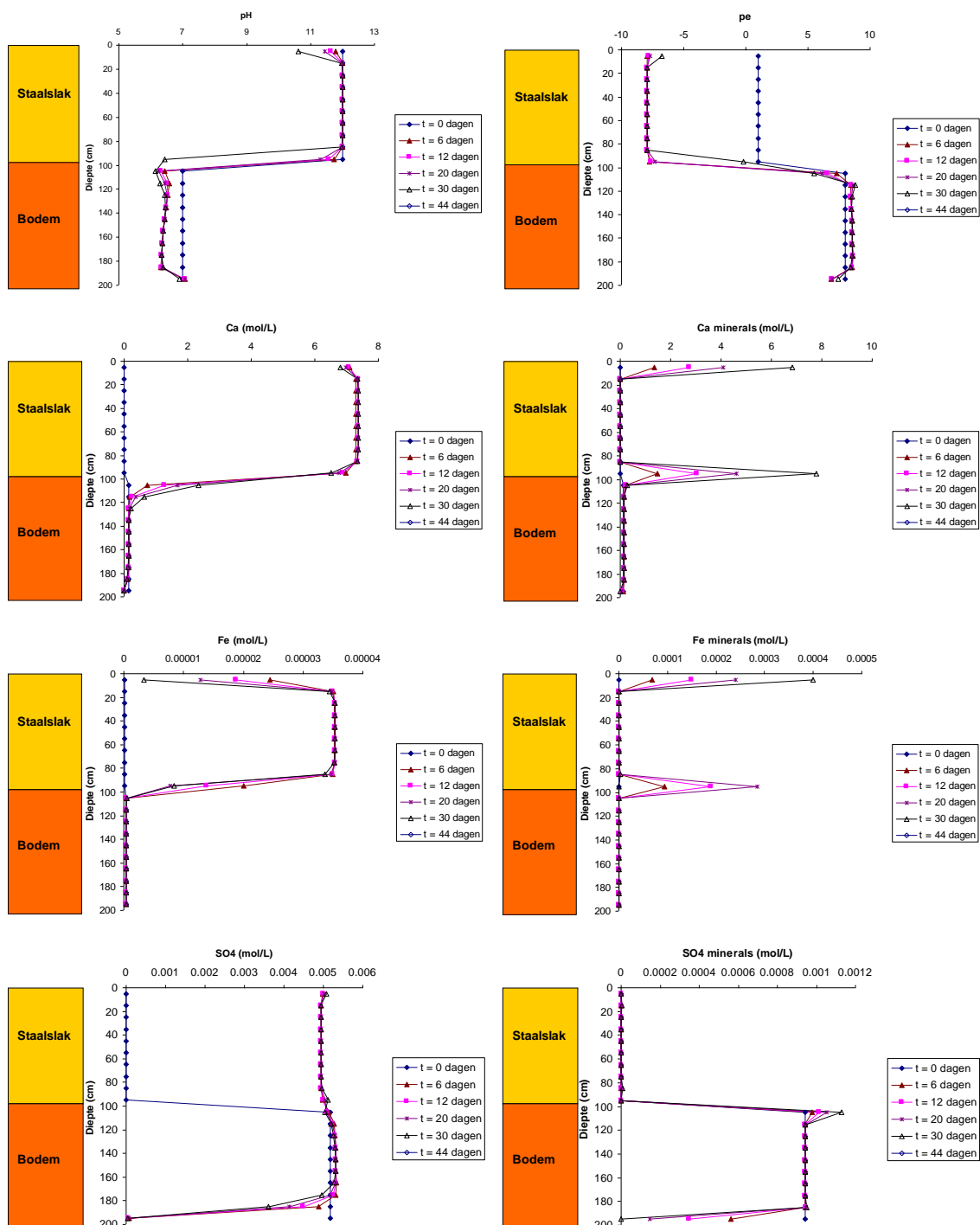
Omstandigheden modelberekening:

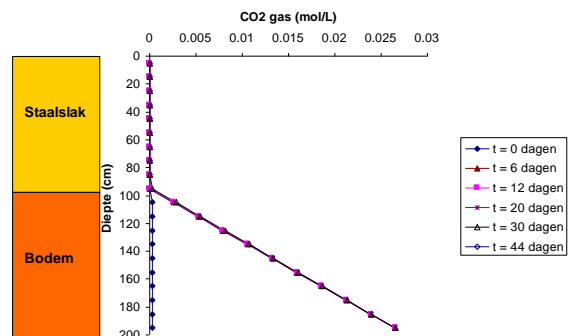
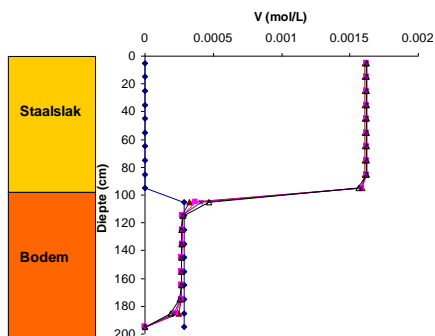
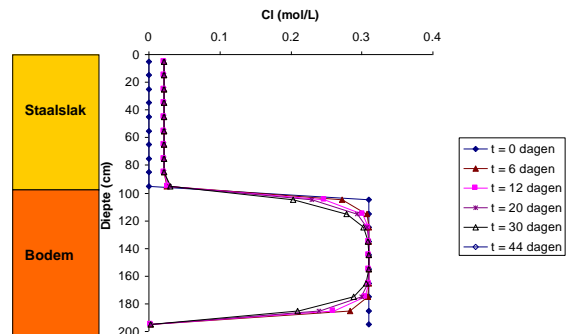
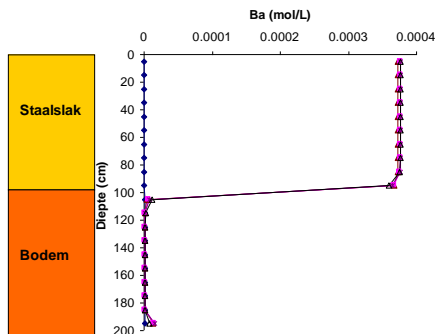
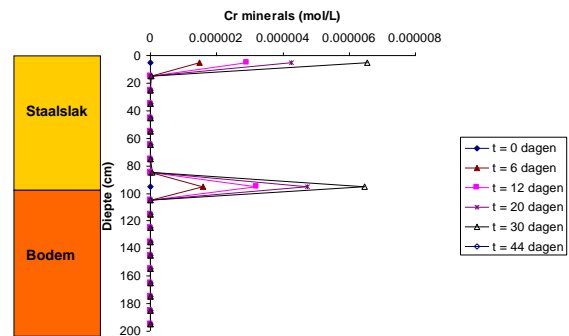
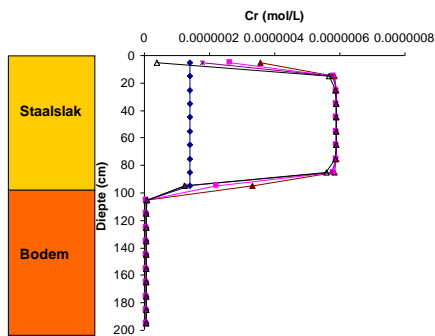
Infiltratie: 0 mm (alleen transport via diffusie)

Korrelgrootte staalslak: 4 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





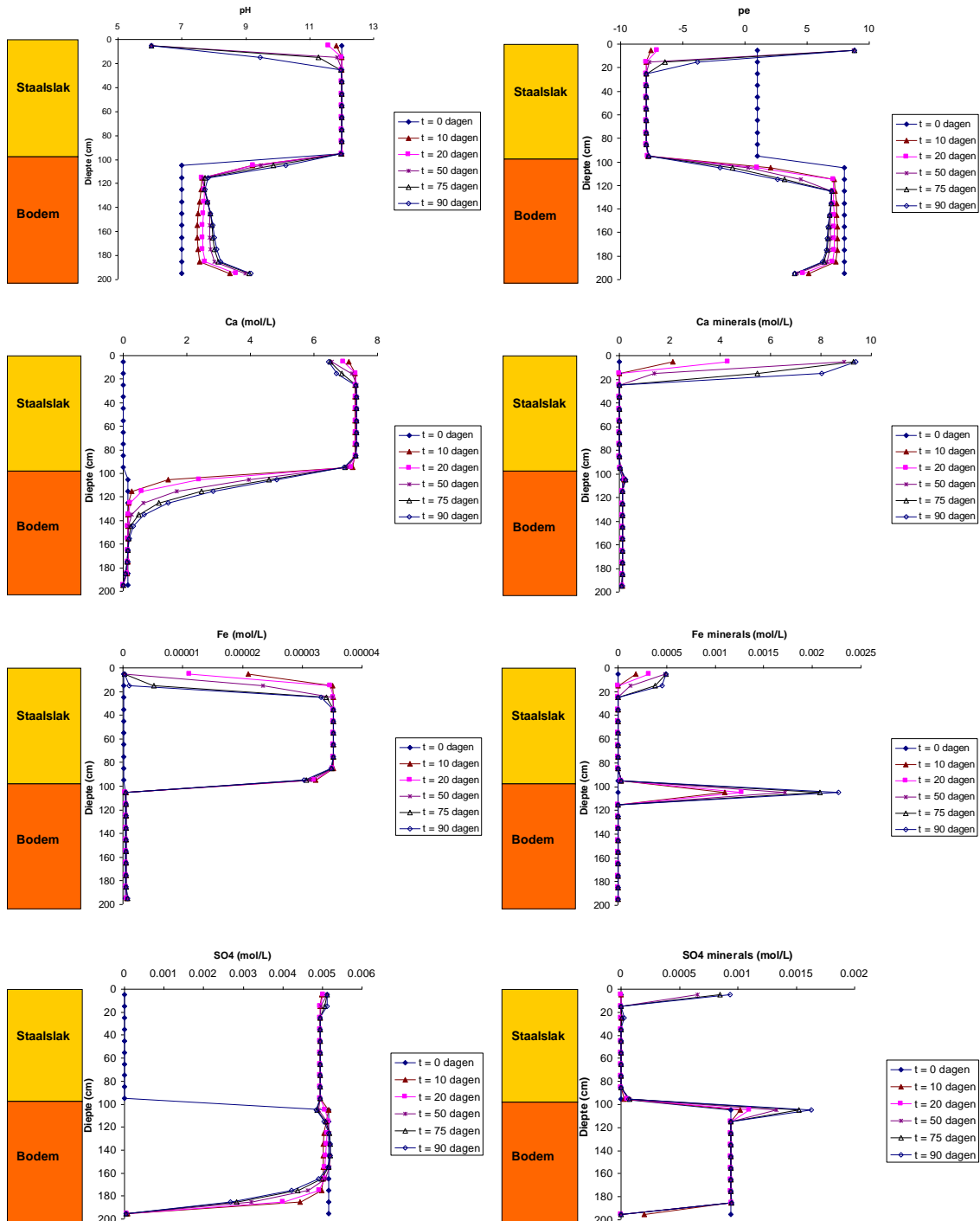
Omstandigheden modelberekening:

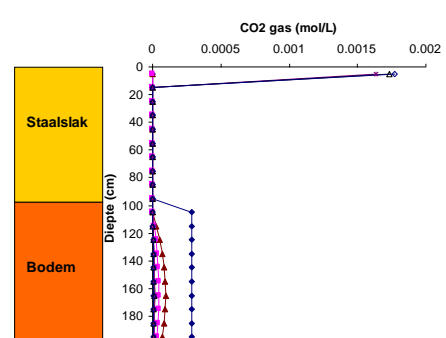
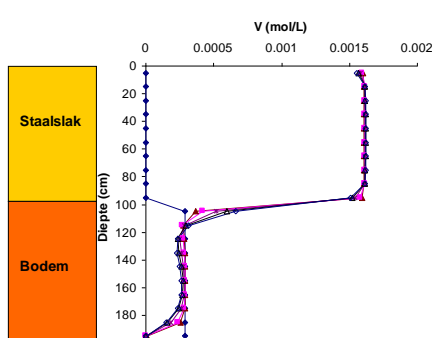
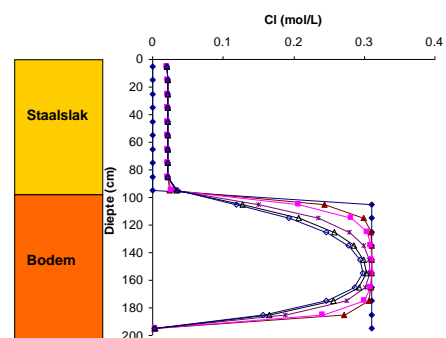
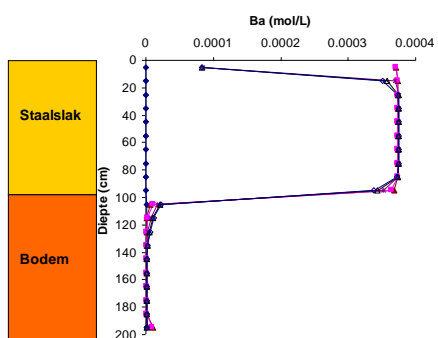
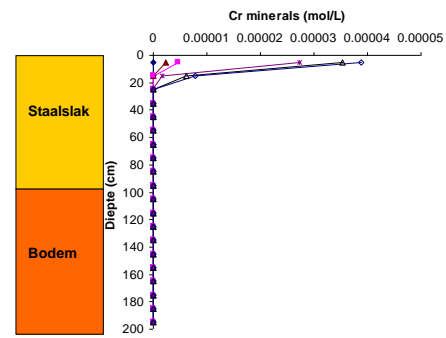
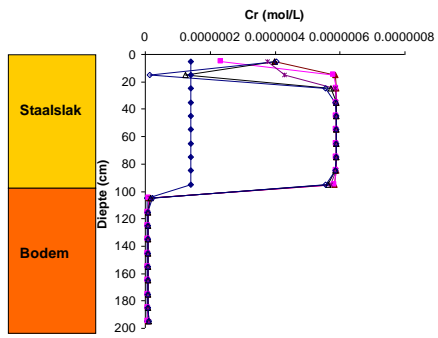
Infiltratie: 10 mm

Korrelgrootte staalslak: 5% 40 mm, 10% 10 mm, 85% 1 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





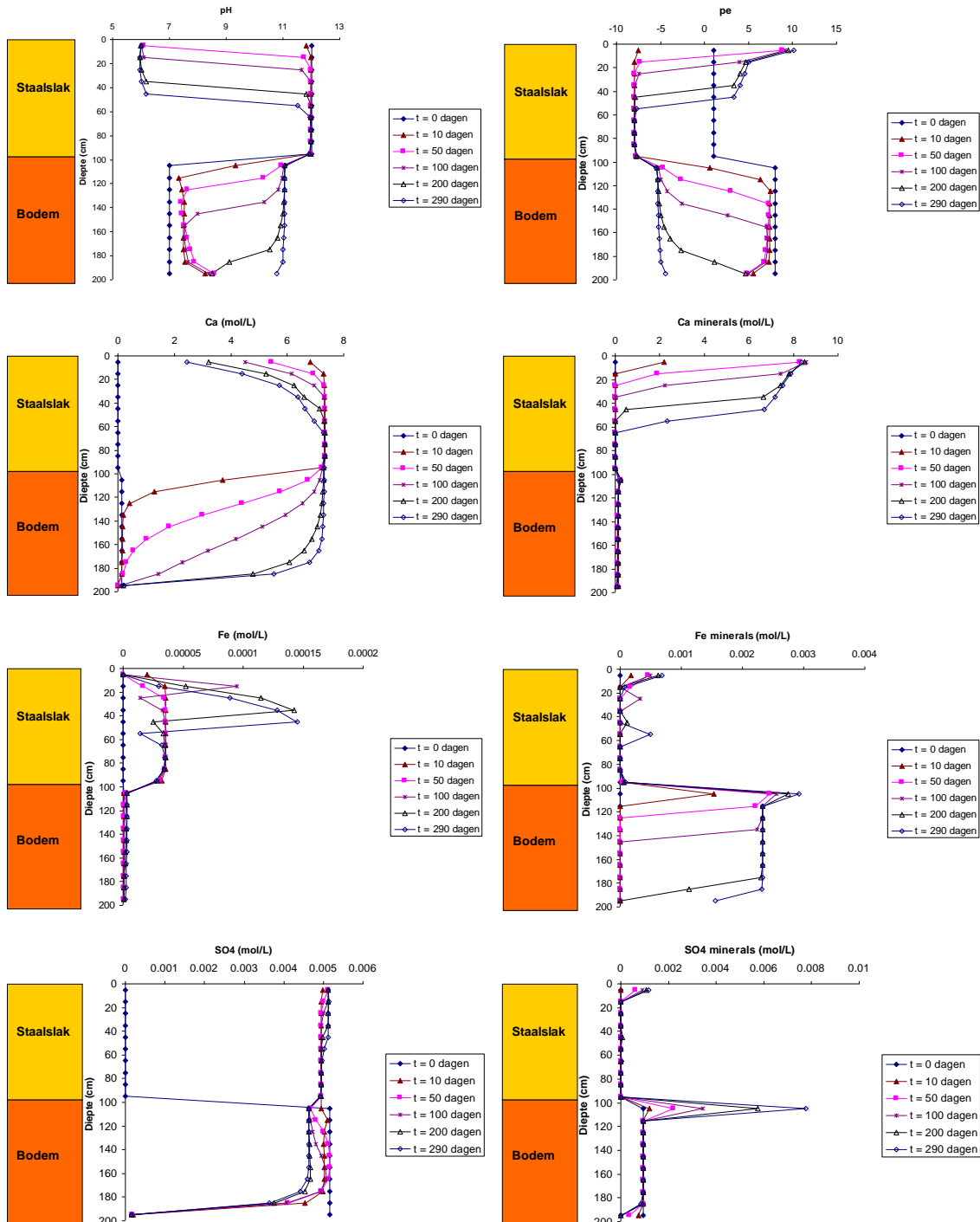
Omstandigheden modelberekening:

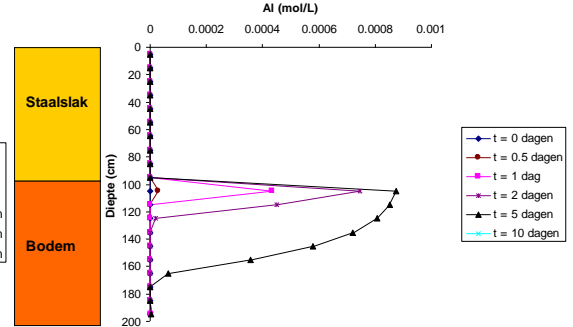
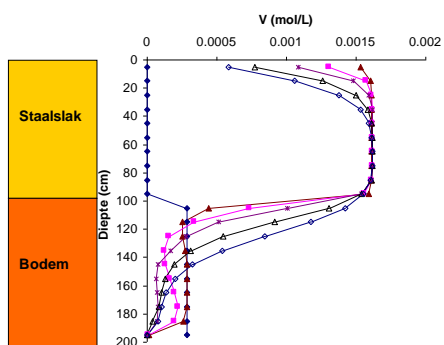
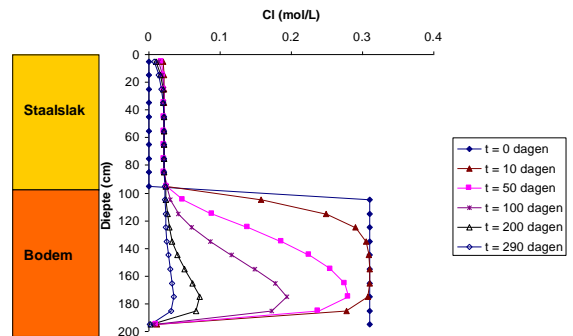
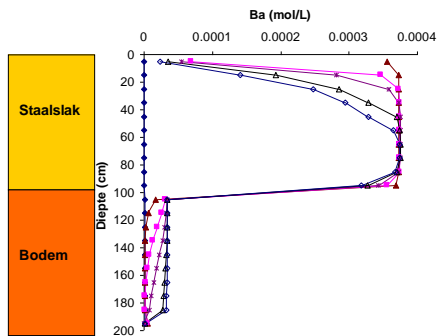
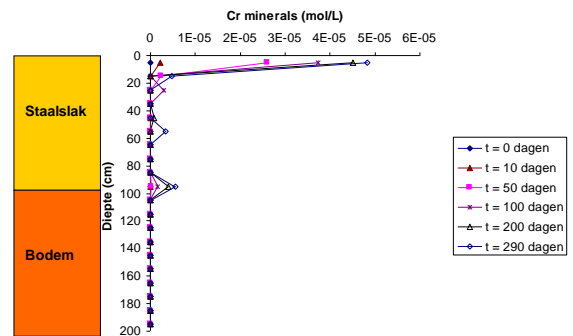
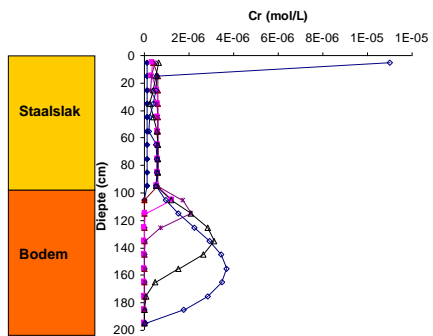
Infiltratie: 100 mm

Korrelgrootte staalslak: 5% 40 mm, 10% 10 mm, 85% 1 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





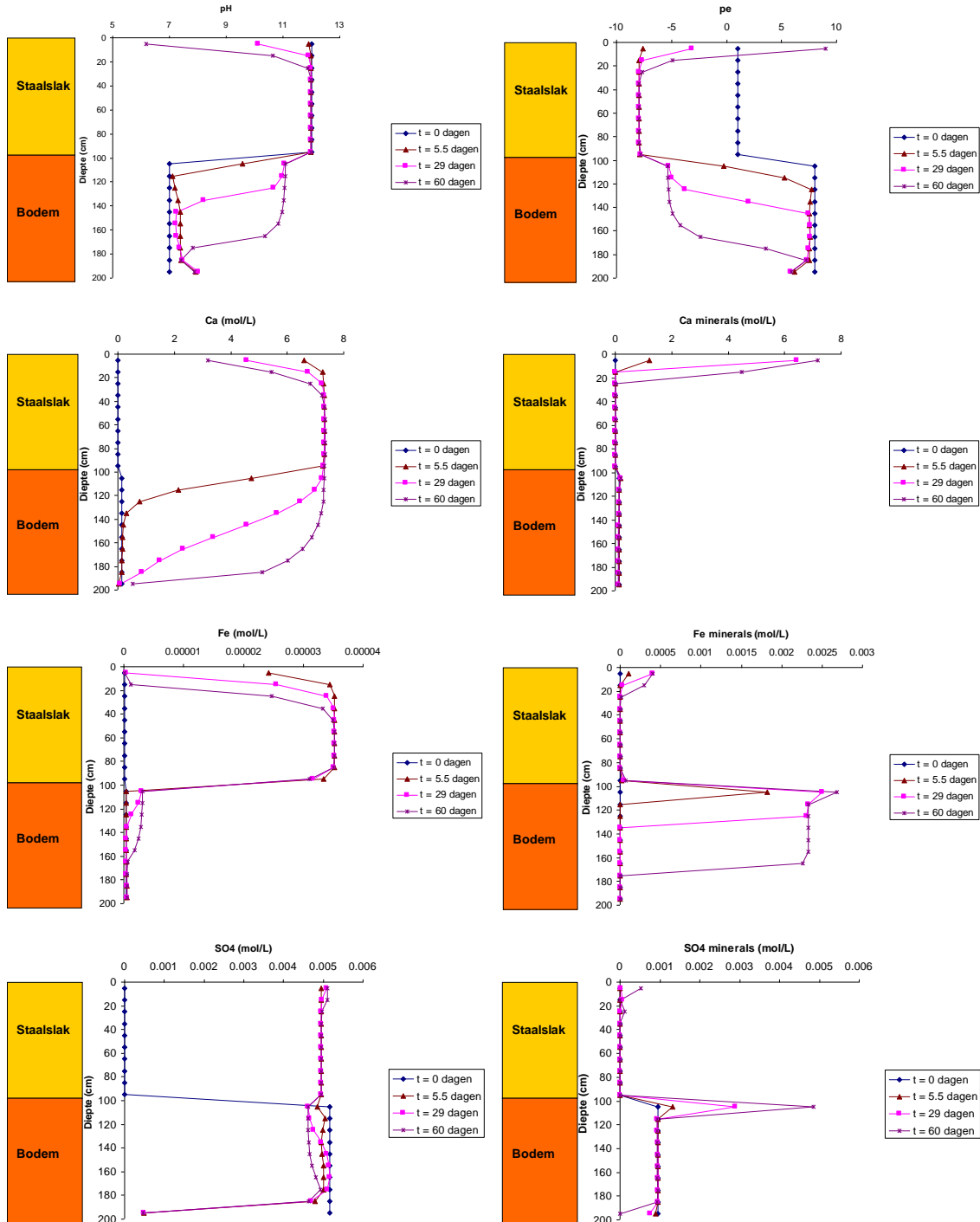
Omstandigheden modelberekening:

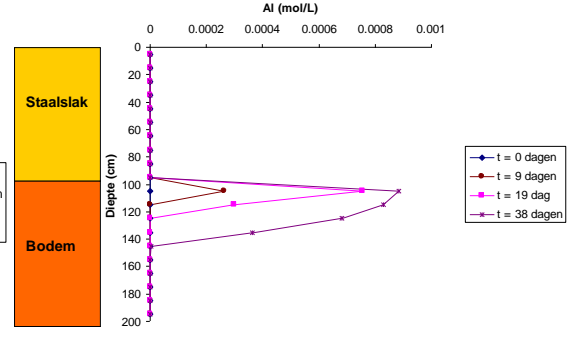
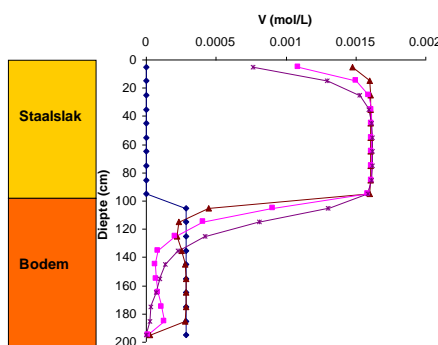
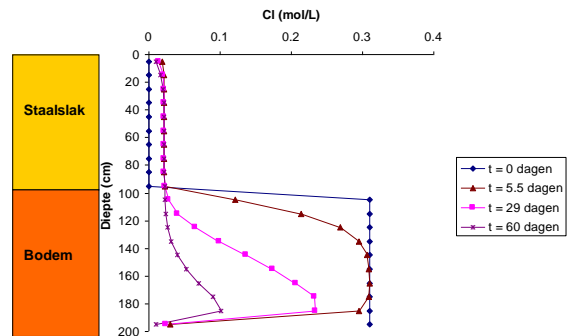
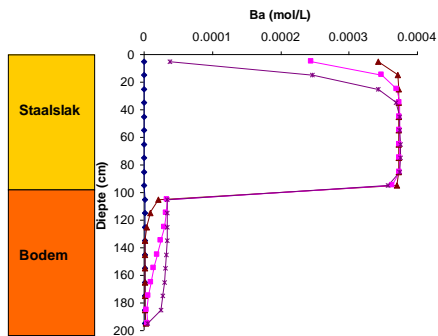
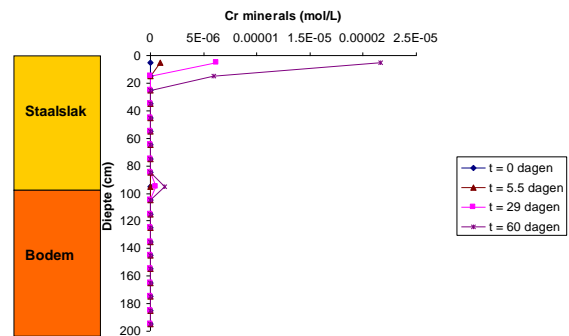
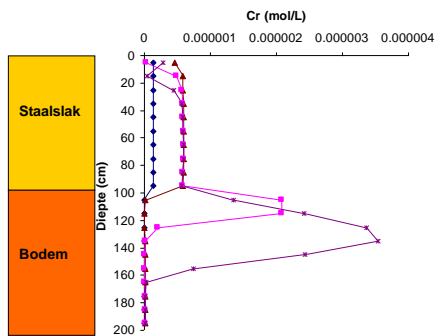
Infiltratie: 300 mm

Korrelgrootte staalslak: 5% 40 mm, 10% 10 mm, 85% 1 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





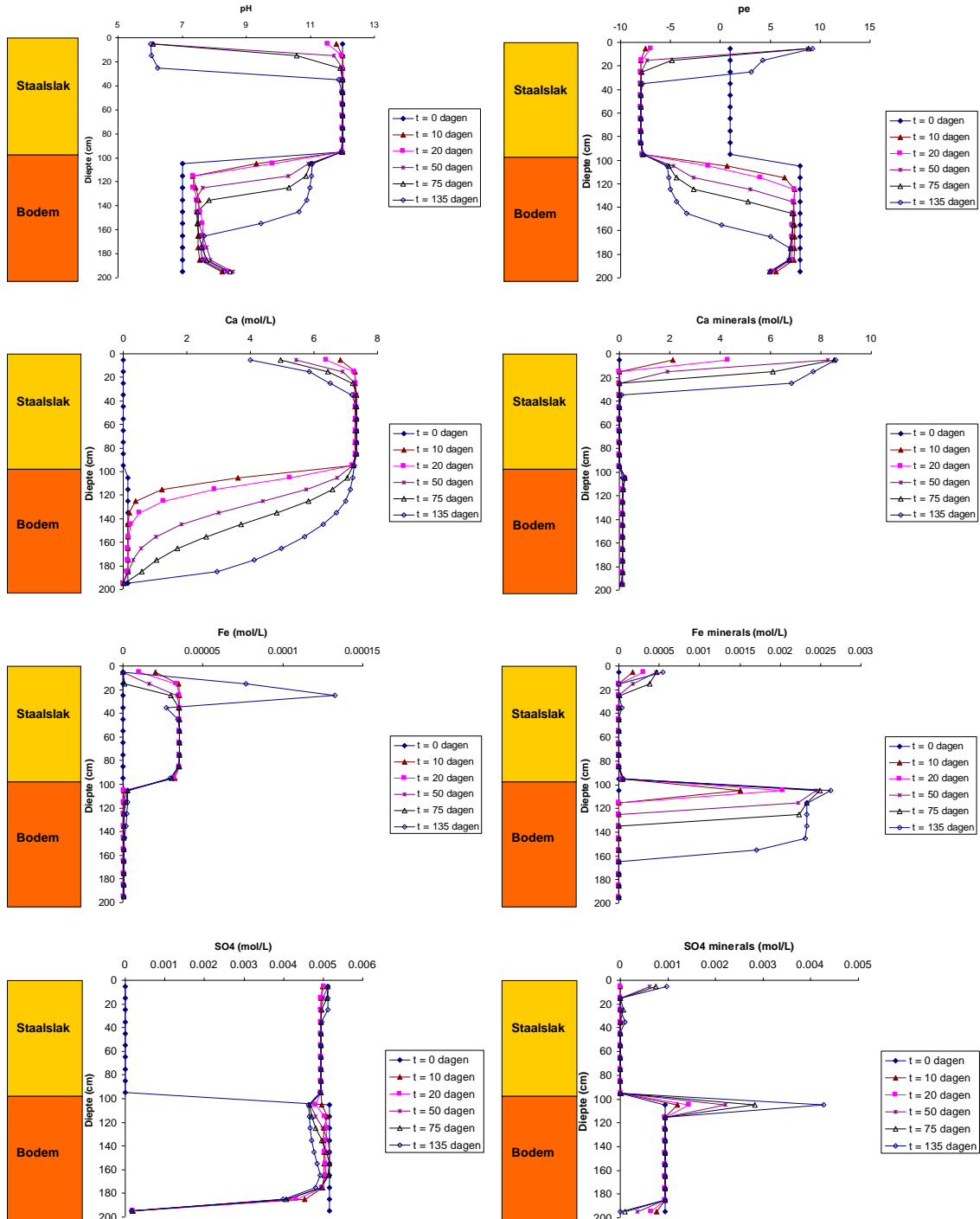
Omstandigheden modelberekening:

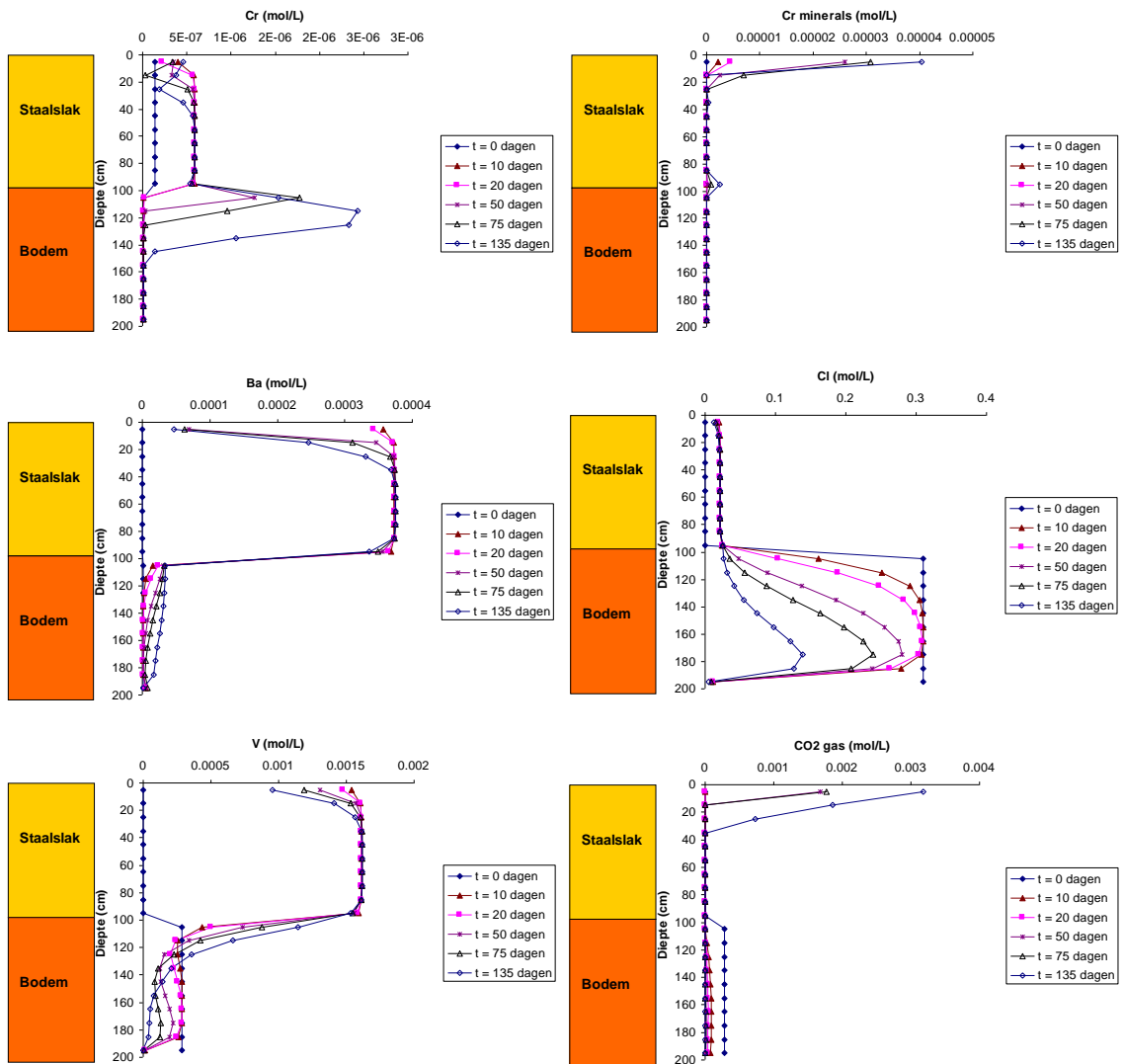
Infiltratie: 1000 mm

Korrelgrootte staalslak: 5% 40 mm, 10% 10 mm, 85% 1 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





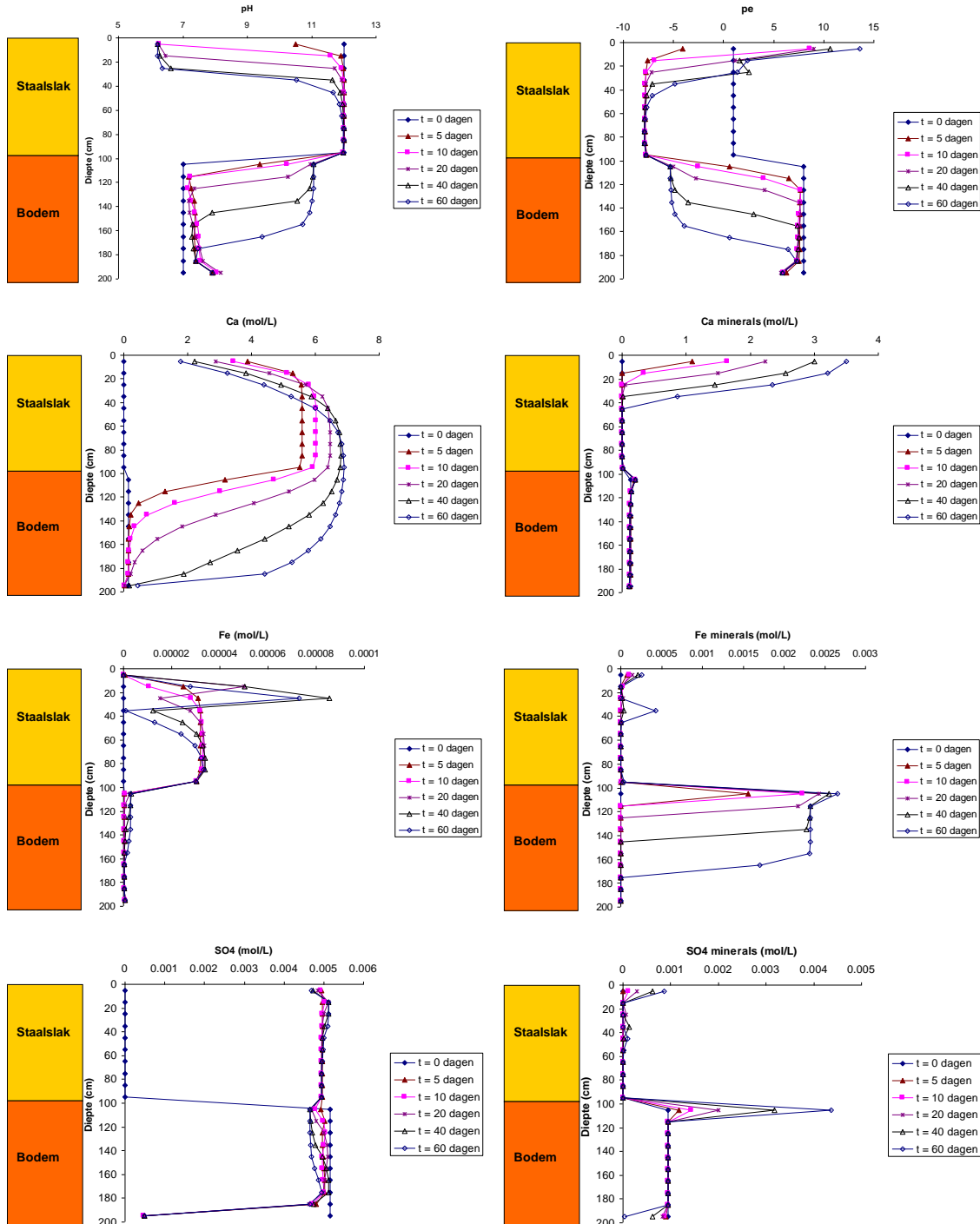
Omstandigheden modelberekening:

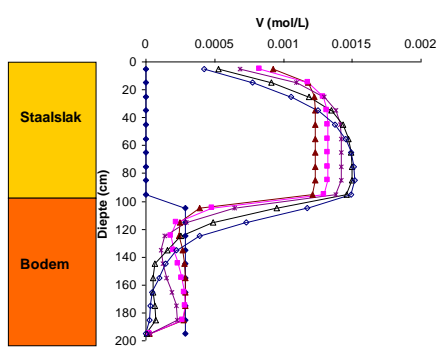
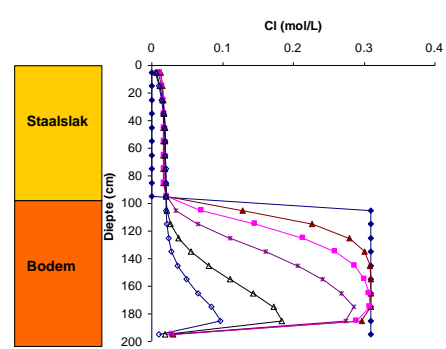
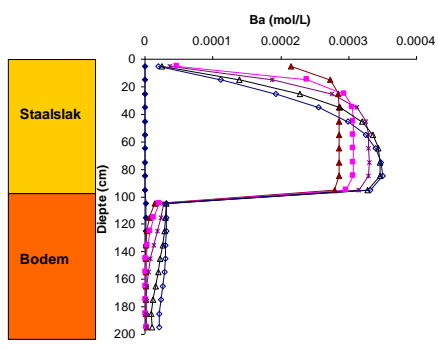
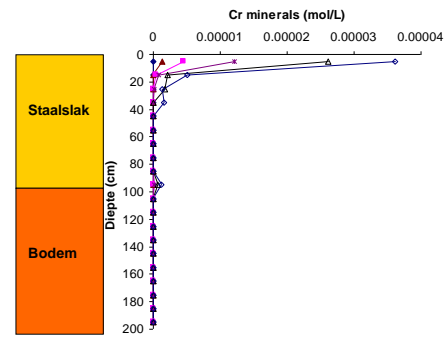
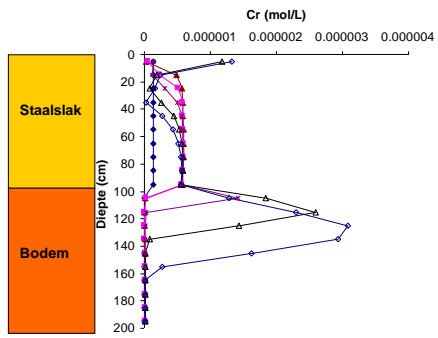
Infiltratie: 300 mm

Korrelgrootte staalslak: 62% 40 mm, 29% 10 mm, 1% 1 mm

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit atmosfeer: ja

Gasdiffusie CO₂ en O₂ uit bodem: ja





Bijlage C Informatie over toepassing van beton in vijverconstructies

Informatie afkomstig van enkele websites, die ter informatie letterlijk zijn overgenomen:

<http://www.siertuinen.info/vijver.shtml>

Een folie- of polyestervijver is direct klaar voor gebruik en hoeft u dus niet eerst te logen. Kiest u echter voor een betonnen of gemetselde vijver, dan moet u deze eerst goed uitlogen en enkele keren van schoon water voorzien, voordat u met de definitieve inrichting kunt beginnen.

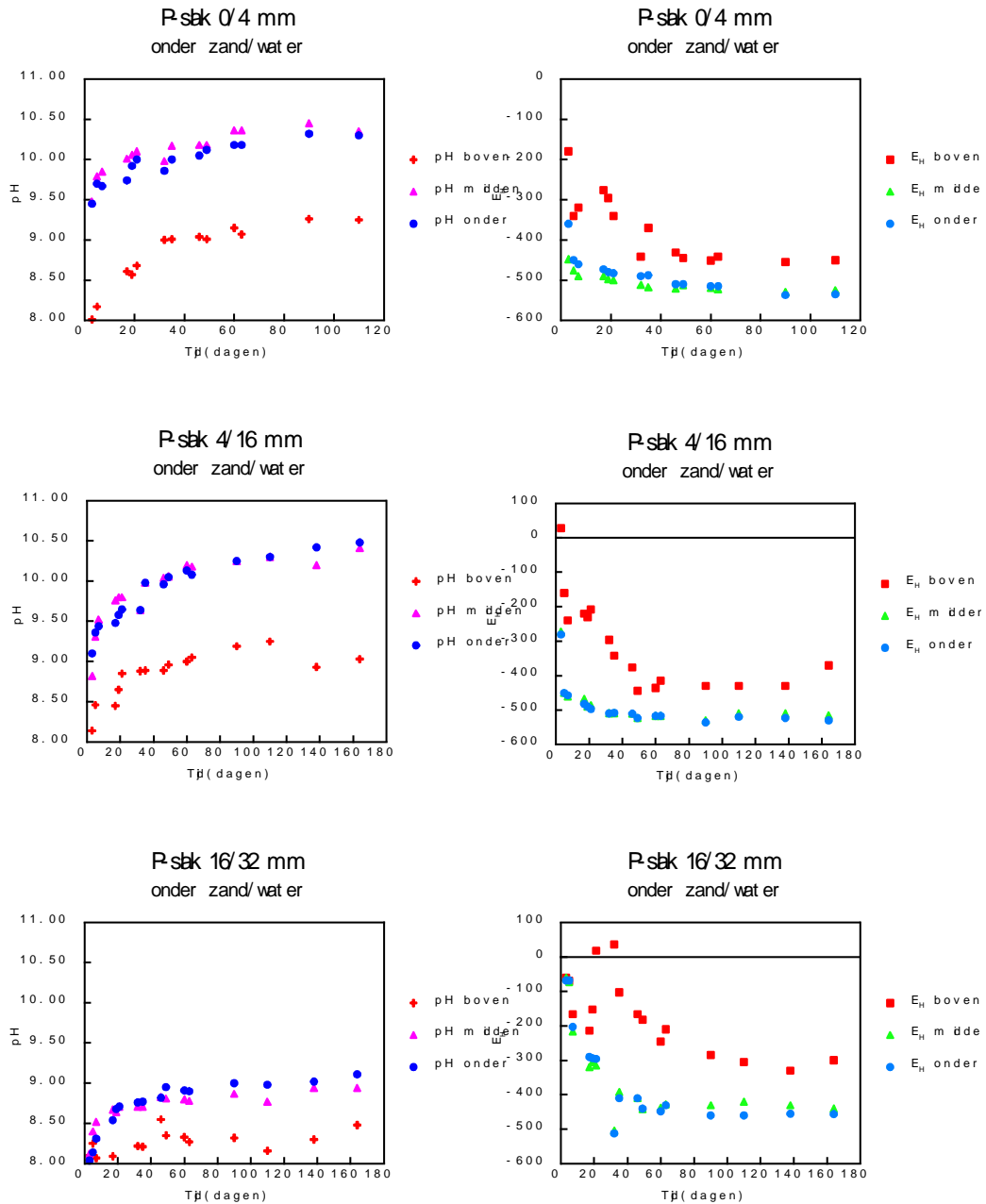
<http://www.pondlibrary.com/artikel/126/10/Materialen-voor-het-maken-van-een-vijver.htm>

Beton wordt veel gebruikt voor vijverconstructies. Bekistingproblemen zorgen echter wel voor beperkingen aan de vormgeving. In een tuin met strakke lijnen vormen deze vijvers een pluspunt omdat men vorm en hoogte zeer goed in stand kan houden. Een bewapening is vaak noodzakelijk, evenals uitzetvoegen als het over een grotere constructie gaat. Best is een deskundige om advies te vragen. Qua waterdichtheid vormen betonvijvers weinig problemen. Ook bij het plaatsen van plantenbakken, manden en dergelijke zullen zich geen problemen voordoen. Het is wel noodzakelijk de betonwanden goed zuiver te maken alvorens de vijver met water te vullen. Goed schrobben met een "stijve borstel" is geen overbodige luxe. Beton scheidt immers kalk af en bevat bovendien allerlei producten die schadelijk zijn voor planten en vissen. Driemaal na elkaar gedurende een week de vijver vul water laten staan en terug leegmaken. Tenzij het beton geschilderd wordt met een kleurloos neutraliserend product (silicone) of met verf op basis van chloorrubber.

<http://www.seniorweb.nl/klusgroep/Klussen/Beton.htm>

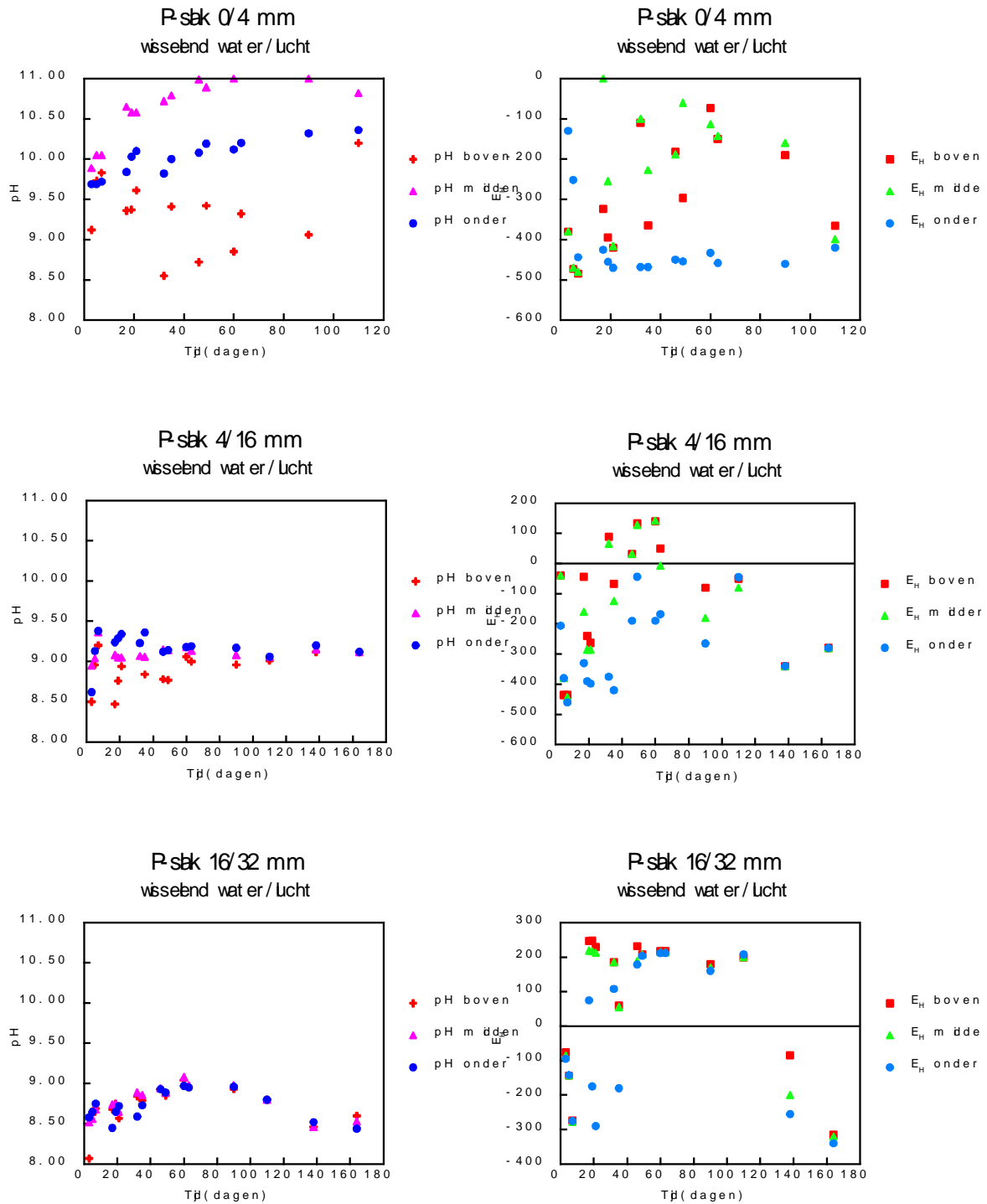
Het beton 28 dagen laten drogen. Voordat er vis in kan moet of de vijver een paar keer goed gespoeld worden (cement is giftig) of je verft de bodem met een betonverf.

Bijlage D Effecten van korrelgradatie op de pH en redox potentiaal van slakken



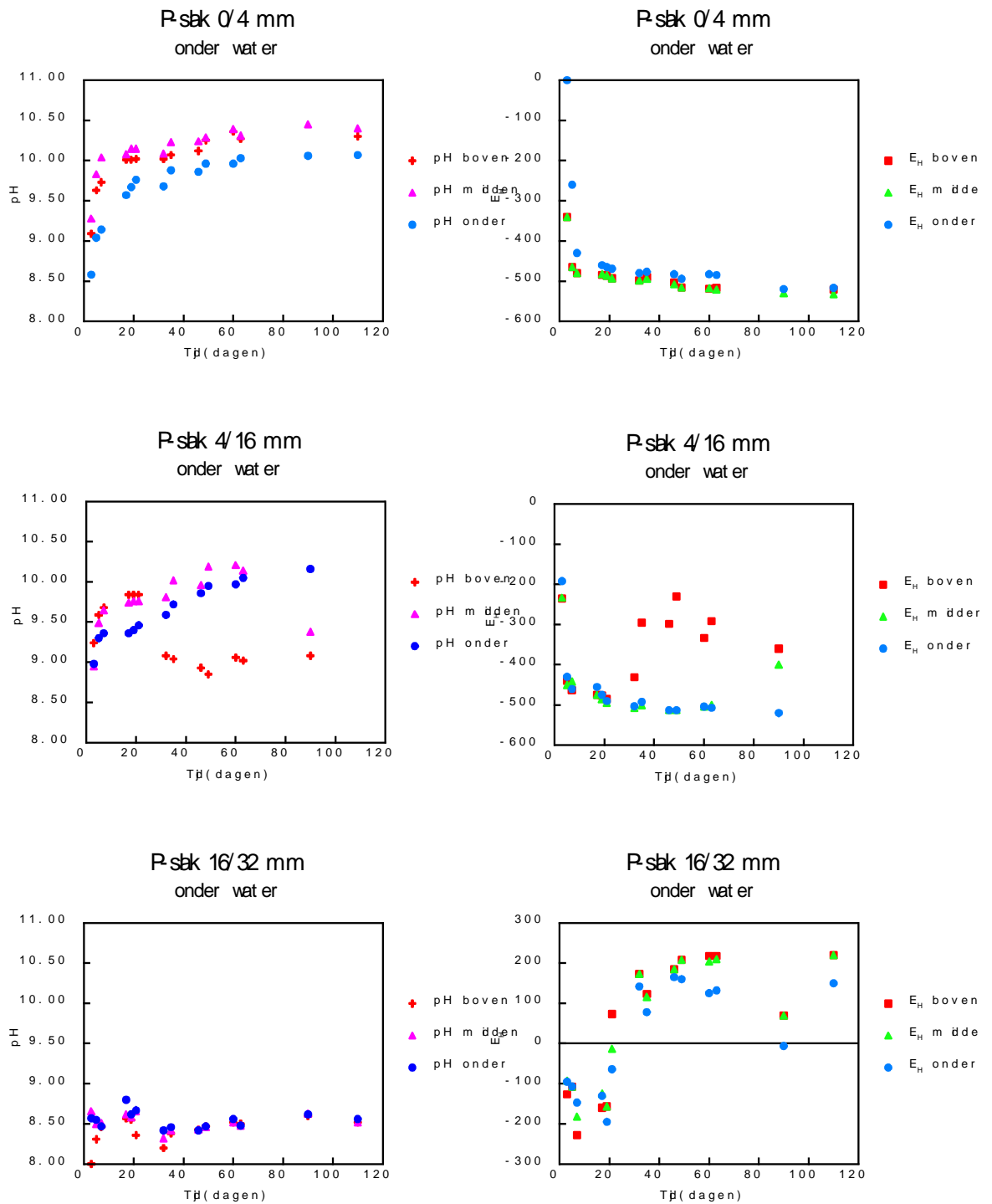
Figuur D.1 *Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak onder water met een afdeklaag van zand.*

Fijn korrelig: hoge pH en lage redox waarde (sulfide). Grof korrelig: meer neutrale pH condities en minder lage redox potentiaal. Bovenste positie in de tank (meer blootstelling aan carbonatatie en oxidatie) heeft duidelijk hogere redox en lagere pH. Significant verschil ook voor fijnkorrelig materiaal.



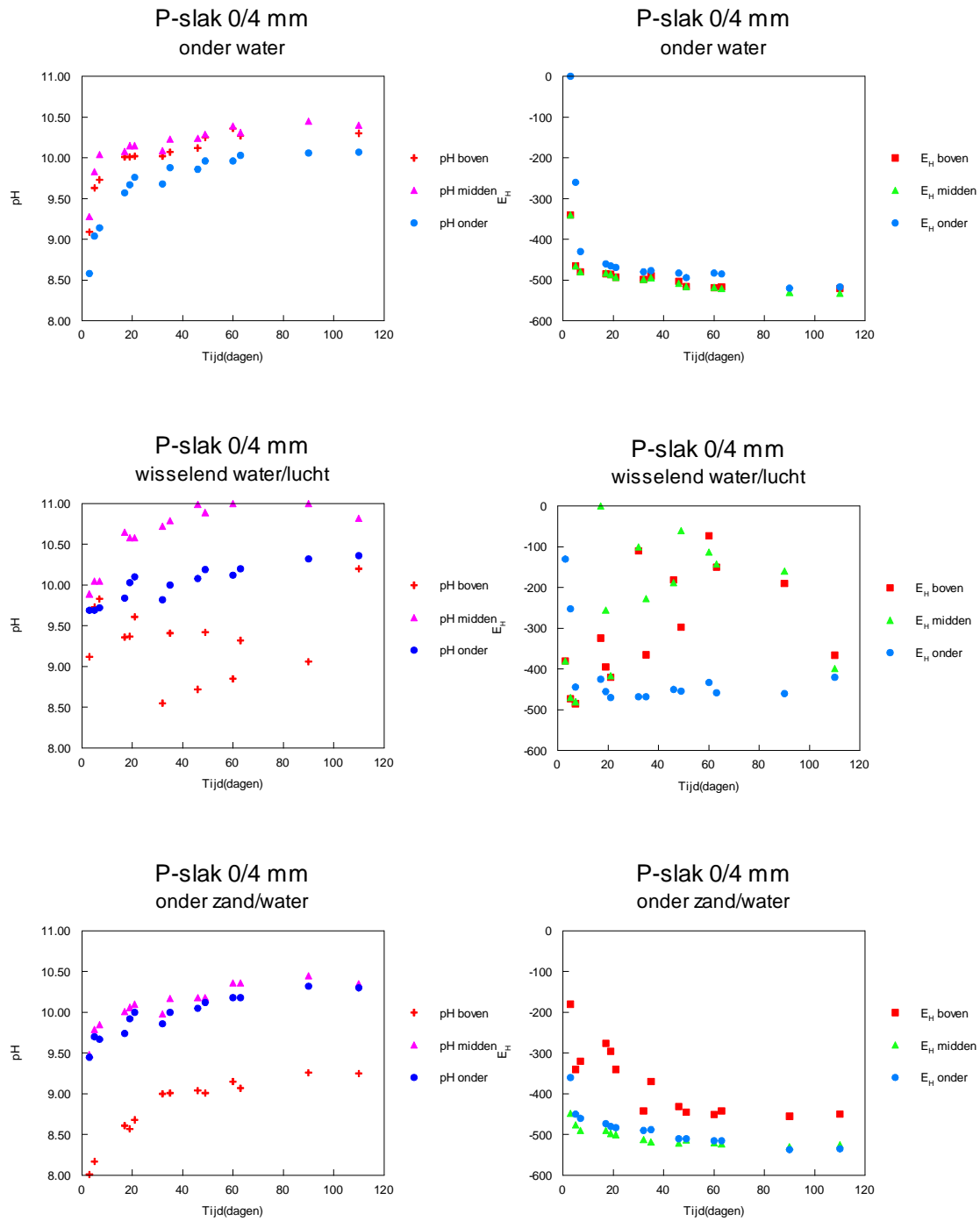
Figuur D.2 *Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak in afwisselend nat en droog situatie*

Fijn korrelig: hoge pH en lage redox waarde (sulfide). Grof korrelig: neutrale pH condities en grotendeels geoxideerde condities na water verzadiging weer lage redox. Bovenste positie in de tank (meer blootstelling aan carbonatatie en oxidatie) heeft duidelijk hogere redox en lagere pH. Significant verschil ook voor fijnkorrelig materiaal. Minder hoge pH en minder lage redox dan met zand afgedekt systeem.

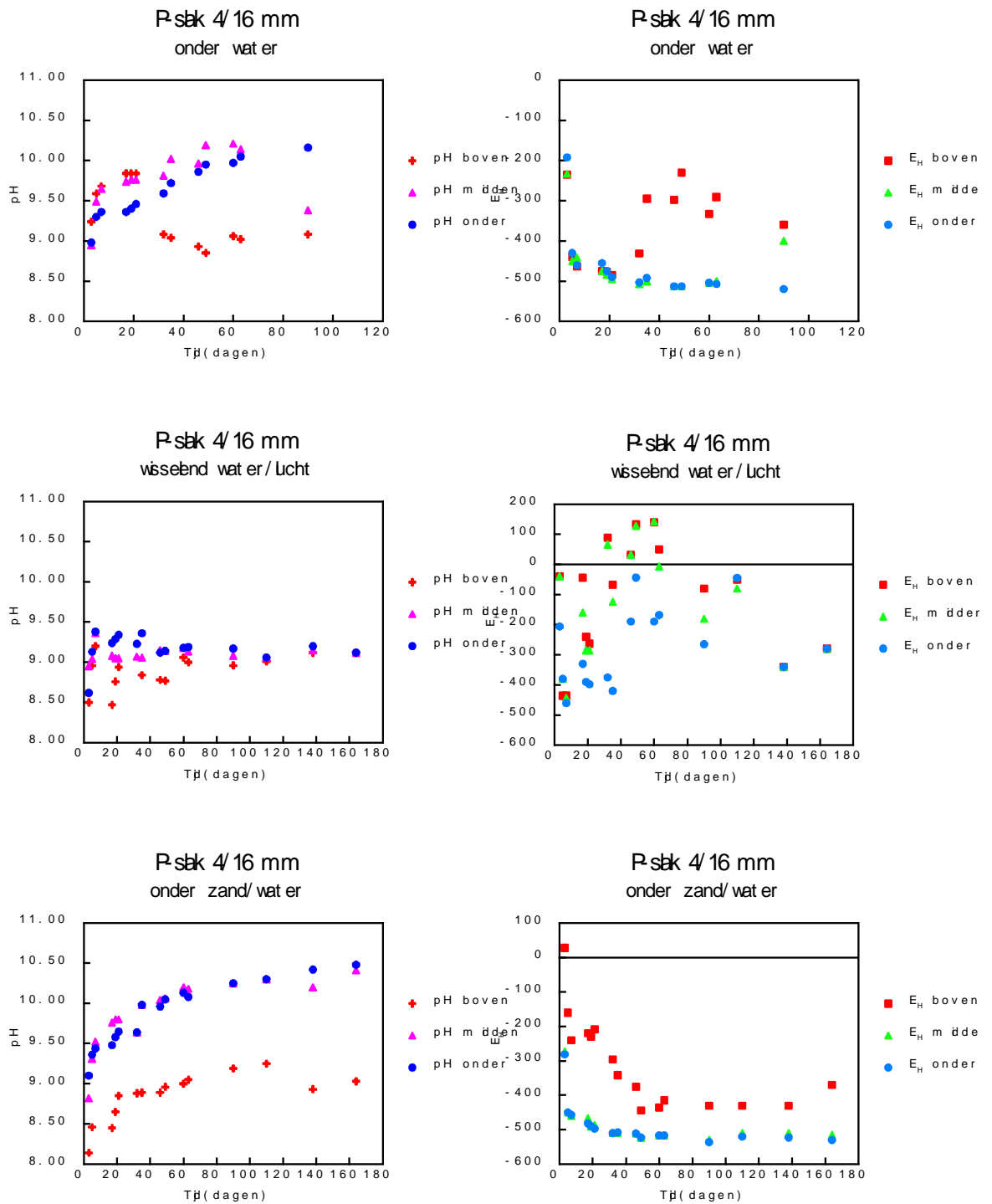


Figuur D.3 *Effect van korrelgradatie op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak. Situatie: P-slak permanent nat*

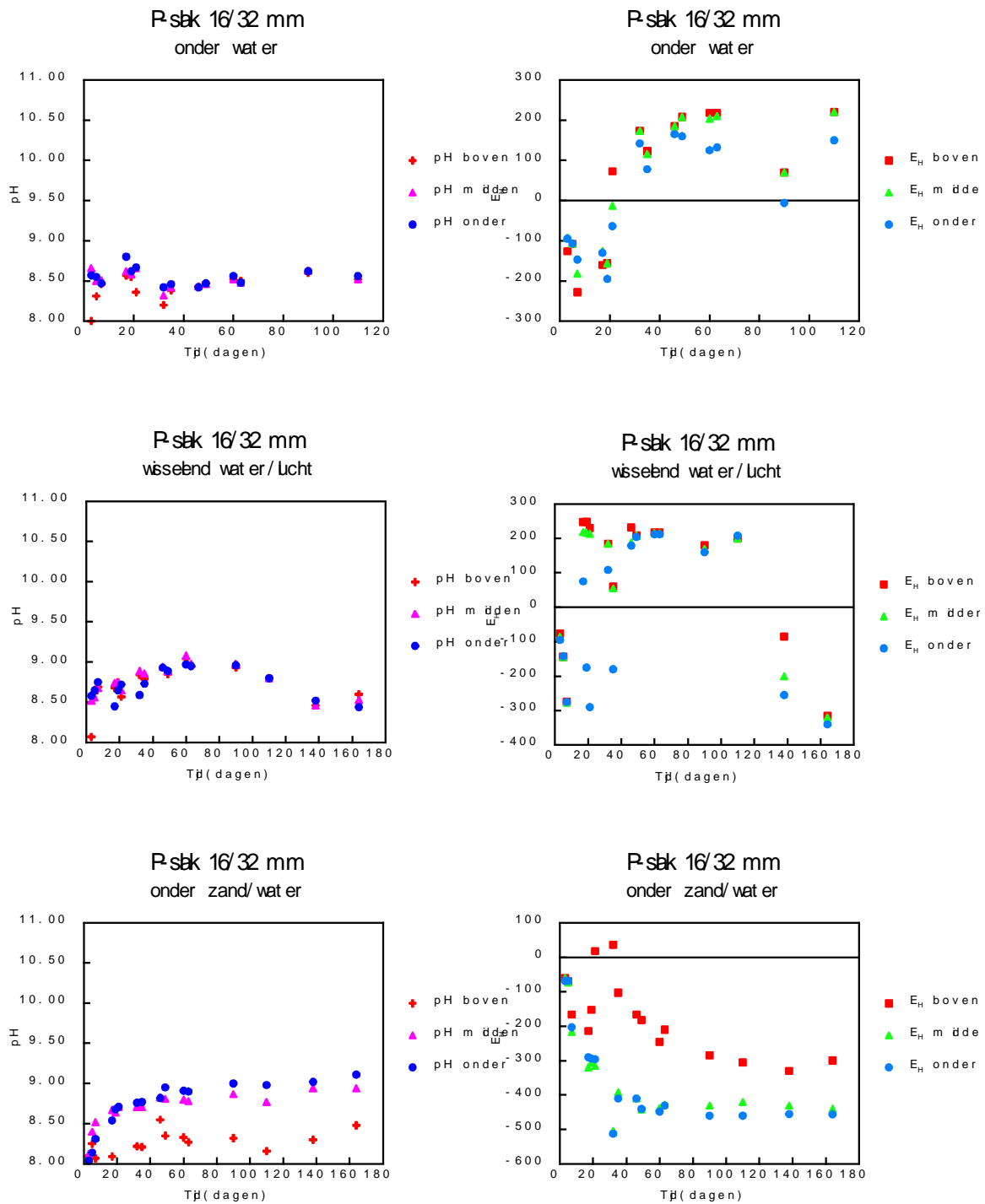
Fijn korrelig: hoge pH en lage redox waarde (sulfide). Grof korrelig: neutrale pH condities en grotendeels geoxideerde condities. Relatief weinig verschil tussen de hoogte in de tank (ca. 50 cm). Alleen voor de midden gradatie en de hoogste positie in de tank verschil voor pH en Eh.



Figuur D.4 *Effect van diverse scenario's voor relatief fijnkorrelig materiaal (0-4 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak*



Figuur D.5 *Effect van diverse scenario's voor een midden fractie materiaal (4-16 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (E_H als functie van de tijd) van P-slak*



Figuur D.6 *Effect van diverse scenario's voor een grove fractie materiaal (16-32 mm) op de carbonatatie (pH als functie van de tijd) en oxidatie (EH als functie van de tijd) van P-slak*

Bijlage E Veldgegevens

Monitoringsronde ter plaatse van de Marowijnen te Zwaag met Unihorn BV

Dinsdag 22 november 2005

Contactpersonen Unihorn BV : Ycor van Gelder-Entius, Jeroen J. Bleeker

Gebruikte apparatuur

- Eijkelkamp slangenpomp (Unihorn)
- Peilapparaat met licht-/geluid signaal voor het van meten van de grondwaterstand (Unihorn)
- Eijkelkamp multimeter voor veldanalyse (AP-1828) + redox electrode en temperatuurvoeler (ECN)
- pH meter Inolab WTW (Unihorn)
- pH-electrode sentix mic WTW, met ingebouwd sensor voor temperatuurcorrectie (Unihorn)

Opmerkingen

- Bij aanvang van de monitoring bleek de doorstroom pHelectrode van Unihorn niet te werken, later op de ochtend werd een andere pHmeter + electrode gebracht (WTW), van een aantal monsters is dus later op de dag pas de pH (en nogmaals de Eh) gemeten.
- pH electrode was reeds op het lab van Unihorn gekalibreerd met buffer 7 en 10, in het veld waren geen buffers om te controleren.
- Redox buffer 245 mV (10 gr.C) gaf 282 mV (bij 5.7 graden).
- Redox buffer 452 mV (10 gr.C) gaf 449 mV (bij 5.7 graden).
- Redox electrode heeft zeer veel tijd nodig om te stabiliseren wanneer het voorgaande gemeten monster sterk reducerend was.
- Bij de meeste peilbuizen zit de slang (PE), waardoor het grondwater wordt opgepompt, in de peilbuis en wordt ieder keer hergebruikt na even te zijn doorgespoeld met het eerste opgepompte grondwater.
- Van een aantal monsters is een submonster bemonsterd voor DOC, deze is direct gefiltreerd mbv een 50ml spuit en opzet filter (0.2µm, gespoeld DD).
- Monsters Peilbuizen 14 en 20 waren bijna niet te filtreren.
- De onderstaande volgorde van de peilbuizen is ook de volgorde van bemonstering geweest. De oppervlaktewaters zijn tussendoor bemonsterd wanneer we in de buurt waren van een monstername punt.

nr. peilbuis	kleur	grondwater stand (m)	redox mV (gecorrigeerd)	pH	temp. oC	opmerkingen
1	helder/kleurloos	2.09	16	12.80	7.6	
2	-	2.13	366	7.33	11.1	
23	troebel	1.77	326	7.22	9.7	
20	troebel	1.25	102	9.41	7.6	rotte eierenlucht, zeer moeilijk te filtreren
24	troebel	1.74	344	7.31	9.4	pH wordt niet stabiel?! Na 10 min. 8.68.
25	helder/kleurloos	1.73	367	7.06	11.8	
18	troebel	1.81	250	7.28	10.3	
19	licht troebel	1.20	266	7.48	7.9	
17	helder/kleurloos	1.53	250	7.12	10.6	
27	helder/kleurloos	0.91	278	7.86	10.6	
26	helder/kleurloos	1.97	302	10.1	7.3	
6	helder/kleurloos	1.03	473	7.31	11.2	
21	troebel/grijs	1.17	324	7.31	11.6	
15	troebel/grijs	0.90	276	7.14	10.9	
14	helder	0.98	161	6.91	11.1	Fe aanslag aan buitenkant monsterslang, zeer moeilijk te filtreren
13	helder	1.00	95	7.57	11.1	rotte eierenlucht
11	helder	1.15	195	7.22	10.6	rotte eierenlucht
22	troebel/geelgrijs	0.58	60	6.91	10.7	rotte eierenlucht
12	iets troebel/grijs	0.62	258	7.21	9.4	
10	-	1.33	150	6.89	11.8	
9	helder/kleurloos	1.35	291	7.05	12.3	
7	grijs	1.56	332	7.30	11.4	
6	helder	0.95	129	7.53	11.4	
5	helder	1.11	309	7.11	11.0	
4	lichtgrijs	1.20	224	7.62	12.1	
8	-	1.40	349	7.03	12.3	
3	-	1.69	187	6.95	12.0	
Grondslag 1	-	0.60	341	8.25	10.4	
31	-	0.94	240	6.89	12.1	
30	-	1.24	122	6.74	10.7	Fe aanslag aan buitenkant monsterslang
Grondslag 3	helder	1.25	286	7.82	10.4	
29	helder	1.43	132	7.08	12.5	rotte eierenlucht
28	helder	2.25	118	7.16	11.2	rotte eierenlucht
32	helder	1.25	-62	13.06	12.5	rotte eierenlucht
Grondslag 2	-	1.77	273	8.77	12.1	

Figuur E.1 *Volledig overzicht meetresultaten van de monsterneming in peilbuizen op locatie "de Marowijne" te Hoorn*

Bijlage F Conceptrapport pH en redoxwaarden in
praktijktoepassingen van bouwstoffen (Tauw, 2005)

pH en redoxwaarden in praktijktoepassingen van bouwstoffen

Concept, 14 oktober 2005

pH en redoxwaarden in praktijktoepassingen van bouwstoffen

Metingen Tauw en literatuurwaarden

ConceptKenmerk R001-4420225JJS-V01

Verantwoording

Titel	pH en redoxwaarden in praktijktoepassingen van bouwstoffen
Opdrachtgever	ECN, Petten
Projectleider	ir. Jaap Steketee
Auteur(s)	ir. Jaap Steketee
Projectnummer	4420225
Aantal pagina's	28 (exclusief bijlagen)
Datum	14 oktober 2005
Handtekening	

Colofon

Tauw bv
afdeling Milieu & Veiligheid
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Inhoud

Verantwoording en colofon	89
1 Inleiding	92
2 Beschikbare gegevens	94
2.1 AVI-bodemas	94
2.2 Puingranulaat.....	99
2.3 Hoogoven- en staalslakken	101
2.4 Overige materialen	105
2.4.1 Lavaliet	105
2.4.2 Mijnsteen	105
3 Discussie en conclusies	109
3.1 pH-waarden in de praktijk en in het laboratorium	109
3.2 pH in het ontvangende milieu	110
4 Referenties	112

Concept

Kenmerk R001-4420225JJS-V01

1 Inleiding

In de praktijk blijken soms problemen te ontstaan met de waterkwaliteit omdat het percolaat van sommige secundaire bouwstoffen sterk basisch en/of reducerend kan zijn. Dit rapport geeft een overzicht van praktijkwaarden van pH en redoxpotentiaal, die bekend zijn bij Tauw. Navolgend wordt een overzicht gegeven van de resultaten, waarbij het type constructie, de monsterneming, de meetresultaten en (indien bekend) tevens de resultaten van uitloogproeven worden vermeld. Naast metingen aan praktijktoepassingen en lysimeters, worden ook een aantal resultaten vermeld van grootschalige laboratoriumproeven met onverkleind materiaal.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten geëvalueerd.

Concept

Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Beschikbare gegevens
1.1 AVI-bodemas
Tabel 1.1 Gegevens praktijkproef Borchwerf [1]

Project/locatie/jaar	Borchwerf, Roosendaal, 1983-1985
Soort toepassing	Wegfundering
Herkomst materiaal	Roteb
Dimensies proefvak (h*b*l, in meters)	0,3*6*100
Hoeveelheid in proefvak (ton)	3,9; verondersteld is dat alleen de uitstekende schouders van de fundering worden doorstroomd
Dichtheid (kg/m ³)	Ca. 1750
Bovenliggende lagen	15,5 cm asfalt
Onderliggende lagen	0,35 meter zand
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat zandcunet is gepasseerd. Proefvak is volledige doorsnede wegvak, inclusief stukje berm
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters uit buffervat, eerst 1x/2 weken (3,5 mnd), daarna 1x/mnd (9 mnd), daarna 1x/2mnd (12 mnd)
L/S-waarde en tijd	L/S na 2 jaar 6,7, berekend op materiaal in schouders
pH in percolaat	4,2 bij start, 6,0 bij einde metingen
Eh in percolaat	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater	Niet gemeten
pH in kolomproef	L/S 0,1 tot 5: pH 9,5 – 10,4 (stijgt gedurende proef)

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Tabel 1.2 Gegevens praktijkproef A15 [2,3]

Project/locatie/jaar	A15, Rozenburg, 1990-1993 en 1999/2000
Soort toepassing	Ophoging
Herkomst materiaal	Rozenburg/Roteb/Den Haag
Dimensies proefvak 2 (h*b*l, in meters)	4*10*39 (l*b = basis proefvak, hoogte in talud variabel)
Hoeveelheid in proefvak (ton)	1750
Dichtheid (kg/m ³)	Ca. 1550 (droog)
Bovenliggende lagen	Asfalt/fundering (deels); bermgrond; 1 meter zand (bovenop); op taluds circa 0,8 meter grond; overall 0,2 meter zandbentoniet
Onderliggende lagen	0,5 meter zand, in proefvak 0,8 meter
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat zandcunet is gepasseerd. Proefvak is volledige doorsnede ophoging
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters uit buffervat, eerst 1x/week (2 mnd), daarna 1x/4 weken (5 mnd), daarna 1x/11 weken (10 mnd), daarna 1x/21 weken (15 mnd)
L/S-waarde en tijd	L/S na 2,7 jaar 0,09, berekend op totale hoeveelheid bodemas in proefvak L/S na 10 jaar 0,06 onder asfalt, 0,45 in talud (berekende waarde)
pH in percolaat 1990-1993	7,0/7,4 bij start, 7,5/8,0 bij einde metingen, waarden fluctueren gedurende de meetperiode weinig en liggen meestal rond 7
Eh in percolaat 1990-1993	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater 1999/begin 2000	pH 10,1-10,3; Eh +64 - +187 mV
pH/Eh in percolaat in cunet 1999	pH 7,5-8,2; Eh -213 tot -143 mV
pH in schudproef L/S 20, monsters uit depot	10,9 (meting enige tijd voor aanleg van de constructie)
pH in schudproef 1999	9,9-11,0; meestal rond 10,5
pH in kolomproef 1999/2000	9,1-9,6; sommige waarden mogelijk te laag door bewaarperiode

Tabel 1.3 Gegevens praktijklocatie A27 [4]

Project/locatie/jaar	A27, Almere, 2004
----------------------	-------------------

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Soort toepassing	Ophoging
Herkomst materiaal	Roteb
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	3,3*50*2000 (l*b = basis, hoogte in talud variabel); onderzoek in één dwarsdoorsnede
Hoeveelheid (ton)	980.000
Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	Asfalt/fundering (deels), 0,4 bermgrond (bovenop) , 2 meter zand (bovenop), op taluds circa 2 meter grond; 0,2 meter zandbentoniet
Onderliggende lagen	3-3,5 meter zand in onderzochte doorsnede
Bemonsterde fase	Poriewater in bodemas, grondwater onder in cunet
Wijze van bemonstering en frequentie	Cunetzand uit boring, directe meting verzadigd materiaal. Grondwater via peilbuizen
L/S-waarde en tijd	L/S na 8 jaar 0,32 (globale berekening)
pH in grondwater	6,0-9,0 (2001; peilbuizen verspreid over locatie); 7,0-7,1 (4 filters in onderzochte dwarsdoorsnede)
Eh in grondwater	-7 tot +52 mV
pH/Eh in poriewater	12,5/-711 mV
pH in schudproef L/S 20, uitgangsmateriaal	10,3 (waarde lijkt te laag)
pH in schudproeven L/S 20, 2004	10,9-12,2 (meeste waarden circa 11)
pH in kolomproef 2004	12,6 (gemiddelde tot L/S = 5)

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Tabel 1.4 Gegevens semipraktijkproef Tauw [5-7]

Project/locatie/jaar	Semipraktijkonderzoek DWW, laboratorium Tauw, 1989-1991
Soort toepassing	Grote kolom
Herkomst materiaal	Onbekend
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	3 meter hoog, 0,6 m diameter
Hoeveelheid (ton)	1,18
Dichtheid (kg/m ³)	1.400
Bovenliggende lagen	geen
Onderliggende lagen	Laagje glaswol
Bemonsterde fase	Percolaat uit kolom
Wijze van bemonstering en frequentie	Percolaat werd verzameld in gesloten systeem, mengmonsters werden regelmatig geanalyseerd
L/S-waarde en tijd	L/S na 16,5 maand 0,44
pH in percolaat	8,3 in 1 ^e fractie (L/S 0,01), maximaal 8,8 bij L/S 0,05, 7,9 bij L/S 0,42; gemiddeld 7,6
Eh in percolaat	241 mV na 11mnd, 54 mV na 14,5 mnd (in andere kolom -330 mV)
pH/Eh in poriewater	Niet gemeten
pH in kolomproef, uitgangsmateriaal	7,2-10,9 (7,2 alleen in fractie L/S 0,1, pH in meeste fracties circa 10)
pH in kolomproef na uitvoering	7,4-9,3
semipraktijkproef	

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Tabel 1.5 Gegevens praktijkproef Maasdam [8]

Project/locatie/jaar	S43, Maasdam, 1990-1991
Soort toepassing	Wegfundering
Herkomst materiaal	Onbekend. Gestabiliseerde bodemas: 70% bodemas, 30% zand, 3% cement
Dimensies proefvak (h*b*l, in meters)	0,3*5*6
Hoeveelheid in proefvak (ton)	16
Dichtheid (kg/m ³)	Ca. 2000
Bovenliggende lagen	8 cm asfalt
Onderliggende lagen	0,20 meter zand, in proefvak 0,10 meter
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat zandcunet is gepasseerd. Proefvak is volledige doorsnede wegvak, inclusief berm boven de uitstekende schouder
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters uit buffervat, na menging, globaal 1x per maand
L/S-waarde en tijd	L/S na 1,1 jaar circa 0,4, berekend op totale hoeveelheid materiaal in proefvak
pH in percolaat	Varieert meestal tussen 6 en 7, einde onderzoek circa 7
Eh in percolaat	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater	Niet gemeten
pH in kolomproef	L/S 11,2 -11,5 (mengmonsters L/S 0-10)
pH in diffusieproef	6,0-9,8; gemiddeld 8,2

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

1.2 Puingranulaat

Tabel 1.6 Gegevens praktijkproef Maasdam [8]

Project/locatie/jaar	S43, Maasdam, 1990-1991
Soort toepassing	Wegfundering
Herkomst materiaal	Onbekend. Puingranulaat (50% betonpuin, 50% metselwerkpuin) is gestabiliseerd met 10% staalslak
Dimensies proefvak (h*b*l, in meters)	0,3*5*6
Hoeveelheid in proefvak (ton)	16
Dichtheid (kg/m ³)	Ca. 2000
Bovenliggende lagen	8 cm asfalt
Onderliggende lagen	0,20 meter zand, in proefvak 0,10 meter
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat zandcunet is gepasseerd. Proefvak is volledige doorsnede wegvak, inclusief berm boven de uitstekende schouder
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters uit buffervat, na menging, globaal 1x per maand
L/S-waarde en tijd	L/S na 1,1 jaar circa 0,4, berekend op totale hoeveelheid materiaal in proefvak
pH in percolaat	Varieert meestal tussen 6 en 8, einde onderzoek circa 7
Eh in percolaat	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater	Niet gemeten
pH in kolomproef	L/S 12,1 -12,2 (mengmonsters L/S 0-10)

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Tabel 1.7 Gegevens semipraktijkproef Tauw [5-7]

Project/locatie/jaar	Semipraktijkonderzoek DWW, laboratorium Tauw, 1989-1991	
Soort toepassing	2x proefbak (twee identieke bakken, alleen beregeningssnelheid verschilt) (1)	
Herkomst materiaal	Onbekend, 50% metselwerkgranulaat en 50% betonpuingranulaat	
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	0,5*0,72*1,07	
Hoeveelheid (ton)	0,70	
Dichtheid (kg/m ³)	1.800	
Bovenliggende lagen	geen	
Onderliggende lagen	Filterdoek	
Bemonsterde fase	Percolaat uit bak	
Wijze van bemonstering en frequentie	Percolaat werd verzameld in gesloten systeem, mengmonsters werden regelmatig geanalyseerd	
L/S-waarde en tijd	A L/S na 16,5 maand 2,8	B L/S na 16,5 maand 0,58
pH in percolaat	8,1-11,9; gemiddeld 10,5	7,3-11,6; gemiddeld 8,0
Eh in percolaat (mV)	+134 tot +219	+222 tot +288
pH/Eh in poriewater (in situ)	Niet gemeten	Niet gemeten
pH in kolomproef, uitgangsmateriaal	11,7-12,2	11,7-12,2
pH in kolomproef na uitvoering	11,7	8,5
semipraktijkproef		

(1) Bak B: beregeningssnelheid gelijk aan gemiddelde regenval in Nederland, Bak A: beregeningssnelheid 5x versneld ten opzichte van de natuurlijke regenval

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

1.3 Hoogoven- en staalslakken

Tabel 1.8 Gegevens semipraktijkproef Tauw aan trimix [5-7]

Project/locatie/jaar	Semipraktijkonderzoek DWW, laboratorium Tauw, 1989-1991	
Soort toepassing	2x proefbak (twee identieke bakken, alleen beregeningssnelheid verschilt) (1)	
Herkomst materiaal	Nederland. Trimix bestaat voor 70% uit hoogovenstukslak, voor 20% uit staalslak en voor 10% uit slakkenzand	
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	0,5*0,72*1,07	
Hoeveelheid (ton)	0,85	
Dichtheid (kg/m ³)	2.100-2.200	
Bovenliggende lagen	geen	
Onderliggende lagen	Filterdoek	
Bemonsterde fase	Percolaat uit bak	
Wijze van bemonstering en frequentie	Percolaat werd verzameld in gesloten systeem, mengmonsters werden regelmatig geanalyseerd	
L/S-waarde en tijd	A L/S na 16,5 maand 2,16	B L/S na 16,5 maand 0,49
pH in percolaat	12,1-12,9; gemiddeld 12,7	12,2-12,6; gemiddeld 12,3
Eh in percolaat na 11/13 mnd (mV)	-145/-124 mV	+119/-123 mV
pH/Eh in poriewater (in situ)	Niet gemeten	Niet gemeten
pH in kolomproef, uitgangsmateriaal	12,2-12,8	12,2-12,8
pH in kolomproef na uitvoering	11,8-12,2	12,2-12,3

(1) Bak B: beregeningssnelheid gelijk aan gemiddelde regenval in Nederland, Bak A: beregeningssnelheid 5x versneld ten opzichte van de natuurlijke regenval

Tabel 1.9 Gegevens semipraktijkproef Fehs aan hoogovenstukslak [9]

Project/locatie/jaar	Semipraktijkonderzoek Fehs, circa 1990
Soort toepassing	Lysimeter, onderhevig aan natuurlijke regenval (1)

Concept

Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Herkomst materiaal	Duitsland	
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	0,3*1,13*3,65	
Hoeveelheid (ton)	Ca. 0,6	
Dichtheid (kg/m3)	onbekend	
Bovenliggende lagen	geen	
Onderliggende lagen	45 cm grond (zandgrond, leemgrond), 5 cm grind	
Bemonsterde fase	Percolaat uit lysimeter dat grond en grind is gepasseerd	
Wijze van bemonstering en frequentie	Maandelijks, later 1x per 2 maanden, verder geen details bekend	
L/S-waarde en tijd	A L/S na 1,2 jaar circa 1	B L/S na 1,2 jaar circa 1
pH in percolaat	4-8; meestal 6-6,5, eindwaarde ca. 6	6,5-8, meestal 7,4 (stabiele waarde na fluctuaties in het begin)
Eh in percolaat (mV)	Niet gemeten	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater (in situ)	Niet gemeten	Niet gemeten
pH in schudproef S4, uitgangsmateriaal	10,9 (L/S 10)	10,9 (L/S 10)

(1) twee identieke opstellingen, alleen ondergrond is verschillend. A bevat zandgrond, B leemgrond

Tabel 1.10 Gegevens praktijkproef Fehs aan hoogovenstukslak [9]

Project/locatie/jaar	praktijkonderzoek Fehs, circa 1990	
Soort toepassing	Proefvak in fundering	
Herkomst materiaal	Duitsland	
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	0,8*30 (=oppervlak)	
Hoeveelheid (ton)	Ca. 50	
Dichtheid (kg/m3)	onbekend	
Bovenliggende lagen	asfalt	
Onderliggende lagen	80 cm zandgrond, 50 cm grind	
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat grond en grind is gepasseerd	
Wijze van bemonstering en frequentie	Maandelijks, later 1x per 2 maanden, verder geen details bekend	
L/S-waarde en tijd	L/S na 1,6 jaar circa 0,3	
pH in percolaat	6-8,5; meestal 7-8, eindwaarde ca. 8	
Eh in percolaat (mV)	Niet gemeten	
pH/Eh in poriewater (in situ)	Niet gemeten	
pH in schudproef S4, uitgangsmateriaal	Onbekend	

Tabel 1.11 Gegevens metingen Fehs aan praktijktoepassingen hoogovenstukslak [9]

Project/locatie/jaar	praktijkonderzoek Fehs, circa 1988	
Soort toepassing	Funderingen onder asfalt, 5 verschillende locaties, 5-10 jaar oud	
Herkomst materiaal	Duitsland	

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	Normale praktijktoepassingen, monsterneming slak op 0,25 – 0,6 meter diepte
Hoeveelheid (ton)	onbekend
Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	asfalt
Onderliggende lagen	Soms cunetzand bemonsterd op 0,55-0,7 meter diepte, grond, bemonsterd op circa 0,5-1,5 meter, mengmonster
Bemonsterde fase	Vaste stoffen, onderzoek door middel van schudproef S4
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters door middel van boringen; veelal 2 boringen per locatie
L/S-waarde en tijd	5-10 jaar oud; L/S onbekend
pH schudproef hoogovenstukslak	9,3-11,7; gemiddeld 10,5
pH schudproef cunetzand	7,9-10,2; gemiddeld 8,9
pH schudproef ondergrond	7,0-11,4; gemiddeld 8,8
pH schudproef ondergrond, referentie	6,2-7,9; gemiddeld 6,9

Tabel 1.12 Gegevens praktijktoepassing hoogovenstukslak [10]

Project/locatie/jaar	Laboratoriumonderzoek aan monsters uit praktijklocatie, Tauw, 1987
Soort toepassing	Fundering in aanleg, Zuid-Holland
Herkomst materiaal	Onbekend. Materiaal betreft zeer waarschijnlijk hoogovenstukslak
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	Normale praktijktoepassing, fundering lag nog open
Hoeveelheid (ton)	onbekend
Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	geen
Onderliggende lagen	Wellicht zandcunet, echter niet zeker
Bemonsterde fase	Hoogovenslak en water in cunet, drain en bermsloot
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters, eenmalig
L/S-waarde en tijd	Onbekend, waarschijnlijk nog zeer laag
pH schudproef hoogovenstukslak	11,1
pH water in cunet	11,5; bevat 4650 mg/l totaal-zwavel, 170 mg/l sulfaat
pH water in drain	5,8; bevat 3000 mg/l totaal-zwavel, 1140 mg/l sulfaat; kleur zwart, troebel
pH water in bermsloot	7,1; bevat 3150 mg/l totaal-zwavel, 900 mg/l sulfaat; kleur groengeel, zwart bezinksel

Tabel 1.13 Gegevens praktijktoepassing hoogovenstukslak [13]

Project/locatie/jaar	Kempenaersreed, Leeuwarden, 1985-1986
Soort toepassing	Fundering
Herkomst materiaal	Onbekend
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	Ca. 0,4*1,7*600
Hoeveelheid (ton)	onbekend

ConceptKenmerk R001-4420225JJS-V01

Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	11 cm asfalt
Onderliggende lagen	Mogelijk zandcunet, grond
Bemonsterde fase	Horizontale drains op ca. 1,5 meter onder onderzijde fundering (3x)
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters, eenmalig (tevens peilbuizen, driemaal)
L/S-waarde en tijd	L/S onbekend, ca. 1 jaar na aanleg
pH in drains	6,7-11,2
pH in peilbuizen	7,5 – 11,2

Concept

 Kenmerk R001-4420225JJS-V01

1.4 Overige materialen

1.4.1 Lavaliet

Tabel 1.14 Gegevens praktijkproef met lavaliet Borchwerf [1]

Project/locatie/jaar	Borchwerf, Roosendaal, 1983-1985
Soort toepassing	Wegfundering
Herkomst materiaal	Onbekend
Dimensies proefvak (h*b*l, in meters)	0,3*6*65
Hoeveelheid in proefvak (ton)	3,4 verondersteld is dat alleen de uitstekende schouders van de fundering worden doorstroomd
Dichtheid (kg/m ³)	Ca. 1750
Bovenliggende lagen	15,5 cm asfalt
Onderliggende lagen	0,35 meter zand
Bemonsterde fase	Percolaat uit proefvak dat zandcunet is gepasseerd. Proefvak is volledige doorsnede wegvak, inclusief stukje berm
Wijze van bemonstering en frequentie	Steekmonsters uit buffervat, eerst 1x/2 weken (3,5 mnd), daarna 1x/mnd (9 mnd), daarna 1x/2mnd (12 mnd)
L/S-waarde en tijd	L/S na 2 jaar 6,6, berekend op materiaal in schouders
pH in percolaat	5,2 bij start, 7,8 bij einde metingen
Eh in percolaat	Niet gemeten
pH/Eh in poriewater	Niet gemeten
pH in kolomproef	L/S 0,1 tot 5: pH 9,4 – 7,7 (daalt gedurende proef)

1.4.2 Mijnssteen

Concept

Kenmerk R001-4420225JJS-V01

Tabel 1.15 Vooronderzoek praktijktoepassing [11]

Project/locatie/jaar	Laboratoriumonderzoek Tauw, 1990
Soort toepassing	Demping oppervlaktewater
Herkomst materiaal	Auguste Victoria
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	Kolom, hoogte ca. 1,3 meter, diameter 0,25 meter
Hoeveelheid	In grote kolom ca. 70 kg onverkleind materiaal
Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	geen
Onderliggende lagen	geen
Bemonsterde fase	Eluaat kolomproeven met demiwater, rivierwater, grote kolom met rivierwater
Wijze van bemonstering en frequentie	Fracties kolomproef
L/S-waarde	20 (schudproef); 10 (kolomproef, analyse verschillende fracties)
pH schudproef demiwater	9,1
pH schudproeven rivierwater	7,1-7,6
pH grote kolomproef rivierwater	7,7-8,1

Tabel 1.16 Inventarisatie kwaliteitsgegevens [12]

Project/locatie/jaar	Inventarisatie Tauw, 1986
Soort toepassing	Demping oppervlaktewater; grote depots
Herkomst materiaal	Limburg, Duitsland
Dimensies constructie (h*b*l, in meters)	onbekend
Hoeveelheid	Omvangrijk
Dichtheid (kg/m ³)	onbekend
Bovenliggende lagen	geen
Onderliggende lagen	grond
Bemonsterde fase	Grondwater, oppervlaktewater, percolaat
Wijze van bemonstering en frequentie	Peilbuizen, steekmonsters percolaat en oppervlaktewater
L/S-waarde praktijk	onbekend
pH uitloogproeven	onbekend
pH grondwater rand depots Limburg	6,1-6,4
pH in percolaat depot Pattberg	7,4-7,9
pH bij demping oppervlaktewater Leuth	7,6-8,2

Concept

Kenmerk R001-4420225JJS-V01

2 Discussie en conclusies

2.1 pH-waarden in de praktijk en in het laboratorium

In de praktijk wordt meestal niet het percolaat van de bouwstof zelf bemonsterd maar het percolaat dat een laag cunetzand of grond is gepasseerd. Deze passage resulteert steeds in een aanzienlijke afname van de pH. In het geval van een zure grond, kunnen door ionenwisseling zelfs lagere pH-waarden ontstaan dan die van de oorspronkelijke grond, ondanks dat het percolaat van de bouwstof basisch is.

In situaties dat het percolaat zelf is onderzocht blijkt dat bij gesloten toepassingen de uitloogproef een goede voorspelling geeft van de pH in de praktijk, bij open toepassingen treedt bij veel materialen een relatief snelle daling van de pH op, waarschijnlijk als gevolg van carbonatatie. Het effect van verkleining, dat in een overschatting van de pH kan resulteren, heeft eveneens invloed maar dit effect lijkt minder groot dan carbonatatie. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van tabel 3.1, waar voor enkele materialen respectievelijk de volgende pH-waarden worden getoond:

- 1) pH standaardkolomproef (gebroken materiaal, duur 3 weken, inzet 1 kg), L/S=traject als volgende;
- 2) pH semi-praktijkproef (ongebroken materiaal, duur 1,4 jaar, inzet 700-1400 kg)
- 3) pH standaardkolomproef (gebroken materiaal afkomstig uit semi-praktijkproef), L/S=traject aansluitend op eindfractie voorgaande proef

Tabel 2.1 pH-waarden bij standaardkolomproef uitgangsmateriaal, bij semipraktijkproef en bij standaardkolomproef met materiaal afkomstig uit semipraktijkproef

Proef	AVI-bodemas		Puingranulaat		Trimix (HO-/staalslak/slakkenzand)	
	5x versneld (1)	5x versneld (1)	1x versneld (1)	5x versneld (1)	1x versneld (1)	
Stkolom, vers	9,0 (L/S 0,61)	12,1 (L/S 2,87)	12,2 (L/S 0,45)	12,8 (L/S 2,02)	12,8 (L/S 0,52)	
Semi-praktijkproef	7,6 (L/S 0,42)	10,5 (L/S 1,8)	8,0 (L/S 0,58)	12,65 (L/S 2,16) (2)	12,34 (L/S 0,49)	
Stkolom, na semi-praktijk	7,9 (L/S 0,42-1,0)	11,7 (L/S 1,8-2,0)	8,5 (L/S 0,58-1,0)	12,2 (L/S 2,16-3,0)	12,3 (L/S 0,49-1,0)	

(1) 5x versneld: tempo bevochtiging 5x zo snel in vergelijking met gemiddelde regenval, 1x versneld: tempo bevochtiging vergelijkbaar met gemiddelde regenval. Bevochtiging vindt plaats door periodieke kunstmatige beregening

(2) pH in laatste fractie semi-praktijkproef (L/S 2,06-2,16) = 12,3

Tabel 3.1 laat het volgende zien:

- Door AVI-bodemas niet te verkleinen en als gevolg van carbonatatie, is de pH bij de semi-praktijkproef 1,5 eenheid lager dan bij de standaardkolomproef. In de echte praktijk zal het verschil niet zo groot zijn omdat AVI-bodemas in gesloten constructies wordt toegepast.

- Door puingranulaat niet te verkleinen en door carbonatatie (dit laatste lijkt het belangrijkste) is de pH bij de semi-praktijkproef 1,5 tot 2 eenheden lager dan bij de standaardkolomproef. Puingranulaat blijkt relatief snel volledig te carbonateren (in circa 1 jaar), mits het materiaal niet te vochtig is. Puingranulaat dat 5x zoveel water ontvangt als de gemiddelde regenval, carbonateert duidelijk minder snel dan bij de gemiddelde regenval. In de praktijk verloopt de carbonatatie wellicht ook relatief snel omdat puingranulaat in dunne lagen wordt toegepast, zonder volledige afdichting.
- Door trimix niet te verkleinen en door carbonatatie (dit laatste lijkt het belangrijkste) is de pH bij de semi-praktijkproef maximaal 0,5 eenheid lager dan bij de standaardkolomproef. De afname van de pH verloopt duidelijk veel langzamer dan bij de voorgaande materialen en wordt evenals bij puingranulaat bevordert als het materiaal niet te vochtig is.

Als materialen volledig gecarbonateerd zijn (AVI-bodemas, puingranulaat 1x versneld beregend), komt de pH van de standaardkolomproef goed overeen met die van de semi-praktijkproef. Als een materiaal niet volledig is gecarbonateerd (puingranulaat, 5x versneld beregend), geeft de kolomproef nog steeds een overschatting van de praktijk pH. Dit is een effect van het verkleinen, waarbij de niet gecarbonateerde kern in contact komt met het uitloogmedium. Bij trimix is er hooguit een beperkt effect van verkleinen van het materiaal maar trimix is ook nog slechts in geringe mate gecarbonateerd.

2.2 pH en redoxcondities in het ontvangende milieu

Uit onderzoek aan percolaat uit praktijkconstructies, grondwater, bodem en oppervlaktewater blijkt in het algemeen dat geen extreme pH-waarden ($\text{pH} > 9$) worden gemeten bij toepassingen van AVI-bodemas, puingranulaten en mijnsteen. In ophogingen van AVI-bodemas ontstaan reducerende condities, zodat in percolaat lage redoxwaarden kunnen ontstaan. Dit gaat niet gepaard met hoge concentraties aan reducerende componenten als sulfiden. Voor zover deze gevormd worden, slaan ze waarschijnlijk neer als metaalsulfiden. Verder geldt dat de ontvangende bodem op enige diepte altijd zuurstofloos is, zodat toestroom van zuurstofloos percolaat geen risico met zich meebrengt.

In het geval van funderingen van hoogovenslakken blijkt uit Duits onderzoek wel een beïnvloeding van de pH van de onderliggende bodem (tot een diepte van gemiddeld circa 1 meter), maar meestal zijn hierbij geen extreme waarden bereikt (gemiddelde pH 8,8, een uitschieter tot 11,4 en één waarde van 9,9). Uit Nederlands onderzoek blijkt dat onder een fundering van hoogovenslakken op een enkele plaats een hoge pH ontstaat in drains of grondwater (11,2; 9,7) in de meeste peilbuizen is de pH echter vergelijkbaar met de referentie-waarde.

Door de buffercapaciteit van de bodem zullen niet snel extreme pH-waarden worden bereikt, dit risico is voor oppervlaktewater groter. Uit een praktijkcase waarbij water uit een fundering van

ConceptKenmerk R001-4420225JJS-V01

hoogovenslakken op een sloot werd geloosd, blijkt overigens geen hoge pH maar wel zuurstofloosheid door hoge zwavelconcentraties. De pH in de sloot is neutraal maar in de fundering zelf sterk basisch. Het verschil wordt verklaard uit zuurproductie bij oxidatie van de sulfiden tot sulfaat en eventueel uit het uitspoelen van zure bestanddelen uit het cunetzand. Lozingen van percolaat van hoogovenslakken op klein oppervlaktewater moeten worden vermeden.

Een beperking van de meeste praktijkonderzoeken is de tijdsduur. Meestal wordt alleen gedurende enkele jaren na aanleg onderzoek verricht. Voor open constructies zijn de risico's in de eerste jaren ook het grootst, op langere termijn kan de pH door carbonatatie dalen. In gesloten constructies verandert niet zoveel, ook materialen met een hoge zuurbuftercapaciteit zullen niet snel in pH dalen. Hiervoor geldt dat risico's op lange termijn niet volledig duidelijk worden uit de beschikbare gegevens.

3 Referenties

1. Aalbers, Th. G. e.a. (1986): Uitloogonderzoek aan een wegvak met slak van een afvalverbrandingsinstallatie als funderingsmateriaal in Roosendaal. Rapportnr. 841707001, RIVM, Roosendaal
2. DHV (1994): Integratierapport: Milieutechnisch onderzoek AVI-slakken toepassing Rijksweg 15. Dossiernr. D 0421-71-001, DHV, Amersfoort. In opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
3. Tauw (2002): Evaluatie-onderzoek van de ophoging met AVI-bodemassas in Rijksweg A15. Deelrapport 2, Milieutechnisch onderzoek. Publicatierreeks grondstoffen 2002/7, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft
4. Tauw/Geodelft (2004): Rijkswaterstaatsophogingen met AVI-bodemassas en zandbentonietafdichtingen. Fase 1: Onderzoek locatie Stichtse brug, A27. Rapportnr. R001-4322424JJS-abi-V01-NL, Tauw, Deventer. In opdracht van en te publiceren door Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft
5. Tauw Infra Consult (1990): Fase 4 Semi-praktijkonderzoek naar het uitlooggedrag van enige wegebouwmaterialen. Deel 1: proefopzet en karakterisering van de materialen. Rapportnr. MI-OW-90-37, DWW, Delft
6. Tauw Infra Consult (1992): Fase 4 Semi-praktijkonderzoek naar het uitlooggedrag van enige wegebouwmaterialen. Deel 2: resultaten semi-praktijkonderzoek. Rapportnr. W-DWW-92-705, DWW, Delft
7. Tauw Infra Consult (1992): Fase 4 Semi-praktijkonderzoek naar het uitlooggedrag van enige wegebouwmaterialen. Deel 3: resultaten aanvullend onderzoek. Rapportnr. W-DWW-92-711, DWW, Delft
8. Tauw Infra Consult (1992): Onderzoek uitlooggedrag proefveldjes Maasdam (t/m juni 1991). Rapportnr. 3142523, Tauw, Deventer
9. Bialucha, R. e.a. (1991): Zur Wirkung von Hochofenschlacken auf Boden und Grundwasser bei Verwendung im Strassenbau. In: R. Geiseler (red.): Eisenhuttenschlacken – Eigenschaften und Verwertung. Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhuttenschlacken, Heft 1. Duisburg.
10. Tauw Infra Consult (1987): Laboratorium- en praktijkonderzoek naar de milieukwaliteit van een wegebouw materiaal. Rapportnr. 60363.01/RO-02, Tauw, Deventer
11. Tauw Infra Consult (1990): Uitlooggedrag mijnsteen in zoet, zout en een mengsel van zoet/zout havenwater. Rapportnr. 3137236, Tauw, Deventer
12. Tauw Infra Consult/RIZA (1986): Uitloging van mijnsteen. RIZA, Lelystad
13. Tauw Infra Consult (1987): Milieu-onderzoek toepassing AVI-slakken Kempnaersreed, Leeuwarden. Rapportnr. 51319.05, Tauw, Deventer