

RIJKSINSTITUUT VOOR
VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr.771402016

Relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk
bij wegebouwkundige projecten
**Geo-chemische modellering uitlooggedrag
vliegas Vondelingenweg en AVI-bodemas
Coloradoweg, Rotterdam**

L.G. Wesselink

juli 1995

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Bodem in het kader van projekt nr.771402

This investigation has been performed in order and for the account of the Directorate General for Environmental Protection, Ministry of Housing, Physical Planning and Environment within the framework of project 771402

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,
tel. 030-749111, fax 030-742971

VERZENDLIJST

- 1-6 Directie Bodem, Directoraat-Generaal Milieubeheer
- 7 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Dr.ir. B.C.J. Zoeteman
- 8 Mr. A.B. Holtkamp, Directie Bodem
- 9 Mr.drs. L.J.J. Gravesteijn, Directie Bodem
- 10 Drs. A.J.C.W.M. de Kort, Directie Afvalstoffen
- 11 Ir R.T. Eikelboom, Directie Bodem
- 12 Drs.ing. R.J.P. Henneveld, CROW
- 13 Prof. W.H. van Riemsdijk, LUW
- 14 Ir M. Keizer, LUW
- 15 Dr. S. Mous, LUW
- 16 Dr. ir. Ch. F. Hendriks, Intron
- 17 Dr. ir. J.P.G.M. Schreurs, Intron
- 18 Ir. T.R. Postma, DHV
- 19 Drs.ing. J.J. Klokman, provincie Noord Holland
- 20 Dr. H.A. vand der Sloot, ECN
- 21 Ing. Th. Goeman, RWS DWW
- 22 Ir M. van Kampen, Pelt & Hooykaas BV
- 23 Ir. C. Jonker, Wegenbouwmij. Heijmans BV
- 24 Ir. J. van Leeuwen, Gemeentewerken Rotterdam
- 25 Dr R.C. Reintjes, Kon. Wegenbouw Stevin
- 26 Dr.ir. C. Zevenbergen, Iwaco BV
- 27 Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 28 Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 29 Ir. N.D. van Egmond
- 30 Ir. F. Langeweg
- 31 Drs. L.H.M. Kohsiek, LAE
- 32 Dr. ir. F.A. Swartjes, LBG
- 33 Dr. ir. J.J.M. van Grinsven, LBG
- 34 Dr. Th.G. Aalbers, LAE
- 35 Drs. J.A. Annema, LAE
- 36 Auteur
- 37 Hoofd Voorlichting en Public Relations, RIVM
- 38 Bureau Projecten- en Rapportenregistratie, RIVM
- 39-40 Bibliotheek RIVM
- 41-68 Reserve exemplaren ten behoeve van Bureau Rapportenbeheer
- 69-75 Reserve exemplaren

INHOUDSOPGAVE

	<u>Blz.</u>
VERZENDLIJST	2
INHOUDSOPGAVE	3
ABSTRACT	4
SAMENVATTING	5
1 INLEIDING	6
2 MATERIAAL EN METHODEN	7
2.1 Modelvergelijkingen, parameters en randvoorwaarden: bodem	7
2.2 Modelvergelijkingen, parameters en randvoorwaarden: bouwstof	8
3 RESULTATEN	9
3.1 Binding aan bodemdeeltjes	9
3.2 Concentratieprofielen in bodem en bouwstof op locatie Coloradoweg (CA)	11
3.3 Concentratieprofielen in bodem en bouwstof op locatie Coloradoweg (CZ)	14
3.4 Concentratieprofielen in bodem en bouwstof op de locatie Vondelingenweg	15
4 CONCLUSIES	18
REFERENTIES	19

ABSTRACT

As part of the C.R.O.W-project "Leaching behaviour of secondary building materials in road constructions, under laboratory and field conditions" we investigated leaching history of chemical components from two road construction sites. The sites were situated at Coloradoweg and Vondelingenweg, Rotterdam, the Netherlands. The geo-chemical model ECOSAT was used to investigate rate and mechanism of leaching from the secondary building materials as well as binding of chemical components in the soil layer beneath. At location Coloradoweg (asphalt cover) leaching from the road construction was controlled by diffusion processes. Concentration profiles in the soil layer underneath the secondary building material were a good measure of the cumulative leaching from the road construction during the past 10 years. At location Vondelingenweg leaching was dominated by convection processes. Although substantial leaching of heavy metals from the road construction occurred, transport through the underlying soil layer was limited due to soil-metal binding processes.

SAMENVATTING

In het kader van het C.R.O.W-project "Relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk bij wegebouwkundige projecten" is onderzoek verricht naar de uitlooggeschiedenis van secundaire bouwstoffen toegepast in wegfunderingen op een 2-tal praktijklocaties; Vondelingenweg en Coloradoweg (Rotterdam, Nederland). Met behulp van het geo-chemisch model ECOSAT zijn snelheid en mechanisme van uitloging uit de bouwstof onderzocht alsmede de mate van vastlegging van uitgeloopte componenten in de onderliggende bodem. Uit de modellering bleek dat de gemeten concentratieprofielen in de bouwstof en de onderliggende zandlaag op de locatie Vondelingenweg (asfaltafdekking) typerend zijn voor diffusie gecontroleerde uitloging en op de locatie Coloradoweg (klinkerafdekking) voor percolatie gecontroleerde uitloging. De gemeten concentratieprofielen in de zandlaag onder de bouwstof van locatie Coloradoweg (asfaltbedekking) representeren grotendeels de totale cumulatieve emissie sinds aanleg van de weg (ca. 10 jaar). Imissies van Zn, Cd en Pb op de locatie Vondelingenweg binden vermoedelijk in de bovenste decimeters van de zandlaag waardoor transport naar diepere lagen beperkt blijft.

1 INLEIDING

Het C.R.O.W.-onderzoeksproject "Relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk bij wegebouwkundige projecten" had als doel het uitlooggedrag in de praktijk van secundaire bouwstoffen in enkele wegebouwkundige projecten te toetsen aan de berekende uitloging op basis van uitloogproeven in het laboratorium. Het project beoogde daarmee een eerste veldverificatie van de in het Bouwstoffenbesluit geformuleerde rekenregels m.b.t. uitloging van bouwstoffen in de praktijk.

Voor het onderzoek zijn een viertal wegebouwkundige projecten geselecteerd welke gedurende ca. 10 jaar aan uitloging zijn blootgesteld. De geselecteerde projecten zijn opgebouwd uit een afdeklaag (asfaltbeton, zand of betonstraatsteen), een fundering bestaande uit een secundaire bouwstof (vliegascement, Feniks of AVI-bodemas) en een onderliggende zandlaag. De projecten zijn gelegen op de locaties Coloradoweg en Vondelingenweg, Rotterdam Europoort.

De in het kader van het project uitgevoerde werkzaamheden, te weten i) vaststelling van de mate van uitloging, ii) vaststelling van het uitloogmechanisme, iii) berekening van de bouwstofemissie conform het bouwstoffenbesluit en iv) vergelijk van de berekende en gemeten emissie in de praktijk, zijn gerapporteerd in het eindrapport "relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk bij wegebouwkundige projecten" (INTRON/RIVM/ECN -Intron rap.nr. 95146).

In het voor u liggend rapport wordt een deelaspect van de eindrapportage behandeld. Voor een compleet overzicht van de projectwerkzaamheden en -resultaten wordt verwezen naar genoemd eindrapport. Daarin werd vastgesteld dat op de praktijklocaties ca. 10 jaar na aanleg een meetbare, significante, uitloging van de bouwstoffen heeft plaatsgevonden. De cumulatieve uitloging (na ca. 10 jaar) in het veld werd gemeten i) aan de concentratie toename van chemische componenten in de zandlaag onder de bouwstof, en ii) aan de concentratie afname in de bouwstof zelf. Om die gemeten uitloging te kunnen vergelijken met de berekende uitloging op grond van laboratoriumproeven wordt in dit rapport op de volgende aspecten nader ingegaan:

- in de regelgeving, vastgelegd in het bouwstoffenbesluit, wordt onderscheid gemaakt tussen systemen met diffusie gecontroleerde uitloging en systemen met percolatie gecontroleerde uitloging. Voor de veldlocaties moet daarom worden nagegaan of dit onderscheid op een eenduidige wijze kan worden gemaakt
- om vervolgens gemeten uitloging in de praktijk te vergelijken de berekende uitloging op grond van laboratoriumproeven moet tevens worden nagegaan:
 - i) in hoeverre in de bodem onder de bouwstof, daar waar een concentratieprofiel wordt gemeten, uitspoeling beneden de maximale bemonsteringsdiepte ca. 30 cm onder de grenslaag bouwstof/bodem kan hebben plaatsgevonden
 - ii) in hoeverre de cumulatieve emissie uit de bouwstof in het proefvak met asfaltbedekking aan de Coloradoweg geschat kan worden aan de hand van de gemeten emissie-concentratieprofielen in de *bouwstof* na ca. 10 jaar uitloging
 - iii) in hoeverre relatief hoge referentiegehalten van zware metalen in de zandlaag onder de bouwstof op de locatie Vondelingenweg worden beïnvloed door alkalisch percolaat uit de bouwstof.

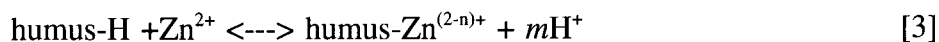
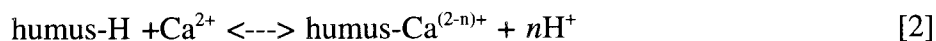
2 MATERIAAL EN METHODEN

Bovengenoemde aspecten zijn onderzocht d.m.v. berekeningen met het model ECOSAT (Keizer et al., 1994). ECOSAT berekent chemische evenwichtsprocessen als ad- en desorptie aan de vaste fase en speciatie van opgeloste chemische componenten. Daarnaast berekent ECOSAT stationair transport van opgeloste stoffen onder invloed van percolatie en diffusie/dispersie. ECOSAT biedt de mogelijkheid i) om een gelaagd systeem te definiëren met verschillende fysische en chemische eigenschappen, zoals een bouwstof op een zandlaag, en ii) om chemische binding van componenten in de zandlaag onder de bouwstof te berekenen.

2.1 Modelvergelijkingen, parameters en randvoorwaarden: bodem

Componenten die uit bouwstoffen (uit)logen kunnen in de onderliggende bodemlagen worden vastgelegd; metalen binden o.a. aan bodem organische stof (humus) terwijl anionen als fluoride, molybdeen en boraat met name binden aan ijzer- en aluminium(hydr)oxiden in de bodem (Wesselink en Dekker, 1995).

De volgende drie reacties zijn recentelijk afgeleid voor de beschrijving van binding van Ca, Zn, Mo en F in bodems beïnvloed door percolaten van alkalische reststoffen (Wesselink en Dekker, 1995) en in het kader van voorliggend project toegepast:



waarbij x , n en m de reactiestoichiometrie geven. Modelparameters zijn gegeven in tabel 2.1 en 2.2.

Tabel 2.1a Parameters bindingsvergelijkingen voor de bodem.

	bindingsconstante	stoichiometrie (x , n , m)	type
verg. [1]	$\log K=4.84$	$n=0.64$	Langmuir
verg. [2]	$\log K_{\text{H,Ca}}=-0.19$	$m=0.48$	Langmuir
verg. [3]	$\log K_{\text{H,Zn}}=-0.17$	$x=0.51$	Freundlich
adsorptie capaciteit humus: 4 mmol/g-C			

Tabel 2.1b Diffusiecoëfficiënten in de zandlaag onder de bouwstof van locatie Coloradoweg asfaltbekekking (CA)

	run 3	run 2	run 1
pDe (-logD _{dif}) (m ² /s)	9.3 ^a	9.6 ^b	9.8 ^c

^a 'vrije' diffusiecoëfficiënt in waterverzadigde bodem ca. 9 (v.d. Sloot et al., 1991) gecorrigeerd voor temperatuur met $\Delta pDe=0.3$ (zie ook tabel 2.2, voetnoot b)

^{b/c} maximale diffusievertraging o.i.v. van laag vochtgehalte in zandlaag gesteld op factor 4, volgens formule 8.2.8 uit Aalbers et al. (1993) geeft dit een pDe-verhoging van maximaal ca. 0.6 ($4=[10^{-\Delta pDe}]^{1/4}$)

Tabel 2.1c Overige bodemparameters/randvoorwaarden.

locatie	Coloradoweg	Vondelingenweg
C gehalte zandlaag g/100g ^a	0.2 ^c	0.45
(Fe+Al) _{ox} zandlaag mmol/kg ^b	8.3 ^c	4.0
gemiddeld vochtgehalte (% w/w)	7	5
gemiddelde percolatiesnelheid (mm/jr) ^d	0	220
dichtheid zandlaag (kg/dm ³)	1.69	1.69

^a organische stof in bodem bindt o.a. zware metalen en Ca (Dekker en Wesselink, 1995)

^b oxalaat extraheerbaar (Fe+Al) (Dekker en Wesselink, 1995)

^c Fe+Al en C-gehalten gemeten in 2 mengmonsters per locatie, mengmonsters samengesteld uit 6 submonsters.

^d zie tabel 3.5 en 3.6 hoofd rapport

2.2 Modelvergelijkingen, parameters en randvoorwaarden: bouwstof

In de diffusieberekeningen voor de locatie Coloradoweg zijn bodem- en bouwstofcompartimenten in één modelrun gecombineerd (tabel 2.1a-c, 2.2). Daarbij is in een 3-tal berekeningen de diffusieconstante (pDe) voor de bodem gevarieerd (tabel 2.1b) bij constante eigenschappen van de bouwstof.

Modelberekeningen zijn uitgevoerd uitgaande van een bouwstofpakket met een dikte van 0.4 m en een onderliggende zandlaag van 2.1 m dikte. Er is gerekend met 100 lagen van 2.5 cm dikte en tijdstappen van 1 dag.

Tabel 2.2 Modelparameters diffusiemodellering locatie Coloradoweg asfaltbekekking (CA)

	Mo	B
beschikbaarheid (mg/kg)	5	40
'inert' (mg/kg) ^a	4	60
pDe (-logD _{dif}) (m ² /s)	11.7	11.1
correctiefactor diffusie voor temperatuur ^b	0.71	0.71
correctiefactor diffusie voor bevochtiging ^c	0.5	0.5

^a berekend uit gemiddeld gemeten totaal gehalte van de bouwstof minus de beschikbaarheid voor diffusie. Het 'inerte' deel van Mo en B doet niet mee in de diffusieberekeningen

^b temperatuurcorrectie is verrekend door de pDe met 0.3 eenheid op te hogen: $0.7=(10^{-\Delta pDe})^{1/4}$ (Aalbers et al., 1993)

^c vochtcorrectie is verrekend door in helft van de berekende tijdsperiode geen diffusief transport te laten plaatsvinden

3 RESULTATEN

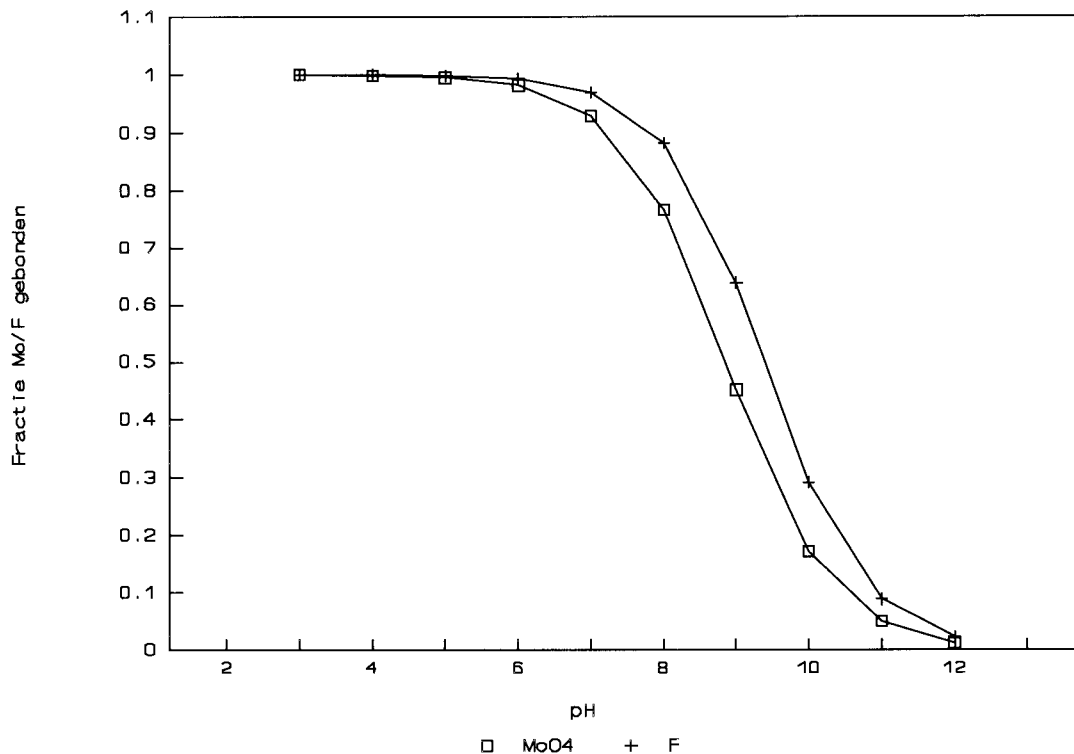
Zoals aangegeven in het eindrapport "relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk bij wegenbouwkundige projecten" (INTRON/RIVM/ECN -Intron rap.nr. 95146) is de uitloging van oxy-anione componenten als B, Mo en V uit poederkoolvliegias (Coloradoweg) hoger dan uit AVI-bodemas (Vondelingenweg), terwijl voor zware metalen het omgekeerde geldt. De geo-chemische modellering m.b.t oxy-anione componenten richt zich daarom op de locatie Coloradoweg terwijl berekeningen voor zware metalen vooral betrekking hebben op de locatie Vondelingenweg. De volgorde in de resultatenbespreking is als volgt:

- binding aan bodemdeeltjes, algemeen (3.1)
- bodem onder de bouwstof Coloradoweg (CA) (3.2)
- bouwstof Coloradoweg (CA) in samenhang met bodem onder de bouwstof (3.2)
- bodem onder de bouwstof Coloradoweg (CZ) (3.3)
- bodem onder de bouwstof Vondelingenweg (3.4)

3.1 Binding aan bodemdeeltjes

oxy-anionen

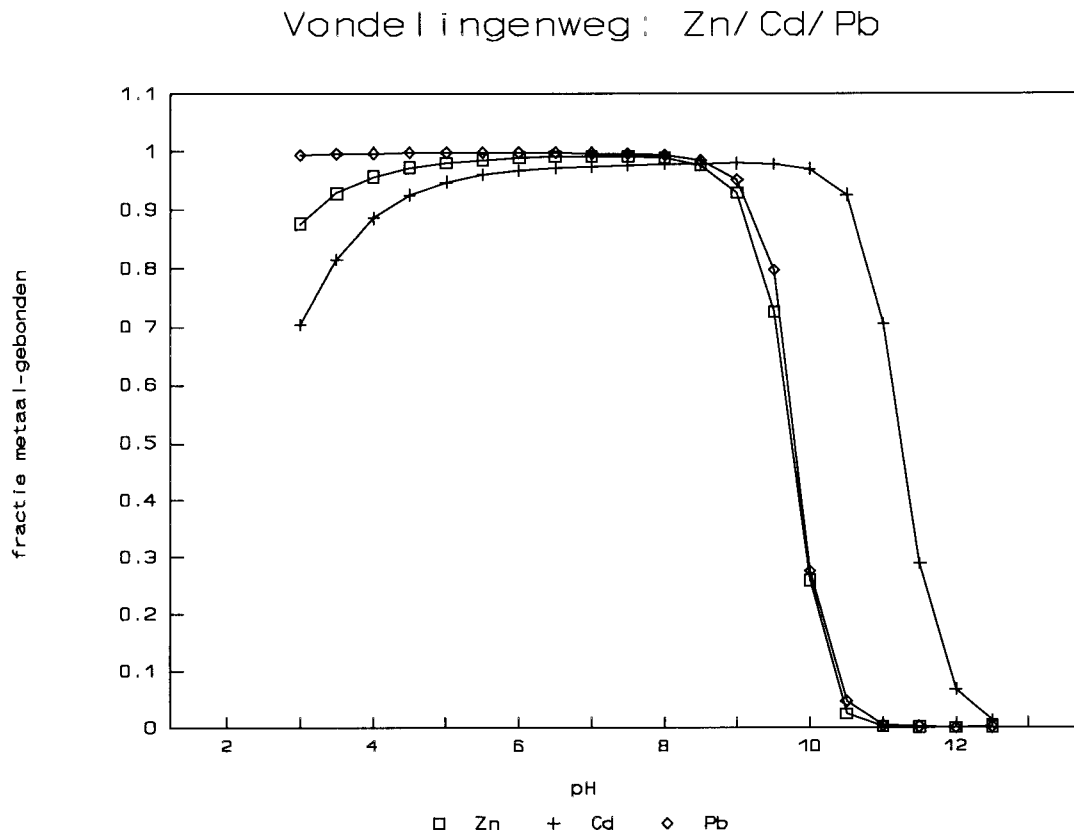
Allereerst is nagegaan in hoeverre binding van anione componenten in de bodem afhankelijk is van de bodem pH. Een voorbeeld berekening voor de CA locatie is gegeven in figuur 3.1. Deze figuur laat zien dat binding van Mo (en F) sterk afneemt boven een pH waarde van ca. 8. Gegeven de hoge pH (ca. 9.7) en de geringe bindingscapaciteit van de zandlaag op de locatie CA lijkt vastlegging van Mo (en F) daarom gering. Door z'n geringe bindingsaffiniteit is vastlegging van sulfaat in zandige bodems in het algemeen verwaarloosbaar (Wesselink, 1994). Constanten voor de binding in de bodem van overige oxy-anione componenten als B en V zijn voor zover ons bekend niet voorhanden.



Figuur 3.1 Mo en F binding als functie van pH (molaire fractie gebonden/totaal) locatie Coloradweg. Bindingsvergelijkingen uit Wesselink en Dekker (1995). Bindingscapaciteit gebaseerd op gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte. Berekening betreft een 'batch' waarin een totale hoeveelheid Mo/F overeenkomend met ca. 1000 mg/m² inspoeling uit bouwstof is gelocaliseerd in en bodemlaag van 50 cm met vochtgehalte van 0.12 v/v.

metalen

Van Zn, Cd en Pb is bekend dat binding in zandige bodems met name plaatsvindt aan organische stof in de vast fase van de bodem (Wesselink en Dekker, 1995). Figuur 8.2 geeft een schatting van de mate waarin Zn, Cd en Pb binden aan bodemdeeltjes als functie van pH uitgaande van een organische stof gehalte zoals gemeten in de zandlaag onder de bouwstof aan de Vondelingenweg. Volgens de modelvergelijkingen neemt boven pH9 de binding van Zn en Pb sterk af, terwijl Cd grotendeels gebonden blijft. Bij hoge pH neemt de binding van metalen sterk af doordat de concentratie in oplossing wordt gedomineerd door hydroxy-species (Me_xOH_y). Voor binding van Cu aan organische stof zijn geen parameters voorhanden, naar verwachting zal de binding van Cu aan bodem organische stof sterker zijn dan van andere metalen (McBride, 1994).



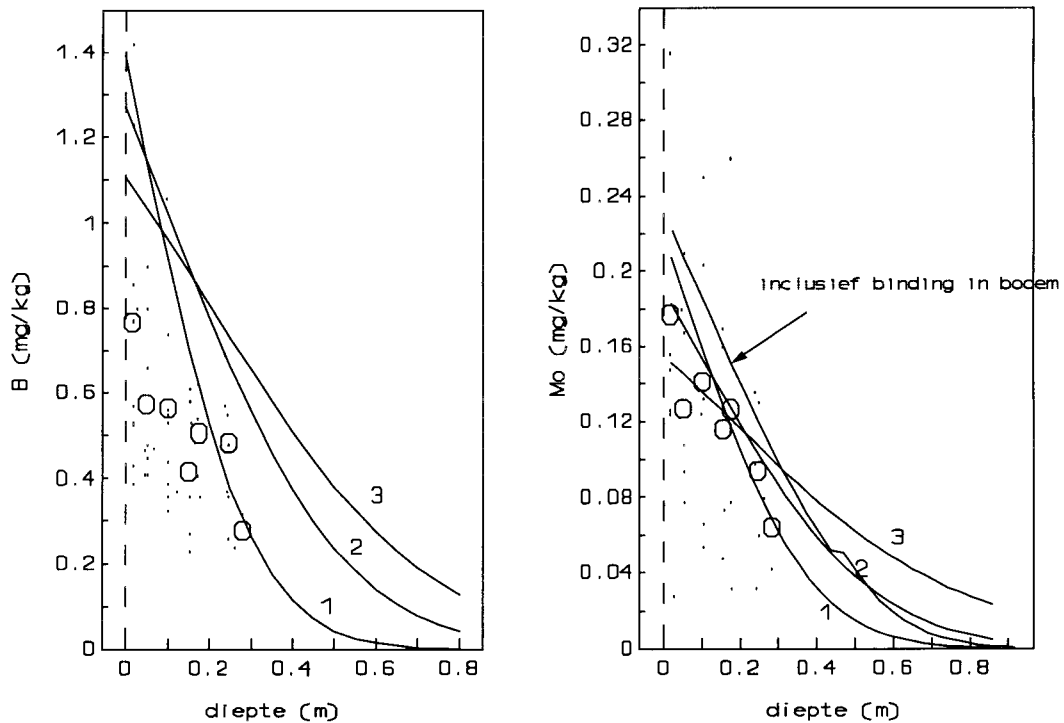
Figuur 3.2 Relatieve Zn/Cd/Pb binding als functie van pH. Bindingsvergelijkingen uit Wesselink en Dekker (1995). Bindingscapaciteit gebaseerd op gemeten C-gehalte in zandlaag van de Coloradoweg. Berekening betreft een 'batch' waarbij een totale hoeveelheid Zn, Cd en Pb overeenkomend met ca. 500 mg/m² inspoeling uit bouwstof is gelocaliseerd in een bodemlaag van 50 cm met een vochtgehalte van 0.12 v/v. Calcium concentratie in de bodem is onafhankelijk van de pH op een vaste waarde van 10⁻²M gesteld.

3.2 Concentratieprofielen in bodem en bouwstof op de locatie Coloradoweg (CA)

Coloradoweg-CA

Door middel van modellering met ECOSAT is nagegaan i) in hoeverre emissie profielen in de bouwstof en imissie profielen in de bodem zoals gemeten op de locatie CA (Coloradoweg asfaltbedekking) kunnen worden verklaard door diffusie processen en ii) over welke afstand het diffusiefront in bouwstof (uitloging) en zandlaag (inloging) is voortgeschreden sinds aanleg (ca.10 jr).

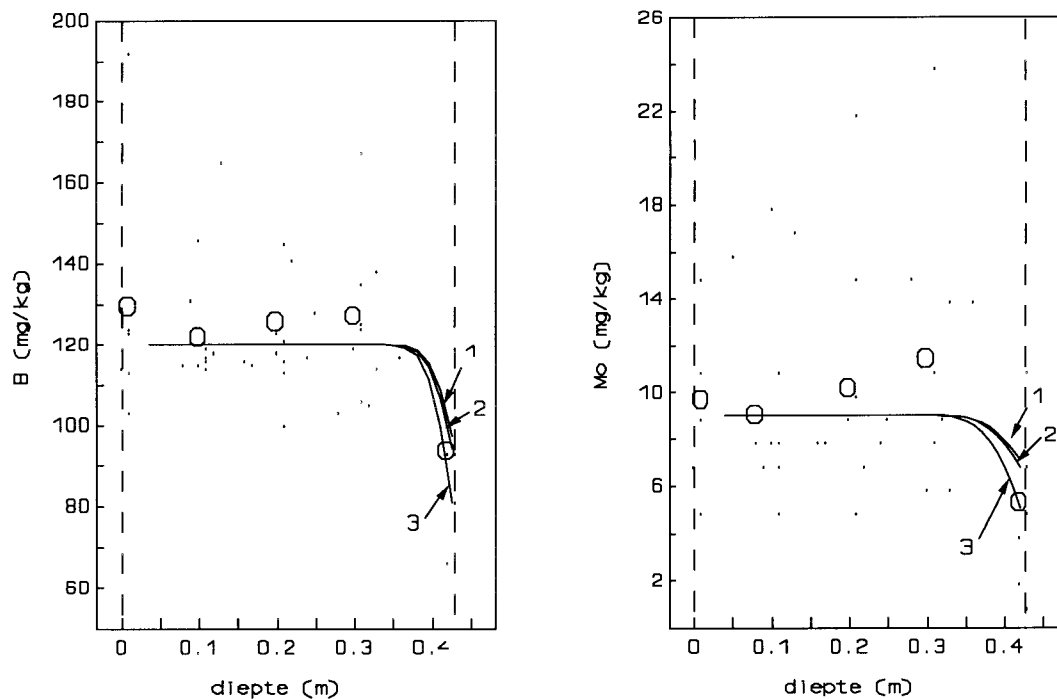
Als voorbeeld is gerekend met de anione componenten Mo en B. Berekeningen zijn uitgevoerd uitgaande van een bouwstof compartiment (zie tabel 2.2 voor parameters) met daaronder een zandlaag waarin gerekend is met drie verschillende diffusieconstanten (tabel 2.1c). In eerste instantie is binding van B en Mo aan bodemdeeltjes verwaarloosd (zie 3.1). De gemodelleerde concentratie profielen zoals weergegeven in figuur 3.3 worden daarmee volledig bepaald door B en Mo *in oplossing*.



Figuur 3.3 Gemeten en gemodelleerde aan-rijking van Mo en B in zandlaag onder de bouwstof van locatie CA ca. 10 jr na aanleg. Individuele (•) en gemiddelde (O) metingen zijn weergegeven. Vertikale onderbroken lijn is bouwstof/zandlaag grensvlak. Er is gerekend met drie verschillende diffusieconstanten in de bodem (zie tabel 2.1.b): $pDe=9.3$ (3), $pDe=9.6$ (2) en $pDe=9.8$ (1) waarbij binding van Mo en B aan bodem-deeltjes is verwaarloosd. Voor Mo is een extra berekening uitgevoerd bij een bodem-pDe van 9.6 waarbij ook binding van Mo in de bodem is berekend, uitgaande van een bodem-pH van 9.6.

De berekeningen waarbij een verhoogde diffusieweerstand aan de bodem is opgelegd (fig. 3.3, lijn 1/2) lijken het best aan te sluiten bij de metingen. Figuur 3.3 laat voor Mo het immissieprofiel zien indien wél wordt gerekend met binding van Mo in de bodem, uitgaande van een constante bodem-pH van 9.6. De gemodelleerde immissie neemt toe -binding verlaagt de Mo-concentratie in de bodemoplossing waardoor de diffusiegradient bodem/bouwstof toeneemt- en lijkt minder goed overeen te komen met het gemeten concentratieprofiel. Dit bevestigt de eerdere aanname dat Mo niet bindt in de bodem van locatie CA.

Samenvattend blijkt uit de berekeningen, i) dat de metingen op de locatie CA die tot een diepte van ca. 30 cm in de zandlaag zijn doorgevoerd het cumulatieve immissieprofiel grotendeels 'invangen', ii) dat diffusief transport in de bodem lijkt te worden beperkt door een verhoogde diffusieweerstand (pDe) in de bodem als gevolg van een laag vochtgehalte, en iii) dat binding van B en Mo in het bodemprofiel verwaarloosbaar is.



Figuur 3.4 Concentratieprofielen van B en Mo in de bouwstof van locatie CA ca. 10 jr na aanleg. Individuele (•) en gemiddelde (O) metingen zijn weergegeven. Linker onderbroken lijn geeft bovenrand v.d. bouwstof, rechter onderbroken lijn is het grensvlak bouwstof/zand. Modelparameters voor de bouwstof zijn gegeven in tabel 2.2. Drie berekeningen zijn weergegeven: (3) met een constante concentratie in de bodem gelijk aan nul (analoog aan de standaard diffusieproef), (2) met een $pDe=9.6$ in de bodem en (1) met een pDe van $pDe=9.8$ in de bodem. Curven 2 en 1 uit Fig. 3.3 en 3.4 komen uit één modelberekening.

Vervolgens is voor B en Mo het concentratieprofiel in de CA-bouwstof na 10 jaar uitloging onder invloed van diffusie uitgezet (Fig. 3.4). Figuur 3.4 laat drie concentratieprofielen zien. Profiel 3 geeft de voorspelde uitloging op grond van de standaard diffusieproef (NEN 7345), gecorrigeerd voor temperatuur en bevochtigingsgraad (tabel 2.2). In die berekening wordt uitgegaan van een constante B/Mo-concentratie van nul op de rand van de bouwstof/zandaag. In berekeningen 2 en 1 is rekening gehouden met diffusief transport in de aangrenzende zandlaag. Concentratieprofielen 2 en 1 uit Fig. 3.4 sluiten aan op concentratieprofielen 2 en 1 in de bodem, zoals weergegeven in Fig. 3.3.

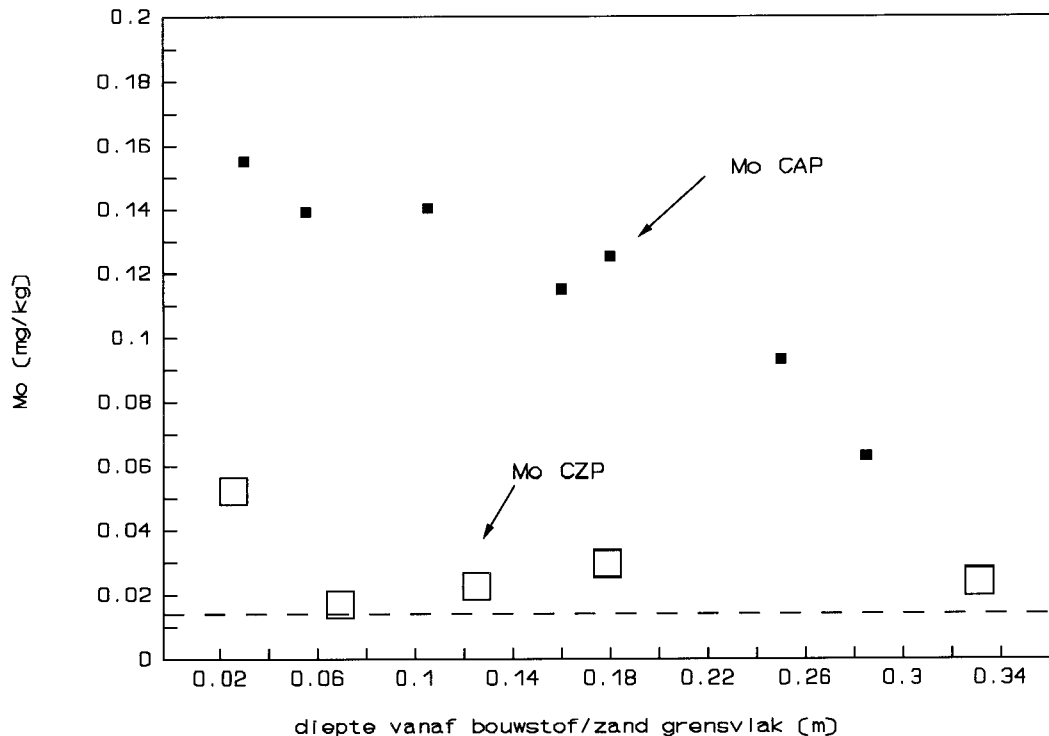
Hoewel op grond van de drie gemodelleerde diffusie profielen in de bouwstof geen eenduidige 'best fit' is aan te wijzen, werd op grond van de bodem-modellering geconcludeerd dat berekeningen met een verhoogde diffusieweerstand (2/1) het best voldeden (zie Fig. 3.3). Figuur 3.4 laat vervolgens zien dat de voorspelde uitloging op grond van de standaard diffusieproef (curve 3) ca. 40% hoger is dan de uitloging waarbij rekening wordt gehouden met een verhoogde diffusieweerstand in de bodem (curve 2/1).

De berekeningen in Fig. 3.4 laten zien dat uitputting van de voorraad Mo en B in de bouwstof optreedt tot een beperkte diepte van ca. 5-10 cm vanaf de grenslaag bouwstof/bodem. Concentratie metingen zijn uitgevoerd met een resolutie van ca. 10 cm vanaf de grenslaag bouwstof/bodem. Hierdoor is het gemeten emissieprofiel in de *bouwstof* een onzekere schatter van de cumulatieve uitlogging over een periode van 10 jaar.

Combinatie van figuren 3.3 en 3.4 laat zien dat in het proefvak onder asfalt aan de Coloradoweg zowel emissieprofielen in de bouwstof als imissieprofielen in de onderliggende zandlaag karakteristiek zijn voor diffusie gecontroleerde uitlogging.

3.3 Concentratieprofielen in bodem en bouwstof op de locatie Coloradoweg (CZ)

Figuur 3.5 geeft het gemeten concentratieprofiel van Mo in de zandlaag van locaties CZ en CA en het berekende concentratie nivo voor de locatie CZ. Gemeten Mo-concentraties op de locatie CZ zijn veel lager dan op de locatie CA. De Mo-concentraties in de zandlaag van locatie CZ zijn echter op een nivo dat wordt verwacht op grond van vliegassetgegevens uit de literatuur. Van der Sloot et al. (1991) laten zien dat uitloogbaar Mo in vliegasset grotendeels uitloogt beneden een LS-waarde van 1. Bij hogere LS-waarden daalt de Mo concentratie in vliegassetpercolaat snel, tot een nivo aangegeven in Fig. 3.5 (stippellijn). Uit het feit dat de gemeten, lage, concentraties van Mo in de zandlaag onder de bouwstof op locatie CZ in overeenstemming zijn met literatuur gegevens van vliegasset blijkt, i) dat Mo-binding in de CZ zandlaag gering is, en ii) dat bij lager LS-waarden uitgelooft Mo grotendeels moet zijn doorgespoeld naar het grondwater.



Figuur 3.5 Gemiddelde gemeten Mo-profielen in de zandlaag van locaties CA en CZ. Stippellijn geeft een schatting van de verwachte Mo concentratie in de bodemoplossing van de CZ locatie, gebaseerd op Mo-concentraties in kolomtest/praktijkproeven met vliegias bij L/S=3 (bron: van der Sloot et al., 1991, Fig. 40). De geschatte bodemvochtconcentratie in mg/kg zijn berekend m.b.v. het vochtgehalte van de zandlaag volgens: $\text{mg/L} \cdot 0.07\text{L/kg}$.

3.4 concentratieprofielen in bodem en bouwstof op de locatie VONDELINGENWEG

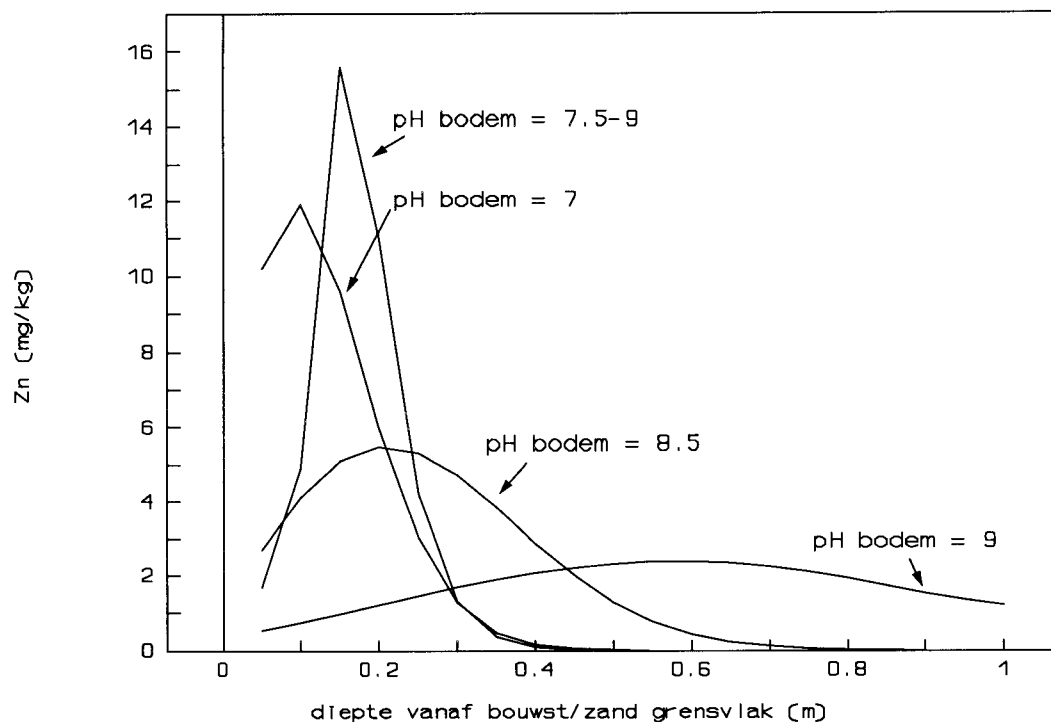
Op de locatie Vondelingeweg werden in de referentiezandlaag relatief hoge gehalten aan zware metalen gemeten (bijlage E in eindrapport "relatie uitlooggedrag laboratorium-praktijk bij wegenbouwkundige projecten" INTRON/RIVM/ECN -Intron rap.nr. 95146-). Het is belangrijk om na te gaan in hoeverre zware metalen in de referentiezandlaag worden gemobiliseerd o.i.v. alkalisch percolaat uit de bouwstof. Immers, verhoogde metaalgehalten in de zandlaag onder Fenix en AVI-bouwstof worden afgezet tegen de referentiegehalten.

De mobiliseerbaarheid van metalen in de referentielaag is getest d.m.v. een schudextractie met 0.01 M CaCl_2 . Deze methode geeft een goede schatting van de mobilisatie van 'natuurlijke' bodemgebonden metalen o.i.v. percolaat uit alkalische reststoffen (Wesseling en Dekker, 1995). Ondanks de relatief hoge metaalgehalten in de referentiezandlaag bleken zware metalen niet oplosbaar o.i.v. 0.01M CaCl_2 (concentraties < detectiegrens, J. Peels -INTRON-, mondelinge mededeling). Gehalten van zware metalen in de zandlaag onder de bouwstof aan de Vondelingenweg kunnen dus worden gezien als *betrouwbare* referentiewaarden.

Vervolgens is nagegaan in hoeverre emissies van zware metalen, met name Zn, op de locatie Vondelingenweg gedurende de periode van uitloging (ca. 8.5 jr) zijn gebonden in de bovenste decimeters van de zandlaag onder de bouwstof, danwel zijn doorgespoeld naar diepere lagen. Dit is van belang omdat moet worden nagegaan in hoeverre het gemeten imissieprofiel van de zandlaag de totale cumulatieve imissie danwel slechts een gedeelte daarvan weergeeft.

Uit figuur 3.2 kan niet eenduidig worden afgeleid of binding van Zn al dan niet van belang is in de zandlaag van de Vondelingenweg. De veld-pH op locatie Vondelingenweg werd gemeten op ca. 9.2, in een pH gebied waarin de Zn-mobiliteit sterk verandert. Voor Zn zijn daarom aanvullende berekeningen uitgevoerd. Het Zn concentratieprofiel in de zandlaag onder de bouwstof is berekend na een totale belasting van ca. 5000 mg/m² in 8.5 jaar. De berekening is uitgevoerd bij een drietal verschillende, maar constante, pH waarden. Daarnaast is één profiel doorgerekend waarbij de bodem pH niet constant werd gesteld maar dynamisch berekend o.i.v. het reststofpercolaat. In die laatste berekening werd aangenomen dat het reststofpercolaat het eerste jaar na aanleg een pH van 11 had, en daarna een pH van 9, en dat de Zn concentratie linear afnam met de tijd (uitkomend op een cumulatieve emissie van 4000 mg/m²).

Figuur 3.6 bevestigt het beeld uit fig. 3.2, bij relatief lage pH blijft Zn geconcentreerd in de bovenlagen, bij een pH van 9.5 wordt Zn grotendeels getransporteerd naar diepere lagen.



Figuur 3.6 Voorbeeldberekeningen van Zn immissie locatie Coloradoweg, cumulatieve Zn-emissie ca. 4000 m² over 8.5 jr. Percolatie snelheid 2.2 dm/jr. Berekeningen bij een drietal constante pH's (7, 8 en 9) alsmede bij een 'dynamische' door ECOSAT berekende bodem pH.

Omdat de huidige bodem pH rond de waarde 9 ligt, in een traject waar Zn-binding zeer gevoelig is voor pH veranderingen, en de 'historische' pH niet bekend is, kan op grond van de modellering niet met zekerheid worden vastgesteld of zware metalen al dan niet doorspoelen naar een diepte meer dan 40 cm beneden het bouwstof/zandlaag grensvlak. Uit de metingen blijkt echter dat metalen zich sterk concentreren in de bovenste decimeters van de zandlaag. Dit duidt op een immissie profiel zoals gemodelleerd bij pH van ca. 8-8.5 (figuur 3.6) waarbij het transport van metalen naar diepere lagen beperkt blijft. De gemeten immissieprofielen van zware metalen in de zandlaag onder de bouwstof geven daarmee waarschijnlijk een goed beeld van de totale cumlatieve emissie vanuit de bouwstof sinds aanleg.

4 CONCLUSIES

Op grond van geo-chemisch modellering en aanvullende laboratorium metingen kunnen de volgende conclusies m.b.t de in hoofdstuk 1 gestelde vragen worden getrokken:

- i) de gemeten concentratieprofielen in de bouwstof en de onderliggende zandlaag op de locatie CA (Coloradoweg, asfaltafdekking) zijn typerend voor diffusie gecontroleerde uitloging. De concentratieprofielen in de bouwstof en de onderliggende zandlaag op de locatie CZ (Coloradoweg, klinkerafdekking) zijn typerend van percolatie gecontroleerde uitloging.
- ii) de gemeten diffusieprofielen in de zandlaag van locatie CA representeren grotendeels de totale cumulatieve emissie sinds aanleg.
- iii) diffusie gecontroleerde uitloging uit de bouwstof op locatie CA lijkt geringer dan berekend op grond van de standaard diffusieproef door een verhoogde diffusieweerstand in de bodem welke het gevolg is van een laag vochtgehalte in de bodem
- iv) schattingen van de cumulatieve emissie uit de bouwstof op grond van gemeten concentratieprofielen in de bouwstof van locatie CA zijn onzeker
- v) zware metalen in de referentie zandlaag van de Coloradoweg worden niet gemobiliseerd o.i.v. alkalisch percolaat uit de bouwstof en kunnen daarom als 'inerte' referentiewaarden worden beschouwd
- vi) immissies van Zn, Cd en Pb op de locatie Vondelingenweg binden vermoedelijk in de bovenste decimeters van de zandlaag waardoor transport naar diepere lagen beperkt blijft. De op de Vondelingenweg gemeten immissieprofielen van zware metalen geven daarmee waarschijnlijk een goed beeld van de totale cumulatieve emissie vanuit de bouwstof sinds aanleg.

REFERENTIES

Aalbers et al. 1993. Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem-en oppervlaktewaterenbescherming. RIVM-rapport no. 771402006.

Dekker, P.M., L.G Wesselink en P.G.M. de Wilde. 1995. Verspreiding van emissies uit secundaire grondstoffen in bodems. Deel 1: Kolomexperimenten. RIVM-report 771402014 (eindconcept).

Keizer, M.G. en W.H. van Riemsdijk. 1994. ECOSAT. A computer program for calculation of Speciation and Transport in soil-water systems. Landbouw Universiteit Wageningen, vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, version 3.4.

McBride, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press. pp. 406.

Van der Sloot, H.A., G.J. de Groot, D. Hoede en J Wijkstra. 1991. Mobility of trace elements derived from combustion residues and products containing these residues in soil and groundwater. ECN report: ECN-C--91-059.

Wesselink, L.G. 1994. Time trends and mechanisms of soil acidification. Phd-thesis Agricultural University Wageningen.

Wesselink, L.G. en P.M. Dekker. 1995. Verspreiding van emissies uit secundaire grondstoffen in bodems. Deel 2: Modelling. RIVM-report (concept).