



SKB SV-409

*Interactieve risicobenadering bodemproblematiek voormalige mijn-
streek oostelijk zuid-Limburg*

Deelproject: Gewasonderzoek



Namens het consortium van project SV-409: Alterra
mei, 2003

Gouda, SKB

Titel rapport

project SV-409: Interactieve risicobenadering bodem-
problematiek voormalige mijnstreek oostelijk zuid-Limburg
Deelproject: Gewasonderzoek

SKB
rapportnummer

Project rapportnummer

Auteur

J. Japenga, Alterra

Aantal bladzijden

Rapport: 35

Bijlagen: 0

Uitvoerende organisatie(s)

Alterra bv
De Straat Milieu-adviseurs (penvoerder)
Regio Parkstad Limburg

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Binnen het deelproject gewasonderzoek is onderzoek gedaan naar de opname van PAK in gewassen. Dit om na te gaan of de consumptie van groenten uit particuliere moestuinen en volkstuinen in de regio Parkstad Limburg risico's voor de gezondheid van de mens met zich meebrengt, aangezien de regio diffuus verontreinigd is met PAK. Tijdens het onderzoek zijn gewassen op PAK onderzocht uit particuliere tuinen, proeftuinen in de regio Parkstad Limburg en potproeven die opgesteld waren bij Alterra te Wageningen.

De werkzaamheden die binnen het deelproject zijn uitgevoerd en de resultaten van het onderzoek, zijn in dit rapport beschreven.

Trefwoorden

- PAK
 - Gewassen
 - Humane blootstelling
 - Mijnsteen
-

Titel project

Interactieve risicobenadering bodem
problematiek voormalige mijnstreek oostelijk Zuid-Limburg
Deelproject: Gewasonderzoek

Projectleiding

ir. H.M.C. Satijn

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Inhoudsopgave

Samenvatting	vii
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond en aanleiding project	1
1.2 Probleemstelling deelproject “Gewasonderzoek”	1
1.3 Doelstelling deelproject “Gewasonderzoek”	1
1.4 Aanpak deelproject “Gewasonderzoek”	2
1.5 Opbouw van het rapport	3
2 Particuliere tuinen	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Gehalten in de bodem	5
2.3 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem	7
2.4 Evaluatie	12
3 Proeftuinen	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Gehalten in de bodem	18
3.3 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem	19
3.4 Evaluatie	20
4 Potproeven	21
4.1 Inleiding	21
4.2 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem	22
4.3 Evaluatie	25
5 Evaluatie C-soil	27
5.1 Scenario I: particuliere tuinen	28
5.2 Scenario II: potproef met verontreinigde grond	29
5.3 Scenario III: proefbak Heerlen	30
5.4 Risico-evaluatie	31
5.5 Conclusie	32
6 Biologische beschikbaarheid	33
7 Eindconclusies	35

Samenvatting

Het belangrijkste doel van het deelproject “Gewasonderzoek” was om door middel van experimenteel onderzoek na te gaan of de consumptie van groenten uit particuliere moestuinen en volkstuinten in de regio Parkstad Limburg risico's voor de gezondheid van de mens met zich mee brengt als gevolg van de aanwezigheid van PAK in deze gewassen. Daarbij was het belangrijk om ook na te gaan of een eventueel verhoogd PAK-gehalte in deze gewassen terug te voeren is op in de Zuid-Limburgse bodem aanwezige mijnsteenresiduen of dat andere bronnen een grotere rol spelen. Deze andere bronnen (verkeer, industrie, etc.) zijn immers niet karakteristiek voor de dichtbevolkte en geïndustrialiseerde regio Parkstad-Limburg maar voor elke daarmee vergelijkbare stedelijke omgeving, waarin mijnsteen geen rol speelt. Tenslotte had het deelproject tot doel de gegevens op een zodanige wijze te verkrijgen en te presenteren, dat de bevolking, in het bijzonder eigenaren van moestuinen, maximaal bij het onderzoek werd betrokken.

Om deze doelstellingen te bereiken werd via de krant een campagne gestart waarbij eigenaren van moestuinen werden uitgenodigd om aan het onderzoek mee te werken. Hen werd gevraagd hun moestuinen ter beschikking te stellen voor bemonstering van de grond en de daarop geteelde gewassen sla, wortelen en boerenkool. De 44 moestuinen die op deze manier werden bemonsterd bleken representatief te zijn voor moestuinen in de regio. Er werd geen verband aangetroffen tussen de gehalten in grond enerzijds en gewassen anderzijds. Met andere woorden: relatief hoge gehalten konden worden aangetroffen in gewassen die afkomstig waren van grond met weinig PAK en andersom. Vergelijking met recente literatuurgegevens toonde aan dat de gehalten in de gewassen representatief waren voor verstedelijkt gebied en niet leiden tot een ontoelaatbaar risico voor de volksgezondheid. Specifieke eigenschappen van de bodem in de regio Parkstad Limburg, met name de aanwezigheid van mijnsteenresiduen, leiden niet tot aantoonbare extra belasting van de gewassen met PAK.

Naast het onderzoek in particuliere moestuinen werd ook onderzoek verricht in een aantal speciaal aangelegde proeftuinen. Voor deze proeftuinen werden specifieke locaties geselecteerd, bijvoorbeeld in de nabijheid van een dieselspoorlijn. De onderzoeksresultaten voor deze proeftuinen leidden tot dezelfde conclusies als de resultaten voor de particuliere tuinen. Een speciaal geval was een aantal proeftuinen, dat werd aangelegd naast een mijnsteenberg in Heerlen. Hier werd niet de plaatselijke grond gebruikt maar er werd grond op aangebracht die zwaar verontreinigd was met PAK (circa 0.2% PAK oftewel ruim 40 maal de interventiewaarde). Deze grond was afkomstig van een opslagplaats voor zwaar verontreinigd afval en als zodanig absoluut niet representatief voor moestuinen. Er was dus sprake van een extreme situatie, waar de verontreinigingsgraad zo hoog was dat de gewassen slechts marginale groei vertoonden. Een “*worst case*” scenario dus. Er werd geconstateerd dat ook onder deze extreme omstandigheden geen zodanig verhoogde PAK-gehalten in de gewassen werden aangetroffen, dat sprake was van ontoelaatbare gezondheidsrisico's. Er zijn aanwijzingen dat de enigszins verhoogde gehalten in bladgewassen (sla), die op deze locatie werden gevonden, kunnen worden toegeschreven aan verontreiniging vanuit de lucht.

Om een aantal vooronderstellingen verder te testen werd met de sterk verontreinigde grond, die ook in de proefbakken in Heerlen was gebruikt, een aantal proeven uitgevoerd in potten in de kas bij Alterra in Wageningen. Door in een kas te werken was het mogelijk de omstandigheden zo te kiezen, dat onderscheid kon worden gemaakt tussen PAK, die in het gewas terecht is gekomen via de wor-

tels dan wel (via stofdeeltjes) vanuit de lucht. Door de resultaten van de proefbak in Heerlen met zwaar verontreinigde grond te vergelijken met de resultaten met dezelfde grond in de kas kon de hypothese verder worden onderbouwd, dat belasting van de bladgewassen in het geval van de proef in Heerlen zeer waarschijnlijk is veroorzaakt door fijn verdeeld PAK in de lucht.

Om de bijdrage van PAK in het gewas aan het totale PAK-gerelateerde humane risico in te schatten werden voor een aantal combinaties van gehalten in de bodem en gehalten in het gewas, verkregen tijdens het onderzoek, berekeningen uitgevoerd met het model C-soil van het RIVM. Modelleren maakt het mogelijk risico's te vergelijken met risico's elders. C-soil is in staat zelf de concentraties in het gewas te berekenen uit de gehalten in de bodem. Door nu de bij de bodemgehalten behorende gehalten in de gewassen "op te leggen" aan het model, kon C-soil worden gevalideerd voor moestuinen in Parkstad Limburg. De voorlopige conclusie is dat C-soil veelal hogere gehalten in het gewas berekent dan in de experimenten werden gevonden, met name bij verontreinigde bodems. Dit betekent, dat C-soil voor gewone moestuinen in Parkstad Limburg de risico's voor de mens redelijk kan voorspellen door uit te gaan van gehalten in de bodem. Voor verontreinigde bodems (waar overigens normaal gesproken geen moestuinen op worden aangelegd) overschat C-soil de risico's.

Indien de resultaten van de drie onderdelen van het deelproject "Gewasonderzoek" worden gecombineerd, kan worden vastgesteld dat is voldaan aan de bovengenoemde doelstellingen. De volgende algemene conclusies kunnen worden getrokken:

- In Parkstad Limburg is de belasting van voedingsgewassen met PAK niet zeer hoog en vergelijkbaar met die in andere verstedelijkte gebieden. Derhalve is ook de bijdrage van gewassen aan de opname van PAK door de mens in Parkstad Limburg vergelijkbaar met die in andere verstedelijkte gebieden.
- Opname van PAK uit de bodem (en dus uit mijnsteenresiduen) levert geen belangrijke bijdrage aan de belasting van voedingsgewassen met PAK in Parkstad Limburg. Andere bronnen, met name aanvoer vanuit de lucht, zijn belangrijker.
- Het model C-soil overschat de opname van PAK door gewas in het geval van hogere PAK-gehalten in de bodem. Dit betekent dat directe opname van bodemdeeltjes een relatief belangrijker bijdrage vormen. Het inrichten van moestuinen op (matig tot zwaar) verontreinigde grond levert geen risico's op als gevolg van consumptie van daarop geteelde gewassen, maar wel als gevolg van onbedoelde ingestie van bodemdeeltjes. Voor normale moestuinen geldt dat deze hogere PAK-gehalten niet worden gevonden en er dus geen risico is verbonden aan de consumptie van gewassen en de onbedoelde ingestie van grond.

1 Inleiding

Het deelproject “Gewasonderzoek” maakt deel uit van het project ‘Interactieve risicobenadering voormalige mijnstreek Zuid-Limburg’.

1.1 Achtergrond en aanleiding project

Tengevolge van de mijnindustrie is de bodem in de regio oostelijk Zuid-Limburg plaatselijk verontreinigd met PAK. Omvangrijke bebouwde en ernstig verontreinigde locaties zijn inmiddels gesaneerd, maar ook in het resterende gebied is de bodem diffuus belast. De burgers hebben vragen over gezondheidsrisico's tengevolge van PAK, leven in onzekerheid en willen feiten van de overheid. De overheid op haar beurt beschikt niet over voldoende harde gegevens over de risico's van mijnsteen. Deze onwetendheid leidt tot onduidelijkheid, miscommunicatie, onbegrip en wantrouwen tussen burgers en overheid.

1.2 Probleemstelling deelproject “Gewasonderzoek”

Bij een deel van de bewoners van Parkstad Limburg bestaat al langere tijd ongerustheid over de mogelijke gezondheidsrisico's van de consumptie van groenten uit particuliere moestuinen en volkstuinten. Dergelijke risico's worden in verband gebracht met de residuen mijnsteen, die wijd verspreid in de regio voorkomen, en die kunnen leiden tot een verhoogd gehalte aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) in de groenten. Om na te gaan of deze ongerustheid terecht of niet terecht is, is het noodzakelijk te weten of groenten in de moestuin daadwerkelijk PAK uit met mijnsteen verontreinigde bodem kunnen opnemen. Als dat zo blijkt te zijn, is het belangrijk te weten of de opname vanuit de bodem een belangrijke bijdrage levert aan de totale gehalten in het gewas of dat andere welbekende “bronnen” belangrijker zijn: autoverkeer, dieselspoorlijnen, barbecues, etc.

1.3 Doelstelling deelproject “Gewasonderzoek”

De doelstelling van het deelproject “Gewasonderzoek” is vierledig:

- Nagaan of de belasting van bewoners van Parkstad Limburg met PAK als gevolg van de consumptie van voedingsgewassen uit de eigen moestuin of volkstuin verhoogde risico's voor de gezondheid met zich meebrengt. De belasting als gevolg van gewasconsumptie wordt daarbij ook vergeleken met de belasting als gevolg van directe ingestie van grond en stofdeeltjes.
- Nagaan of de eventueel verhoogde aanwezigheid van PAK in groenten, afkomstig van moestuinen of volkstuinten in Parkstad Limburg, verband houdt met de aanwezigheid van PAK in de bodem. Deze is in de regio hoger dan elders, als gevolg van het mijnbouwverleden.
- Zonodig vaststellen welke maatregelen door de bewoners zelf kunnen worden genomen om de inname van PAK via voedingsgewassen te verminderen.
- Het zodanig weergeven van onderzoeksresultaten, dat de conclusies ervan door degenen bij wie ongerustheid bestaat (bewoners, maar ook overheden) als overtuigend en definitief zullen worden beschouwd.

1.4 Aanpak deelproject “Gewasonderzoek”

Om met name de communicatie naar de doelgroepen (bewoners, overheden) te vergemakkelijken is gekozen voor een aanpak in drie onderdelen, waarmee een compromis is gezocht tussen enerzijds de “herkenbaarheid” van het onderzoek voor deze doelgroepen en anderzijds de “wetenschappelijke hardheid” van de onderzoeksresultaten. Een combinatie van beide is noodzakelijk om de conclusies “overtuigend en definitief” te kunnen doen zijn, hetwelk een der doelstellingen van dit deelproject is.

De onderdelen van het deelproject zijn:

- **Particuliere tuinen.** Om de betrokkenheid van bewoners te garanderen werd via de krant een oproep gedaan om mee te doen aan het deelproject door gewas uit eigen moestuinen te laten analyseren. Het deelproject werd daardoor “herkenbaar”; de “wetenschappelijke hardheid” van de resultaten is minder hoog omdat de omstandigheden niet goed gecontroleerd konden worden.
- **Proeftuinen.** Naast de particuliere tuinen werden proeftuinen ingericht in Heerlen, Landgraaf en Kerkrade. De proeftuin in Heerlen werd kunstmatig ingericht door ernstig verontreinigde grond van elders aan te voeren; de andere proeftuinen werden ingericht op de lokaal aanwezige grond. Ook hier een hoge “herkenbaarheid” en redelijk te controleren omstandigheden waardoor de “wetenschappelijke hardheid” hoger was dan bij de particuliere tuinen.
- **Potproeven.** Onder gecontroleerde omstandigheden werd in kasfaciliteiten bij Alterra een experiment uitgevoerd. De potten werden gevuld met dezelfde grondmengsels, die ook werden gebruikt in de proeftuin in Heerlen. Hierdoor konden de resultaten van onderzoek in de kas (potproef) met resultaten onder veldomstandigheden (proeftuin) worden vergeleken. De “wetenschappelijke hardheid” van de resultaten van de potproeven is hoger dan van de resultaten verkregen bij de particuliere tuinen en de proeftuinen.

In alle experimenten werden boerenkool, wortelen en sla onderzocht. Deze keuze was gebaseerd op de volgende overwegingen:

- **Boerenkool** heeft een groot bladoppervlak, een langzame groei en een verondersteld geringe tendens om PAK via de wortels op te nemen. Hierdoor is boerenkool een goede indicator voor opname via de lucht (stofdeeltjes en aerosolen).
- **Wortelen** hebben ondergrondse eetbare delen en zijn een indicator voor PAK die mogelijk in gewas terecht komen via directe overdracht vanuit de bodem naar het oppervlak van het gewas (sorptie).
- **Sla** heeft een groot bladoppervlak, een snelle groei en mogelijk een relatief groot vermogen PAK op te nemen via het wortelstelsel. Verontreiniging met PAK via opspattende grond speelt bij sla ook een relatief grote rol.

Bij het onderzoek werden de gewassen huishoudelijk gewassen (in het geval van wortelen werd niet geschild of geschraapt). Daarnaast werden in het geval van de potproeven ook gewasmonsters geanalyseerd die niet waren gewassen, alsmede gewassen die extra zorgvuldig gewassen waren.

Voorafgaande aan de experimenten werd een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de elders gevonden gehalten aan PAK in gewassen, alsmede naar de meest geschikte analysemethode. Dit voorbereidend onderzoek is eerder apart gerapporteerd. In het hier gepresenteerde rapport zal daarom verder niet worden ingegaan op de analysemethode. Elders gevonden gehalten worden bij het trekken van conclusies meegenomen, maar er wordt niet in detail op ingegaan.

Om de risico's te kunnen plaatsen in het kader van door het beleid gehanteerde risicoschattingen werden de in het gewas gevonden gehalten geëvalueerd met het blootstellingsmodel C-soil.

1.5 Opbouw van het rapport

De hoofdstukken 2, 3 en 4 behandelen de drie experimentele projectonderdelen van dit deelproject (respectievelijk particuliere tuinen, proeftuinen, potproeven). In elk der hoofdstukken wordt eerst een korte inleiding gegeven met daarin zonedig relevante achtergrondinformatie en eventueel ervaringen van het projectteam. Daarna worden de resultaten samengevat en worden een aantal conclusies getrokken. In hoofdstuk 5 wordt de evaluatie met behulp van C-soil kort beschreven. In hoofdstuk 6 volgt een korte beschouwing over metingen van de biologische beschikbaarheid van PAK (TENAX) in relatie tot gewasopname. In hoofdstuk 7 worden de belangrijkste eindconclusies kort samengevat weergegeven.

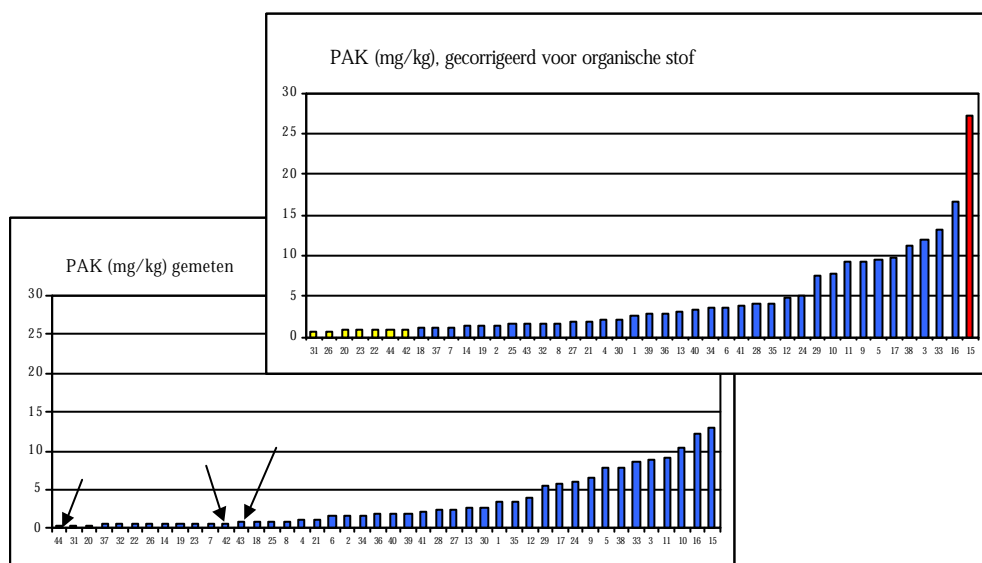
2 Particuliere tuinen

2.1 Inleiding

In reactie op een verzoek van Parkstad Limburg om mee te werken aan een onderzoek naar het PAK-gehalte in groenten, werd door 44 eigenaren van moestuinen gereageerd. In sla, wortelen en boerenkool, afkomstig van deze tuinen, werd door Alterra het gehalte aan PAK bepaald. Dit kon vervolgens worden vergeleken met de gehalten die in de bodem waren gevonden, teneinde vast te stellen of er een verband bestond tussen gehalten in de bodem en gehalten in de gewassen. Niet in alle gevallen werd voldoende gewas verkregen om een betrouwbare bepaling van het gehalte PAK te kunnen uitvoeren.

2.2 Gehalten in de bodem

In figuur 1 zijn de PAK-gehalten weergegeven in de grond uit alle 44 aangemelde tuinen, waaronder een drietal referentietuinen, ver verwijderd van PAK-bronnen. Het betreft hier de som van 10 individuele PAK, zoals gebruikelijk bij PAK-onderzoek in Nederland.



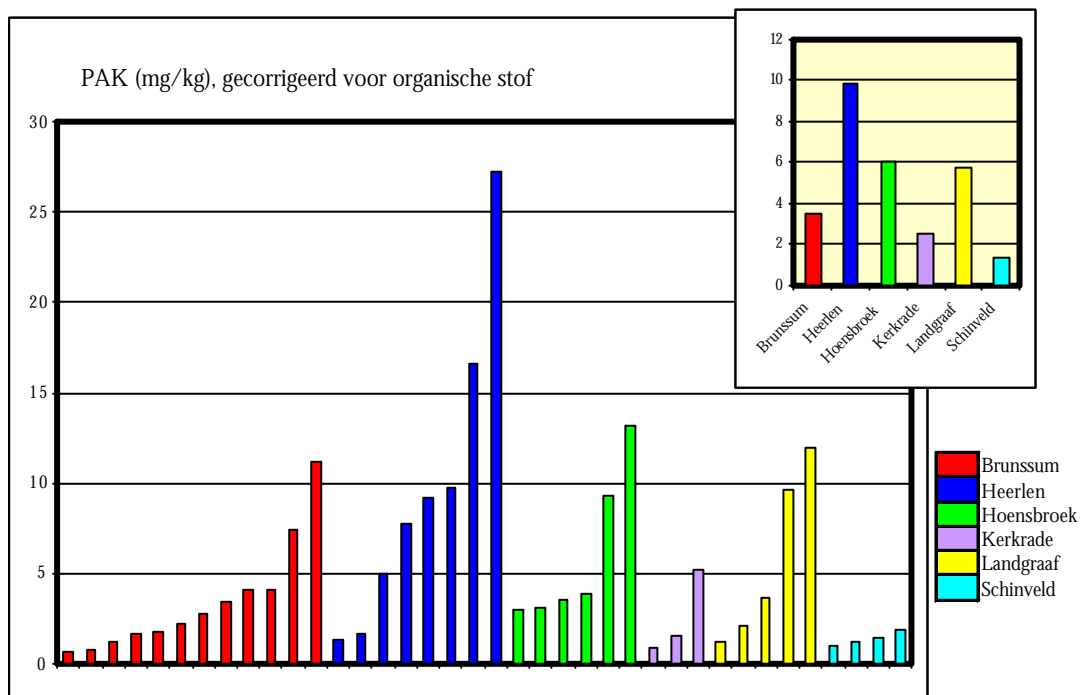
Figuur 1

PAK-gehalten (PAK-10) in grond afkomstig uit de 44 particuliere tuinen die bij het gewasonderzoek betrokken waren, gerangschikt naar oplopend PAK-gehalte. Zowel de gemeten waarden zijn weergegeven als de waarden na correctie voor het organische stof gehalte. In geel aangegeven zijn gehalten, lager dan de streefwaarde van 1 mg/kg; in rood aangegeven het monster waarin de "tussenwaarde" van ongeveer 22 mg/kg is overschreden. Op de x-as is het tuin-nummer aangegeven.

Figuur 1 bevat zowel de gehalten zoals deze daadwerkelijk zijn gemeten, als ook de gehalten nadat deze zijn teruggerekend naar een standaardbodem met 10% organische stof. Dit laatste is de standaardprocedure wanneer bodems met een verschillende sorptie capaciteit onderling moeten worden vergeleken (hoewel dit voor gehalten OS < 10% tegenwoordig niet meer gebruikelijk is). Ook is in de figuur aangegeven in welke gevallen de referentiewaarde wordt overschreden (in geel weergegeven) en in welke gevallen de “tussenwaarde” wordt overschreden (in rood weergegeven).

In de figuur zijn de monsters weergegeven in volgorde van oplopend PAK-gehalte. Pijlen geven de monsters 42, 43 & 44 aan, die afkomstig zijn van buiten Parkstad gelegen tuinen en die dienen als referentie, zonder enige invloed van mijnsteen of vooraf bekende andere bronnen van PAK (zoals excessief verkeer).

De variatie in PAK-gehalten in de onderzochte particuliere tuinen komt in hoge mate overeen met de variatie in PAK-gehalten, die werd vastgesteld in de op statistisch verantwoorde wijze verkregen steekproeven binnen het deelproject “Bodemkwaliteitskaarten”. De gehalten liggen over het algemeen iets hoger dan die in het deelgebied “volkstuinten” en iets lager dan in het deelgebied “woongebied voor 1970”. Dit betekent dat de resultaten voor de door vrijwillige aanmelding verkregen moestuinen toch met voldoende zekerheid kunnen worden doorvertaald naar de gehele regio Parkstad Limburg. Dit is een uitermate belangrijke constatering omdat het inhoudt dat, binnen zekere statistische beperkingen, de resultaten van het onderzoek in particuliere tuinen representatief kunnen worden geacht voor de regio Parkstad Limburg.



Figuur 2

Verschillen tussen PAK-gehalten (PAK-10) in de grond afkomstig uit particuliere tuinen, verkregen in verschillende steden/dorpen. Alleen weergegeven zijn plaatsen waar tenminste drie moestuinen zijn bemonsterd.

Om na te gaan of er een verband bestaat tussen de locatie van de moestuin en de aldaar gevonden PAK-gehalten in de bodem, is in figuur 2 het PAK-gehalte weergegeven voor moestuinen in verschillende dorpen/steden. In de inleg van figuur 2 zijn de gemiddelden weergegeven.

Uit figuur 2 blijkt dat er inderdaad verschillen zijn tussen de verschillende steden/dorpen. Hoewel voor een verantwoorde analyse te weinig tuinen zijn bemonsterd, lijkt het er toch op dat er in Heerlen sprake is van een gemiddeld hogere belasting met PAK dan in andere plaatsen. Ook valt op dat in Hoensbroek geen schone tuinen (minder dan 3 mg PAK-10/kg oftewel drie maal de referentiewaarde) zijn aangetroffen. Verschillen kunnen verband houden met de aanwezigheid van mijnsteenresiduen, maar kunnen ook veroorzaakt zijn door bijvoorbeeld de aanwezigheid van veel verkeer in de onmiddellijke nabijheid van de moestuin. Verdere conclusies zijn alleen mogelijk na een gedetailleerd onderzoek van de locaties. Dergelijk onderzoek is mogelijk omdat de locaties zorgvuldig zijn gedocumenteerd, inclusief foto's en een kwalitatieve beschrijving van mogelijk belangrijke andere bronnen van PAK. In dergelijk gedetailleerd onderzoek was echter niet voorzien in het kader van dit deelproject.

2.3 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem

Bij de oogst van gewas in een aantal aangemelde moestuinen zijn PAK-gehalten in het gewas gevonden die voor een of meer gewassen onvoldoende betrouwbaar waren. Dit is vooral te wijten aan onvoldoende oogstopbrengst in het geval van wortelen en sla; in een aantal gevallen werd in het geheel geen gewas geoogst. Voor boerenkool is in alle gevallen wel voldoende gewas verkregen omdat dit gewas eind 2001 werd geoogst, onmiddellijk na selectie van de tuinen (in een aantal gevallen werd niet boerenkool, maar het meest verwante wel aangetroffen gewas geoogst). Na het oogsten van de boerenkool kregen de tuineigenaren zaad voor wortelen en sla uitgereikt; ondanks deze voorzorgsmaatregel werd in een aantal gevallen niet of nauwelijks geoogst.

Om nu toch een goede vergelijking te kunnen maken tussen PAK-gehalten in gewassen van de particuliere tuinen is gekozen voor de volgende strategie:

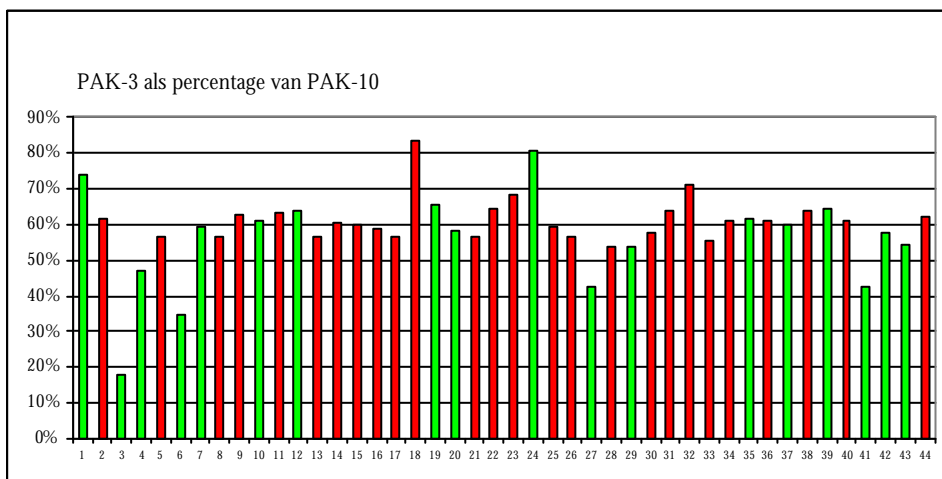
- In de eerste plaats werden alleen die moestuinen onderling vergeleken, waarin alle drie de gewassen (met voldoende betrouwbaarheid) konden worden geanalyseerd. Dit waren in totaal 18 van de 44 tuinen.
- In de tweede plaats werden niet alle PAK in bodem en gewas onderling vergeleken (de PAK-10) maar alleen een drietal: fluorantheen (FLU), pyreen (PYR), benz[a]pyreen (BAP). Dit drietal (PAK-3) is niet alleen representatief voor het totaal (bijna 60% van PAK-10) maar ook voor de totale toxiciteit (bijna 80% van de BAP-equivalenten). Dit blijkt uit onderstaande tabel, waarin de gemiddelde gehalten aan PAK-10 van de particuliere tuinen zijn weergegeven in de eerste kolom. In de tweede kolom staat de relatieve toxiciteit ten opzichte van BAP en in de derde zijn de BAP-equivalenten weergegeven. Onderin de tabel is in het rood de procentuele bijdrage van PAK-3 aan PAK-10 en aan de toxiciteit weergegeven.

GEMIDDELDE GEHALTEN VAN PAK-1 + PYRTEEN IN PARTICULIERE TUIJEN

	gehalte	index	BAP-eq.
naftaleen	0.000 mg/kg		mg/kg
fenantreen	0.379 mg/kg		mg/kg
antraceen	0.074 mg/kg		mg/kg
fluoranteen	0.807 mg/kg	0.010	0.00807 mg/kg
pyreen	0.771 mg/kg	0.001	0.00077 mg/kg
benzo[a]antraceen	0.441 mg/kg	0.100	0.04413 mg/kg
chryseen	0.474 mg/kg	0.010	0.00474 mg/kg
benzo[k]fluoranteen	0.214 mg/kg	0.100	0.02138 mg/kg
benzo[a]pyreen	0.351 mg/kg	1.000	0.35112 mg/kg
benzo[ghi]peryleen	0.286 mg/kg		mg/kg
indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.313 mg/kg	0.100	0.03126 mg/kg
som 10 PAK's van VROM	3.340 mg/kg		0.4607 mg/kg
som PAK-3	1.930 mg/kg		0.35996 mg/kg
PAK-3 / PAK-10 (als percentage)	57.8% %		78.1% %

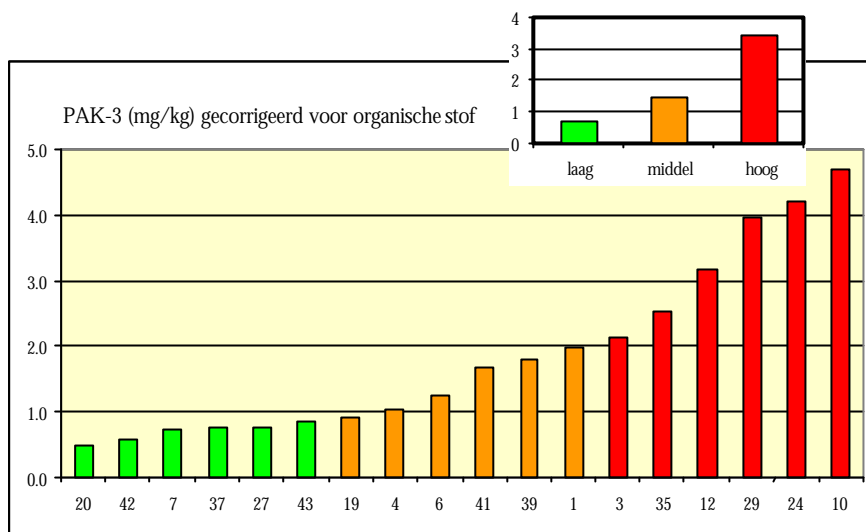
Bovendien werden deze drie PAK met voldoende betrouwbaarheid gekwantificeerd in alle gewasmonsters. Dus niet alleen in de hier besproken gewassen uit de particuliere tuinen, maar ook in de gewassen die werden verkregen in het onderzoek van de proeftuinen en bij de potproeven.

In figuur 3 is aangegeven hoe voor alle 44 onderzochte moestuinen de gehalten aan PAK-3 zich verhouden tot de gehalten aan PAK-10. In de overgrote meerderheid van de gevallen is het gehalte aan PAK-3 60% van het gehalte aan PAK-10 (het gemiddelde is 59% en de mediaan 60%). In de gevallen waarin PAK-3 relatief laag was werden relatief hoge gehalten chryseen en benz[a]antraceen aangetroffen. Dit wijst op een andere (onbekende) bron van PAK dan in de meerderheid van de gevallen. In de gevallen dat het percentage PAK-3 bovengemiddeld was (monsters 18 en 24) bleken chryseen en benz[a]antraceen om analytisch-technische redenen niet te kunnen worden gekwantificeerd, althans niet nauwkeurig. Er bestond geen verband tussen een hoog of laag relatief PAK-3-gehalte (percentage van PAK-10) en de hoogte van het gehalte PAK-3 zelf. In figuur 3 zijn de 18 tuinen, waarvoor de gehalten aan PAK-3 in de bodem zijn vergeleken met de gehalten aan PAK-3 in de gewassen, groen gemarkeerd.



Figuur 3

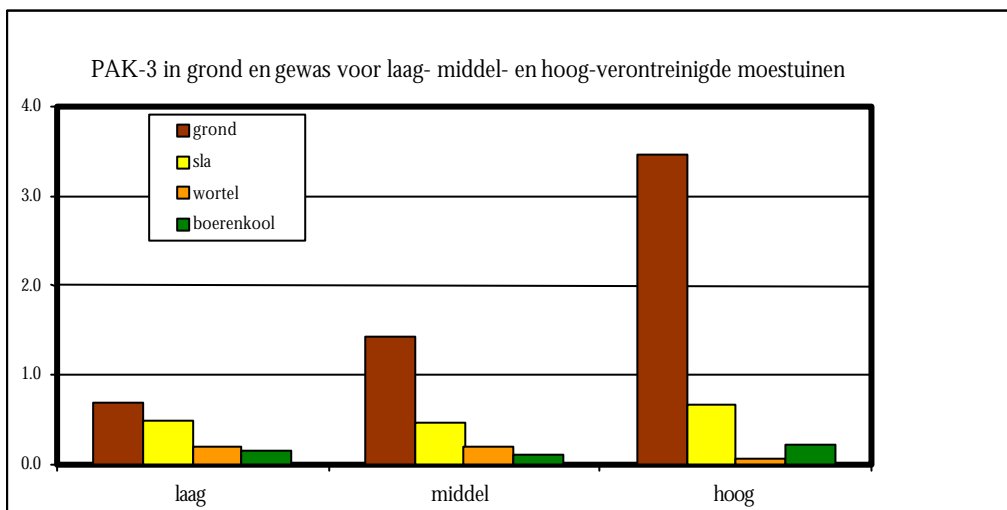
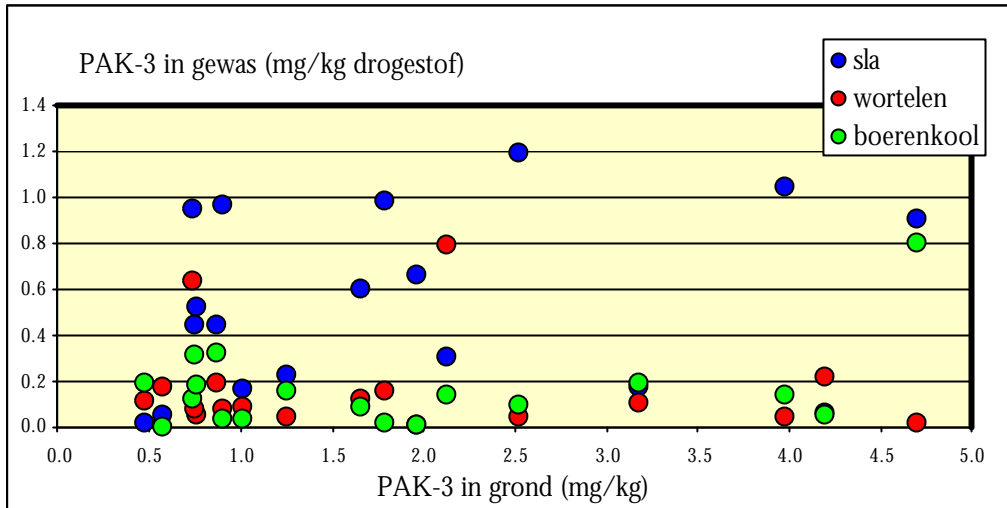
De som van de gehalten aan fluorantheen, pyreen en benz[a]pyreen (PAK-3) als percentage van het totaalgehalte PAK (als PAK-10). In groen zijn de 18 geselecteerde moestuinen aangegeven, waarvan bodemgehalten in dit hoofdstuk worden vergeleken met gewasgehalten voor PAK-3. Op de x-as is het tuin-nummer aangegeven.



Figuur 4

De verdeling van PAK-3 gehalten (in de bodem, gecorrigeerd voor organische stof) over de particuliere tuinen waarvan het gehalte in de bodem is vergeleken met gehalten in het gewas. Op de x-as is het tuin-nummer aangegeven. De inzet geeft de gemiddelden weer voor de zes tuinen met de laagste PAK-3 gehalten, de middelste PAK-3 gehalten en de hoogste PAK-3 gehalten.

In figuur 4 zijn deze 18 tuinen gerangschikt naar oplopend gehalte aan PAK-3 (teruggerekend naar een standaardbodem met 10% organische stof). Deze tuinen zijn vervolgens verdeeld in drie groepen, met een laag, middel en hoog gehalte aan PAK-3. De indicaties laag, middel en hoog worden hier uitsluitend gebruikt om de drie groepen van elk zes tuinen aan te duiden, en hebben geen relatie met normen, risico's etc. Zo blijkt het hoogst verontreinigde grondmonster (na omrekenen naar 10% organische stof en naar PAK-10) 7-8 mg PAK/kg grond te bevatten. Dat is dus boven de streefwaarde (1 mg/kg), maar ver onder de tussenwaarde (22 mg/kg) en de interventiewaarde (40 mg/kg). In de inleg van de figuur zijn de gemiddelden weergegeven van deze drie groepen: 0.7, 1.4 en 3.5 mg PAK-3/kg.



Figuur 5

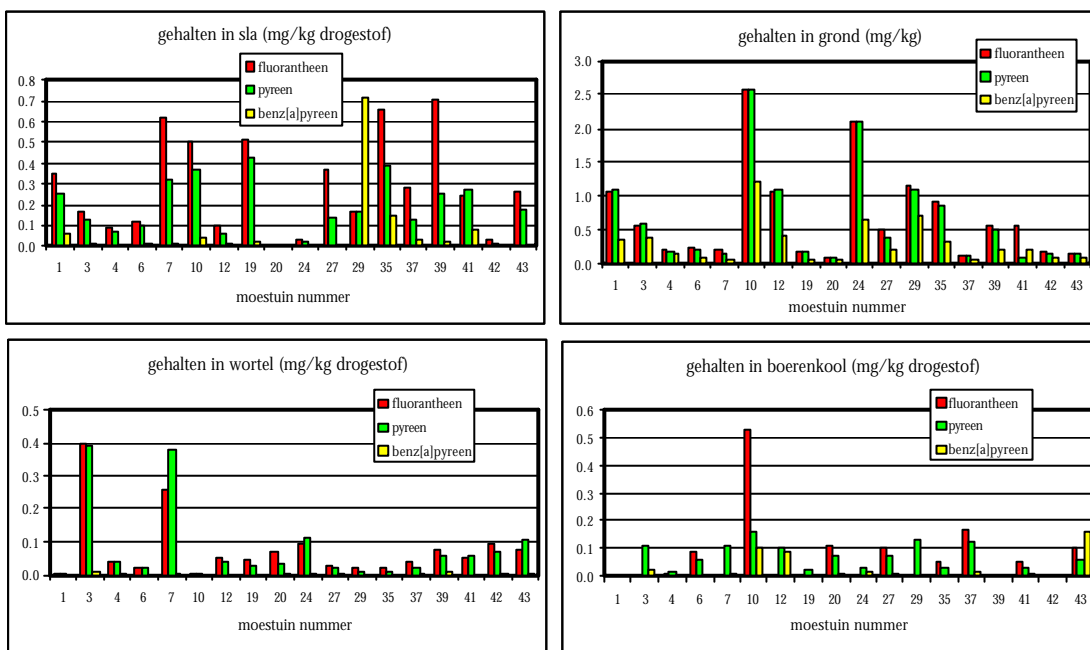
De relatie tussen PAK-3 gehalten in grond (mg/kg, gecorrigeerd voor organische stof) en PAK-3 gehalten in gewassen (mg/kg drogestof voor huishoudelijk behandelde gewasmonsters). In het bovenste deel zijn de individuele gehalten in grond en gewas tegen elkaar uitgezet. In het onderste deel zijn de resultaten samengevat voor de groepen laag, middel en hoog. Laag, middel en hoog voor de gehalten in de bodem corresponderen met de inzet in figuur 4.

In figuur 5 zijn de gehalten aan PAK-3 weergegeven in zowel de bodem als in de drie op deze grond geteelde gewassen. In het bovenste deel van de figuur zijn de gehalten in de gewassen uitgezet tegen de gehalten in de bodem voor alle 18 bemonsterde moestuinen. In het onderste deel van de figuur zijn de gehalten in grond en gewas weergegeven voor de drie groepen tuinen met oplopend PAK-3 gehalte in de bodem (laag, middel en hoog). De gehalten in de gewassen betreffen gehalten in het materiaal dat na huishoudelijke voorbehandeling is gedroogd en gemalen. Hierbij zij aangetekend dat in een aantal gevallen de wortelen zo klein waren dat huishoudelijk voorbehandelen niet goed kon worden uitgevoerd.

Aan de hand van figuur 5 kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- Hogere gehalten in de bodem leiden niet tot hogere gehalten in de gewassen.
- Sla lijkt het beste in staat om PAK uit de bodem op te nemen maar ook bij dit gewas is er geen sprake van een duidelijke relatie met het PAK-gehalte in de bodem.
- Wortelen nemen waarschijnlijk weinig PAK op uit de bodem. Dit blijkt uit de lage gehalten in de meer verontreinigde tuinen. Dat de gehalten in de minder verontreinigde tuinen juist iets hoger liggen lijkt verband te houden met de waarneming dat (toevallig) juist in die tuinen zeer kleine en dus moeilijk te wassen wortelen werden geoogst. De hogere gehalten lijken dus verband te houden met achtergebleven aanhangende grond.

Wanneer wordt gekeken naar de spreiding tussen individuele tuinen, dan blijkt dat zeer waarschijnlijk andere bronnen een rol spelen naast opname (of sorptie na opspatten) vanuit de grond waarop is geteeld. Dit blijkt uit figuur 6, waarin voor de drie gewassen de gehalten van de drie individuele PAK zijn weergegeven voor alle moestuinen. Zonder een zeer grondig verder onderzoek naar de locatie van de tuin, het gedrag van de tuineigenaar etc. is deze spreiding verder niet goed te verklaren. Grote verschillen zijn ook mogelijk als gevolg van verschillen in afbraaksnelheden van PAK in de plant zelf.



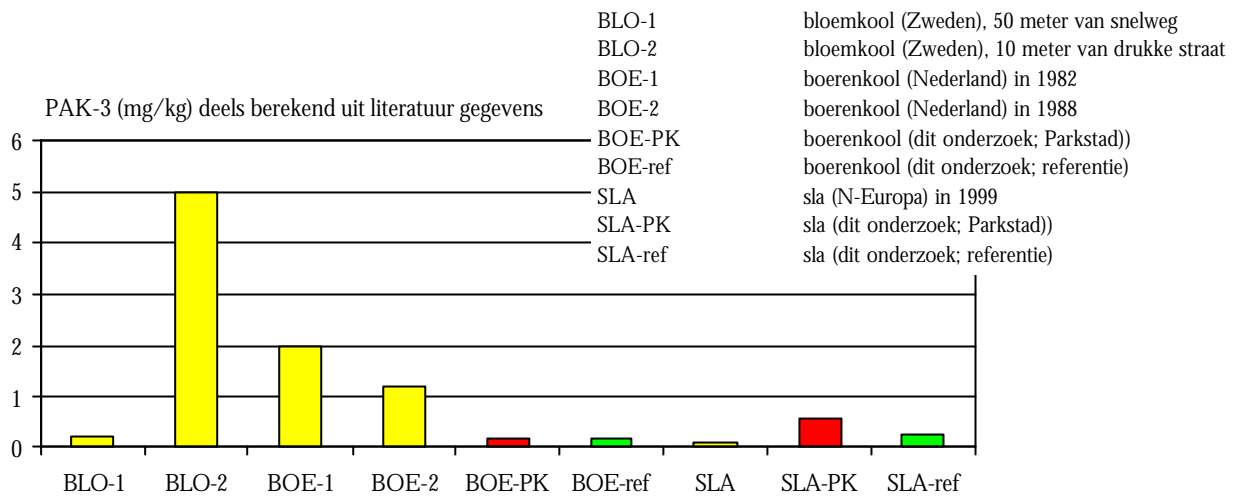
Figuur 6

De spreiding tussen de verschillende moestuinen, zowel voor wat betreft de spreiding in PAK-3 gehalten in grond en gewas als ook voor wat betreft de spreiding tussen de drie individuele PAK, die zijn gemeten.

2.4 Evaluatie

Ondanks het risico van het “selecteren” van moestuinen op basis van vrijwillige aanmelding na een oproep daartoe in de krant, blijkt er toch een representatieve steekproef te hebben plaatsgehad. Dit op grond van vergelijking van de resultaten voor de PAK-gehalten in de bodem van de particuliere tuinen met de overeenkomstige resultaten van de statistisch verantwoorde steekproef, zoals die is uitgevoerd in het kader van het deelproject “Bodemkwaliteitskaarten”. Hierdoor kunnen de resultaten van het onderzoek van de particuliere tuinen worden beschouwd als representatief voor de situatie in moestuinen in Parkstad Limburg ten aanzien van de belasting met PAK.

Vergelijking met resultaten van elders uitgevoerd “diagnostisch” onderzoek is niet gemakkelijk, gezien de andere gebruikte onderzoeksmethoden, het kwantificeren van andere PAK dan de hier gebruikte PAK-3 etc. In 1982 en 1988 werd uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar PAK in boerenkool in Nederland en werden gemiddelde gehalten van 0.18 mg/kg (1982) en 0.11 mg/kg (1988) voor pyreen + fluorantheen in verse boerenkool gevonden. Bij een geschat drogestof gehalte van 10% in boerenkool en een schatting van het gehalte benz[a]pyreen (op basis van extrapolatie) komt dit overeen met ongeveer 2 mg/kg PAK-3 in 1982 en ongeveer 1.2 mg/kg PAK-3 in 1988. Recentelijk is onderzoek uitgevoerd naar de belasting van bladgroenten met PAK uit bodem en atmosfeer. Waarden van 0.09 mg/kg PAK-3 werden gevonden in sla en vergelijkbaar bladgewas als andijvie en spinazie. Indien specifiek wordt gekeken naar PAK in gewassen die (in een veldsituatie) werden geteeld op mogelijk verontreinigde grond, dan werden hogere gehalten aangetroffen in groenten. Nabij een aluminium-smelterij in Zweden werden gehalten van ongeveer 0.2 mg/kg PAK-3 in sla aangetroffen. Bloemkool die in Zweden werd geteeld langs de snelweg en in de stad (nabij een drukke straat) bevatte tussen 0.2 mg/kg PAK-3 (50 meter van de snelweg) en 5 mg/kg PAK-3 (10 meter van de drukke straat); PAK gehalten bleken sterk af te hangen van de afstand tot de “bron” van PAK, in dit geval verkeer. Voor meer informatie over ander onderzoek naar PAK in gewas zij verwezen naar het eerder in het kader van het deelproject “Gewasonderzoek” uitgekomen literatuuronderzoek. In figuur 7 is aangegeven hoe de in de particuliere tuinen in Parkstad Limburg gevonden PAK-gehalten (voor sla en boerenkool) zich verhouden tot bovengenoemde literatuurgegevens. Er kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de in Parkstad Limburg gevonden waarden typisch zijn voor gewassen die zijn geteeld in een verstedelijkte omgeving met een tamelijk hoge aanvoer van PAK vanuit de lucht.



Figuur 7

PAK-3 gehalten in boerenkool en sla.

Geel: literatuurgegevens

Rood: gegevens uit dit onderzoek (tuinen Parkstad)

Groen: gegevens uit dit onderzoek (referentietuinen)

De gehalten in sla zijn in Parkstad Limburg iets hoger dan de waarden die zijn gevonden in een diagnostisch onderzoek, waarbij vooral commercieel verhandelde sla is betrokken. Gehalten daarin zijn waarschijnlijk lager omdat deze sla niet in een stedelijke omgeving is geteeld en bovendien onder agronomisch optimale omstandigheden is geteeld en dus sneller oogstrijp is (en daardoor minder tijd is blootgesteld aan mogelijk verontreinigde lucht). Bovendien toont figuur 5 aan dat er geen duidelijk verband bestaat tussen verhoogde gehalten in de bodem en verhoogde gehalten in het gewas.

In algemene zin kan worden geconcludeerd dat gewassen die worden geteeld in particuliere tuinen in Parkstad Limburg (moestuinen, volkstuinen) niet meer PAK bevat dan redelijkerwijs kan worden verwacht voor gewassen die in een verstedelijkte omgeving in moestuinen worden geteeld. Eventuele verhoogde gehalten zijn eerder te wijten aan de invloed van aanvoer van PAK via de lucht (en in het geval van wortelen via aanhangende bodemdeeltjes) dan aan aanvoer vanuit de licht verontreinigde bodem via het wortelstelsel.

3 Proeftuinen

3.1 Inleiding

Boerenkool, sla en wortelen zijn ingezaaid in een aantal proeftuinen in Parkstad Limburg. Een tweetal proeftuinen bevond zich in Kerkrade, een tweetal proeftuinen in Landgraaf en een viertal proeftuinen (of liever proefbakken) in Heerlen. Daarnaast werd een tweetal referentietuinen bemonsterd in Assenede (B) (referentie I) en Eckelrade (referentie II).

De proeftuinen in Landgraaf en Kerkrade werden aangelegd op licht verontreinigde grond (lager dan de tussenwaarde van 22 mg PAK-10/kg grond na correctie voor het organische stof gehalte). In een aantal gevallen waren ook mogelijke additionele bronnen van PAK aanwezig. Foto 1 laat een van de proeftuinen zien (Landgraaf I), die direct naast een (diesel)spoorlijn is gelegen. De spoorweg kan zorgen voor extra belasting met PAK.

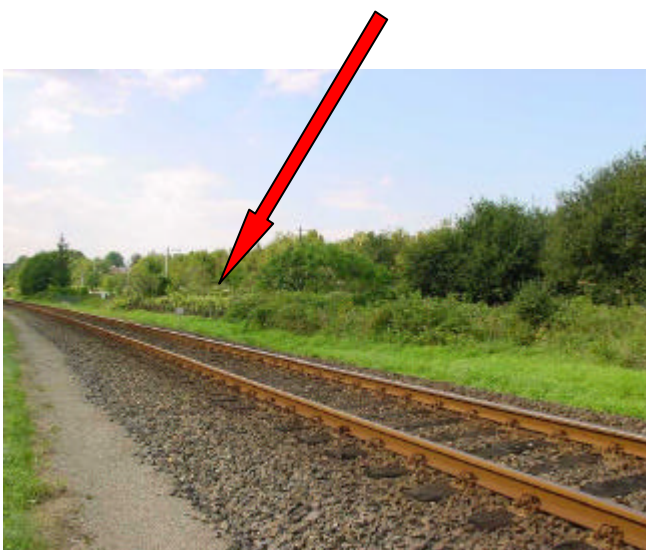


Foto 1
Proeftuin, die direct naast een dieselspoorweg is gelegen (Landgraaf-1).

Een andere proeftuin (Kerkrade I) was gesitueerd in de nabijheid van zowel een spoorlijn als ook in de nabijheid van bewoning en autoverkeer. De locatie is weergegeven in foto 2. De proeftuinen in Kerkrade en Landgraaf zijn gefotografeerd op het moment van bemonsteren van grond en gewas. Er werd op deze vier proeftuinen voldoende gewas geoogst om analyses te kunnen uitvoeren. De sla was echter “doorgeschoten”, hetwelk betekent dat eventuele verhoogde PAK-gehalten mogelijk niet representatief zijn voor consumptiesla.



Foto 2

Ligging van de proeftuin "Kerkrade-I"

De proeftuin in Heerlen had een ander karakter dan de proeftuinen in Landgraaf en Kerkrade en bestond in feite uit een viertal direct naast elkaar gelegen proefbakken, waarvan twee waren gevuld met schone grond (klei en zand) en de andere twee met dezelfde grond waarop sterk verontreinigde grond werd aangebracht. Deze sterk verontreinigde grond was afkomstig van een depot waar grond afkomstig van de sanering van het mijnterrein

ON II te Landgraaf was opgeslagen. De grond werd op het depot bemonsterd en geanalyseerd en bevatte circa 0.9% PAK-10 naast 0.6% minerale olie.

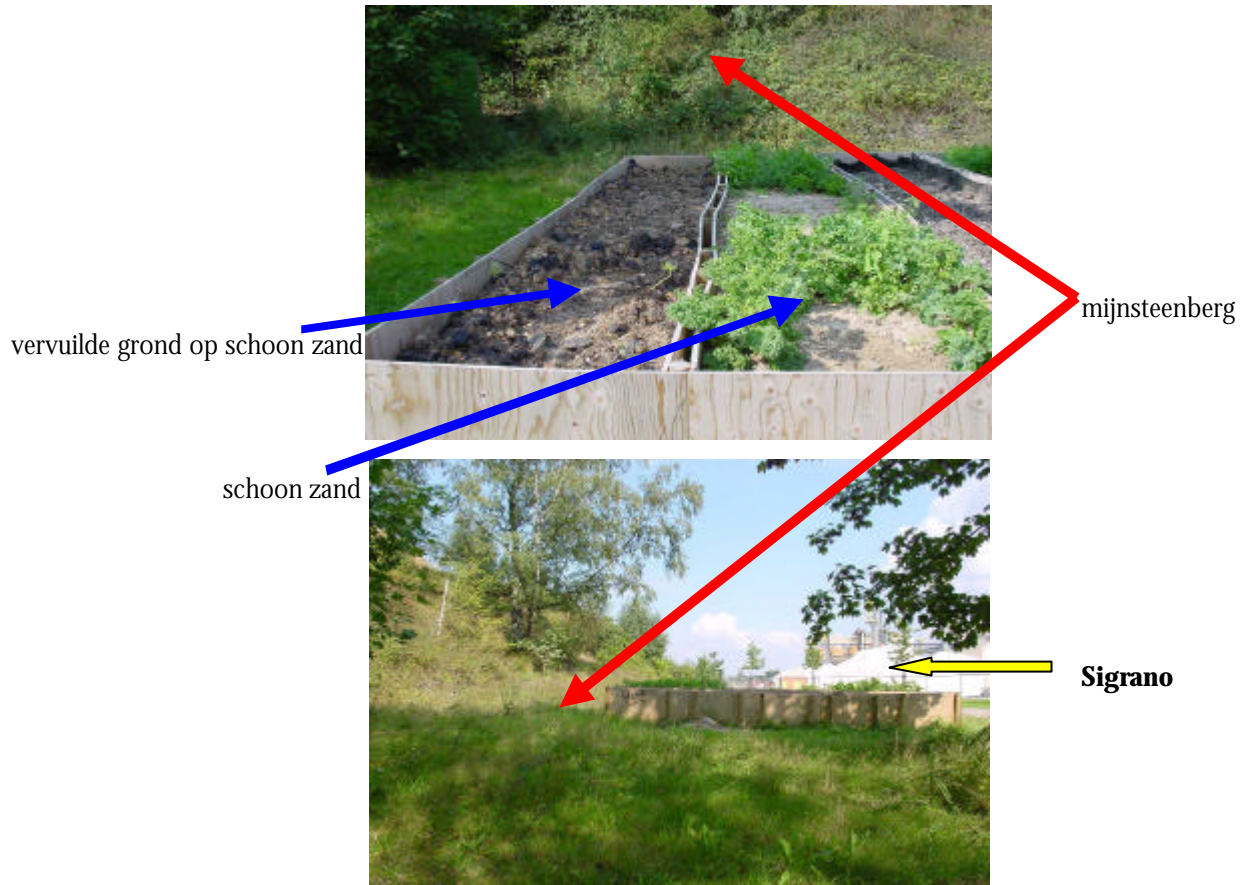
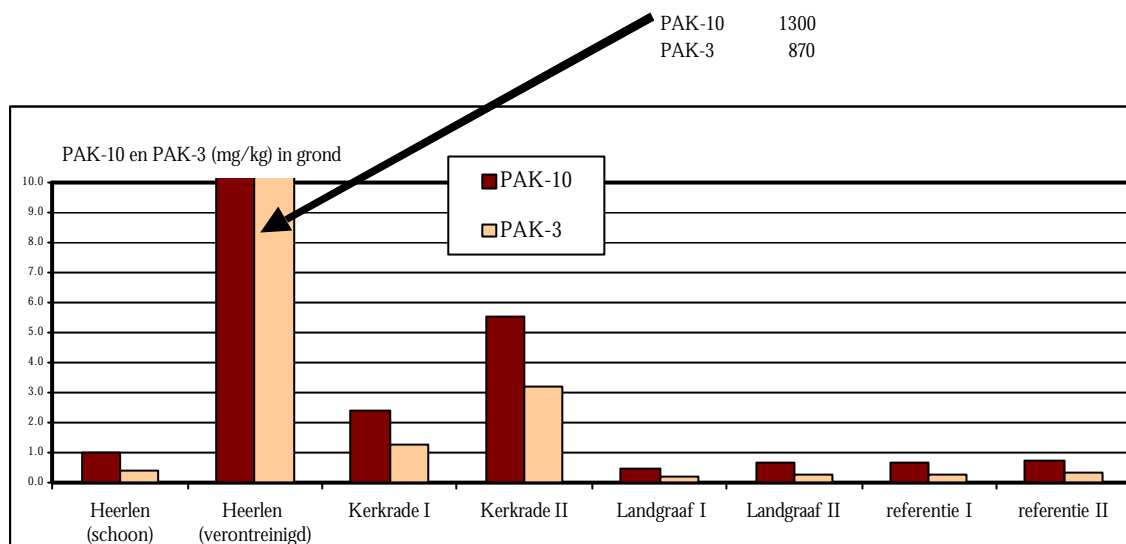


Foto 3
 Ligging van de proefbakken bij Sigrano (Heerlen).

Foto 3 geeft een overzicht van deze proefbakken, die op het terrein van zandwinning Sigrano zijn geplaatst, direct aan de voet van een gedeeltelijk begroeide mijnsteenberg. De foto is genomen op het moment van de oogst. Er is duidelijk te zien, dat er in de schone bakken een behoorlijke hoeveelheid boerenkool en wortelen kon worden geoogst, maar dat er nagenoeg geen sla in werd aangetroffen. In de bakken waarop sterk verontreinigde grond was aangebracht kon geen gewasgroei worden geconstateerd. Dit hield waarschijnlijk verband met de structuur van dit materiaal (weinig luchtdoorlatend), maar ook is het mogelijk dat een hoger gehalte PAK en olie direct toxisch zijn voor de gewassen. Er werd besloten de sterk verontreinigde grond 1:4 te “verdunnen” met schone grond (zand en klei). Hoewel dit besluit tamelijk laat in het groeiseizoen werd genomen, kon toch in de meeste gevallen alsnog voldoende opbrengst worden verkregen om analyse mogelijk te maken. Een uitzondering was sla op de (verdunde) sterk verontreinigde grond; hier werd geen gewasgroei geconstateerd.

3.2 Gehalten in de bodem

In figuur 8 zijn de gehalten in de bodem weergegeven voor de verschillende proeftuinen (in het geval van de proeftuinen in Heerlen betreft het gehalten in de grond die werd verkregen na 1:4 verdunning van de depotgrond). Zowel het gehalte PAK-10 als het gehalte PAK-3 (fluorantheen, pyreen en benz[a]pyreen) is aangegeven. Evenals in de particuliere tuinen zijn in de proeftuinen niet alle PAK voldoende betrouwbaar in de gewassen gemeten, zodat ook hier de vergelijking tussen grond en gewas is gebaseerd op PAK-3 gehalten.



Figuur 8

Gehalten aan PAK-10 en PAK-3 in grond uit de proeftuinen in Parkstad Limburg, alsmede de referentietuinen. De gehalten in Heerlen (verontreinigd) betreffen gehalten na 1:4 verdunning van het sterk verontreinigde materiaal met schone grond. Zand en klei zijn gemiddeld (vanwege de zeer geringe onderlinge verschillen).

Uit figuur 8 blijkt dat zowel de referentietuinen als de proeftuinen in Landgraaf als schoon kunnen worden beschouwd. PAK-3 gehalten liggen op hetzelfde niveau als in de schoonste particuliere tuinen (vgl. figuur 2). Hetzelfde geldt voor de "schoone" proefbakken in Heerlen. De proeftuinen in Kerkrade zijn licht verontreinigd. De kunstmatig verontreinigde proefbakken in Heerlen zijn zeer ernstig verontreinigd. Alle proeftuinen zijn in duplo bemonsterd; er bleken grote verschillen tussen de duplo-waarden te bestaan als gevolg van heterogeniteit.

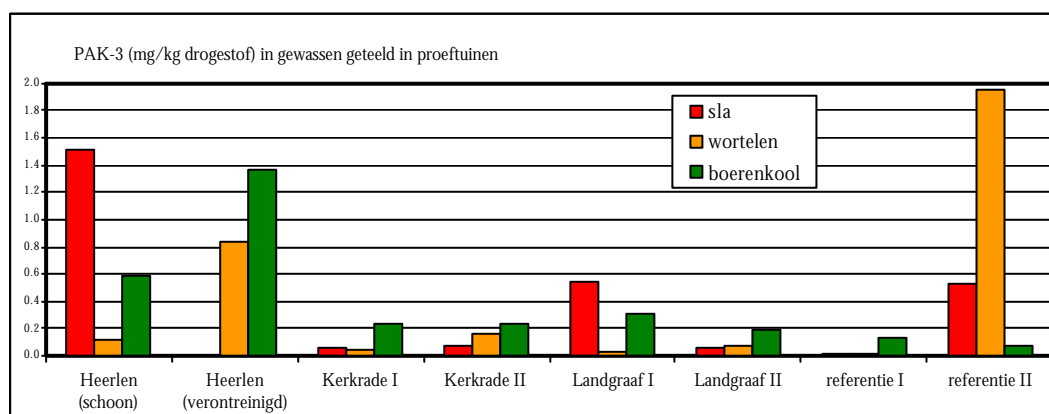
De proefbakken in Heerlen, waarin sterk verontreinigd materiaal uit het depot werd aangebracht, bleek na verdunning met schone grond nog steeds circa 1300 mg/kg PAK-10 te bevatten. Gezien de heterogeniteit van dit materiaal is dit cijfer niet nauwkeurig, maar het geeft wel aan dat het verbazing mag wekken dat hierop gewas kon groeien. Dezelfde sterk verontreinigde grond is gebruikt voor de potproeven, waarvan de resultaten in hoofdstuk 4 worden weergegeven.

3.3 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem

In figuur 9 zijn de gehalten aan PAK-3 weergegeven in de gewassen die werden geteeld in de proeftuinen in Parkstad Limburg en in de referentietuinen. Er zij opgemerkt dat de gehalten in de drie gewassen niet zonder meer met elkaar vergeleken kunnen worden omdat hun groeiseizoen niet samenvalt en er dus op verschillende momenten is geoogst. Voorts zij opgemerkt dat geen sla-oogst werd verkregen voor de proefbakken in Heerlen, waarop zwaar verontreinigde grond was aangebracht. Wortelen, geteeld op deze grond vertoonden een marginale groei. Om de figuur te vereenvoudigen zijn de gehalten voor de met zand en klei gevulde bakken gemiddeld, aangezien zij onderling nauwelijks verschilden. De tuinen in Kerkrade en Landgraaf zijn in duplo bemonsterd en geanalyseerd; hier zijn de gemiddelden weergegeven.

Op basis van de figuur zijn een aantal opmerkingen te maken:

- Referentie II laat zeer hoge gehalten PAK-3 zien. Niet alleen voor het bladgewas sla, maar ook voor wortelen. Een en ander is niet te interpreteren, mede gezien de relatief lage gehalten in de bodem voor de proeftuin referentie II (figuur 8). Een bijdrage vanuit de lucht is niet waarschijnlijk omdat de gehalten in wortelen ook hoog zijn. Contaminatie tijdens oogst, transport of op het laboratorium is mogelijk, maar niet meer na te gaan.
- In de proeftuinen in Landgraaf worden hogere gehalten PAK-3 in sla aangetroffen dan in sla, afkomstig van de proeftuinen in Kerkrade. Dit ondanks het feit dat de bodem in de proeftuinen in Kerkrade duidelijk meer verontreinigd is dan in de proeftuinen in Landgraaf. Een en ander zou als volgt kunnen worden verklaard:
 - * De proeftuinen in Landgraaf staan dichterbij de (diesel)spoorlijn dan de andere proeftuinen. Dit verklaart mogelijk de hogere gehalten in de sla.
 - * De proeftuinen in Kerkrade staan op meer verontreinigde grond. Dit verklaart mogelijk de hogere gehalten in wortel, met name in wortelen afkomstig van de meest verontreinigde van de beide proeftuinen, Kerkrade II (vgl. figuur 8).



Figuur 9

Gehalten aan PAK-3 in gewasmonsters verkregen van proeftuinen in Parkstad Limburg alsmede in gewasmonsters afkomstig van een tweetal referentietuinen buiten Parkstad.

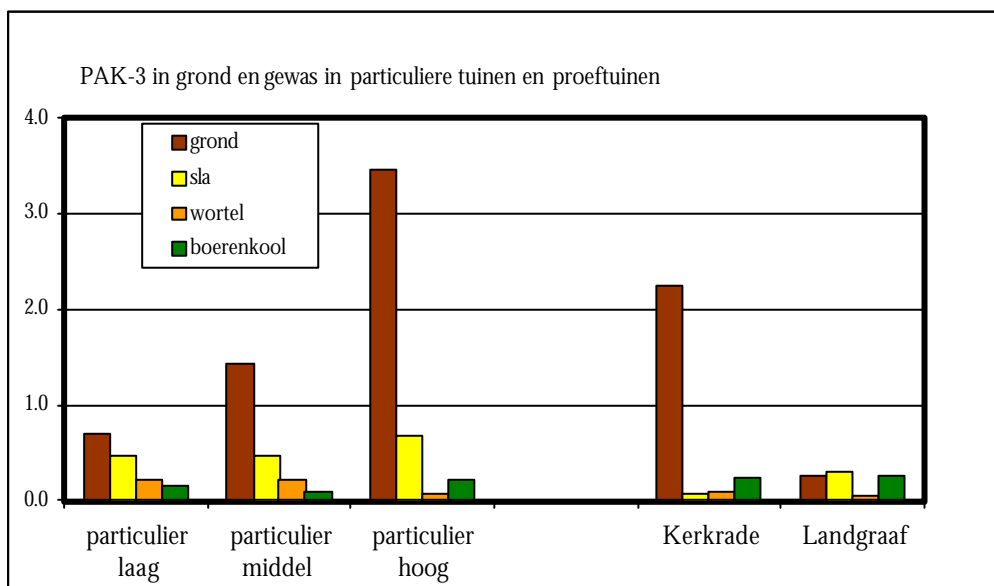
- In het geval van de proefbakken in Heerlen tekent zich een consistent beeld af:
 - * In de bladgewassen werden relatief hoge gehalten aan PAK-3 aangetroffen. Dit geldt niet alleen voor de boerenkool die werd geteeld op de verontreinigde grond maar ook voor de bladgewassen die werden geteeld op de schone grond. Dit wijst er sterk op dat de gehalten vooral zo hoog zijn als gevolg van directe verontreiniging van de bladeren via de lucht. Dit

zouden stofdeeltjes kunnen zijn, afkomstig van de nabijgelegen mijnsteenbergrand, maar er kan ook sprake zijn van verontreiniging door verwaaiing vanuit de ernaast gelegen proefbakken met verontreinigde grond. Ook verontreiniging door aërosolen (roetdeeltjes) is mogelijk als gevolg van veelvuldig vlakbij voorbijrijdende vrachtwagens bij Sigrano. De laatste veronderstelling wordt verder aannemelijk gemaakt na vergelijking met de resultaten van de potproeven (zie hoofdstuk 4).

- * In het geval van de wortelen zijn de gehalten in het geval van de verontreinigde grond significant hoger dan in het geval van de schone grond. Dit duidt erop dat er sprake is van directe invloed van de grond op de kwaliteit van dit knolgewas ten aanzien van belasting met PAK. Waarschijnlijk speelt onvolledige verwijdering bij huishoudelijk voorbehandelen een grote rol, maar ook opname kan van belang zijn. De potproeven geven ook hier meer inzicht (zie hoofdstuk 4).

3.4 Evaluatie

De proeftuinen in Landgraaf en Kerkrade geven ongeveer hetzelfde beeld te zien als de particuliere tuinen. In figuur 10 zijn de gegevens uit figuur 5 (de particuliere tuinen) nogmaals weergegeven met daarnaast de overeenkomstige gegevens van de proeftuinen in Kerkrade en Landgraaf (gemiddelden). De gewassen uit de proeftuinen zijn over het algemeen iets schoner dan de gewassen uit de particuliere tuinen. De bodem van de proeftuinen in Landgraaf is (zeer) schoon en die van de proeftuinen in Kerkrade licht verontreinigd met PAK. Een verdere interpretatie van de gehalten in de proefbakken te Heerlen volgt in paragraaf 4.2.



Figuur 10

PAK-3 in particuliere tuinen en in de proeftuinen in Landgraaf en Kerkrade. Onderlinge vergelijking bodemgehalten en gewasgehalten. De terminologie laag, middel en hoog correspondeert met de aanduidingen in figuur 4.

4 Potproeven

4.1 Inleiding

Potproeven zijn bedoeld om experimenten die in “het veld” plaatsvinden ook te kunnen uitvoeren onder gecontroleerde omstandigheden. In dit geval zijn de proeven in de proefbakken te Heerlen ook uitgevoerd in potten in de kas bij Alterra in Wageningen. Door de combinatie van veldproeven en potproeven wordt meer informatie verkregen en kunnen bepaalde waarnemingen in het veld beter worden geïnterpreteerd.

Voor de potproeven werden twee soorten grond gebruikt. Enerzijds (als referentie) een schone grond, verkregen via Alterra, en anderzijds een verontreinigde grond uit Limburg (zwaar verontreinigd met olie en PAK) die vooraf 1:4 verdund werd met deze schone grond teneinde gewasgroei mogelijk te maken. De verontreinigde grond is dezelfde als welke is gebruikt in de proefbakken te Heerlen (zie hoofdstuk 3). Deze grond bevatte (na genoemde verdunning) circa 900 mg/kg PAK-3 of circa 1300 mg/kg PAK-10.

Zesentwintig potten, met een inhoud van circa 3 kilogram grond elk, werden gevuld conform het onderstaande schema:

	BOERENKOOL	WORTELEN	SLA																																														
SCHONE GROND potten: gewasmonsters ongewassen gewasmonsters gewassen	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	1	2	o	o	g	g	<table border="1"> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	3	4	o	o	g	g	<table border="1"> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	5	6	o	o	g	g																												
1	2																																																
o	o																																																
g	g																																																
3	4																																																
o	o																																																
g	g																																																
5	6																																																
o	o																																																
g	g																																																
VERONTREINIGDE GROND potten: gewasmonsters ongewassen gewasmonsters gewassen	<table border="1"> <tr><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	7	8	o	o	g	g	<table border="1"> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	9	10	11	12	o	o	o	o	g	g	g	g	<table border="1"> <tr><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td></tr> </table>	13	14	o	o	g	g																						
7	8																																																
o	o																																																
g	g																																																
9	10	11	12																																														
o	o	o	o																																														
g	g	g	g																																														
13	14																																																
o	o																																																
g	g																																																
INVLOED OPSPATTEN/VERWAAIEN (VERONTREINIGDE GROND) potten (oktober): potten (december) gewasmonsters ongewassen gewasmonsters gewassen gewasmonsters zeer goed gewassen	<table border="1"> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td></td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td></tr> <tr><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td></tr> </table>	15	16	17	18		19	20	21	22	o	o	o	o	o	o	o	g	g	g	g	g	g	g	Zg	Zg	Zg	Zg	Zg	Zg	Zg		<table border="1"> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td></tr> <tr><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td></tr> <tr><td>g</td><td>g</td><td>g</td><td>g</td></tr> <tr><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td><td>Zg</td></tr> </table>	23	24	25	26	o	o	o	o	g	g	g	g	Zg	Zg	Zg	Zg
15	16	17	18																																														
	19	20	21	22																																													
o	o	o	o	o	o	o																																											
g	g	g	g	g	g	g																																											
Zg	Zg	Zg	Zg	Zg	Zg	Zg																																											
23	24	25	26																																														
o	o	o	o																																														
g	g	g	g																																														
Zg	Zg	Zg	Zg																																														

Twee groepen potten zijn te onderscheiden:

- Potten voor normale gewasgroei-experimenten (potten 1-14), waarbij schone grond werd vergeleken met verontreinigde grond. Tijdens de gewasgroei werd schotelbevochtiging toegepast en werd de grond van boven afgedekt om de invloed van directe contaminatie van bladgewassen door grond te voorkomen (via verwaaiing, opspatten). De gewassen werden na te zijn geoogst gewassen, gedroogd en geanalyseerd. Gewasanalyses werden uitgevoerd in duplo, behalve bij wortelen (analyse in viervoud).
- Potten met opgelegde “atmosferische depositie” (potten 15-26). Maandelijks werden de gewassen onderworpen aan een zogenaamde “stofstorm”, die bestond uit gemalen mijnsteenhoudende grond, zoals ook gebruikt in de potten. De potten werden in de buitenlucht geplaatst en geregeld werd kunstmatig beregend (spray). Alleen boerenkool en sla werden in viervoud onderzocht (bij het knolgewas wortelen zou dit experiment geen additionele informatie opleveren). Bij boerenkool werd zowel gekeken naar in oktober geoogst gewas als naar in december geoogst gewas; dit houdt verband met de waslaag die op de boerenkool ontstaat in de winter en die het gedrag van

het oppervlak van het boerenkoolblad ten aanzien van PAK-sorptie kan beïnvloeden. Na oogsten werden drie voorbehandelingen vergeleken (ongewassen, normaal huishoudelijk gewassen en zeer goed gewassen), voorafgaande aan drogen, malen en analyseren.

Er werden in totaal 64 gewasmonsters verkregen, waarin PAK-3 werd bepaald.

4.2 Gehalten in het gewas in relatie tot gehalten in de bodem

nummer van de pot:	gewas:	oogst:	behandeling:	grond:	PAK-GEHALTEN						
					fluorantheen	pyreen	benzoflavone	PAK-3			
					mg/kg d.s.	mg/kg d.s.	mg/kg d.s.	mg/kg d.s.			
1	2		boerenkool	december	ongewassen	schoon	0.04	0.04	0.00	0.08	
1	2		boerenkool	december	gewassen	schoon	0.04	0.04	0.00	0.08	
3	4		wortel	oktober	ongewassen	schoon	0.12	0.14	0.04	0.29	
3	4		wortel	oktober	gewassen	schoon	0.02	0.02	0.00	0.03	
5	6		sla	oktober	ongewassen	schoon	0.24	0.71	0.16	1.11	
5	6		sla	oktober	gewassen	schoon	0.05	0.04	0.00	0.09	
7	8		boerenkool	december	ongewassen	vuil	0.08	0.28	0.01	0.37	
7	8		boerenkool	december	gewassen	vuil	0.05	0.04	0.00	0.09	
9	10	11	12	wortel	oktober	ongewassen	vuil	5.48	7.71	1.57	14.75
9	10	11	12	wortel	oktober	gewassen	vuil	0.27	0.37	0.07	0.71
13	14			sla	oktober	ongewassen	vuil	1.28	2.22	0.10	3.59
13	14			sla	oktober	gewassen	vuil	0.19	0.47	0.15	0.81
15	16	17	18	boerenkool	oktober	ongewassen	vuil	0.24	0.41	0.01	0.66
15	16	17	18	boerenkool	oktober	gewassen	vuil	0.04	0.03	0.00	0.06
15	16	17	18	boerenkool	oktober	extra gewassen	vuil	0.03	0.03	0.00	0.06
19	20	21	22	boerenkool	december	ongewassen	vuil	0.35	0.21	0.14	0.70
19	20	21	22	boerenkool	december	gewassen	vuil	0.05	0.04	0.00	0.09
19	20	21	22	boerenkool	december	extra gewassen	vuil	0.04	0.03	0.00	0.07
23	24	25	26	sla	oktober	ongewassen	vuil	1.07	1.72	0.50	3.29
23	24	25	26	sla	oktober	gewassen	vuil	0.52	0.67	0.06	1.25
23	24	25	26	sla	oktober	extra gewassen	vuil	0.30	0.42	0.06	0.79

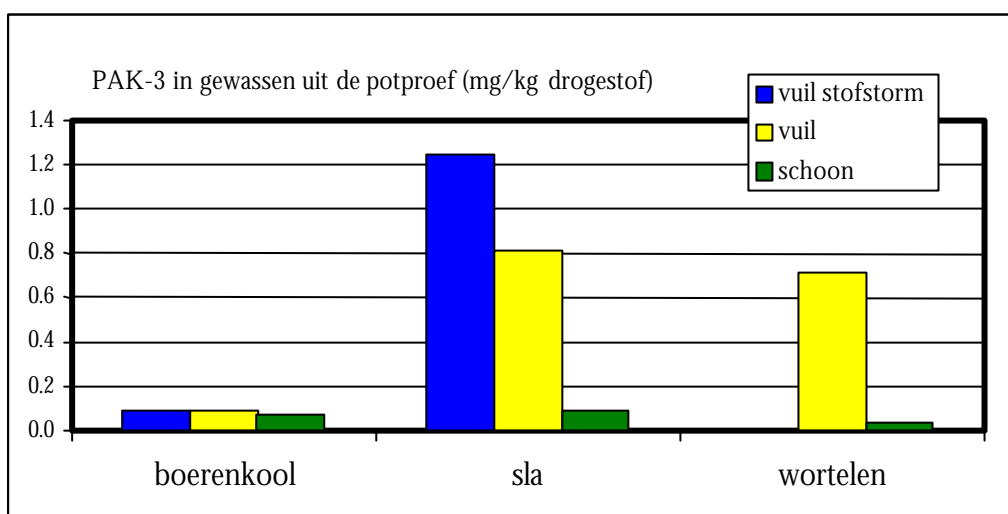
Bovenstaande tabel geeft de analyseresultaten weer. De bepalingen die in tweevoud of in viervoud zijn verricht zijn weergegeven als gemiddelden; er was slechts een geringe verschil tussen de individuele analyseresultaten.

Een aantal waarnemingen springt direct in het oog:

- In vrijwel alle gevallen blijkt dat het een groot verschil maakt of de groente wordt gewassen of niet. Dit geldt ook voor de in schone grond geteelde gewassen, zij het in mindere mate. Ook geldt het (en wel in dezelfde mate) voor de gewassen die berekend waren. Er kan dus geconcludeerd worden dat het huishoudelijk wassen van groenten de inname van PAK kan verminderen.
- Er is geen verschil tussen de voorbehandelingen "wassen" en "extra wassen". Dit betekent dat normaal huishoudelijk voorbehandelen van de gewassen de inname van PAK voldoende vermindert.
- Er is vrijwel geen verschil waar te nemen tussen de gehalten in boerenkool, die werd geoogst in oktober en boerenkool die werd geoogst in december. Hoewel statistisch niet significant, zijn de gehalten in de in december geoogste boerenkool (na wassen) iets hoger dan de gehalten in de in oktober geoogste boerenkool. Dit is conform de verwachting: eerstgenoemde boerenkool heeft langer op het "veld" gestaan, terwijl de waslaag de PAK mogelijk iets beter kan vasthouden bij wassen. De verschillen zijn echter kleiner dan vooraf werd verwacht.
- Er werd geen significant verschil gevonden tussen de gehalten die werden gevonden in boerenkool en sla met en zonder "stofstorm". Dit betekent dat huishoudelijk voorbehandelen voldoende is voor het verwijderen van fijne gronddeeltjes en daaraan geadsorbeerde PAK.

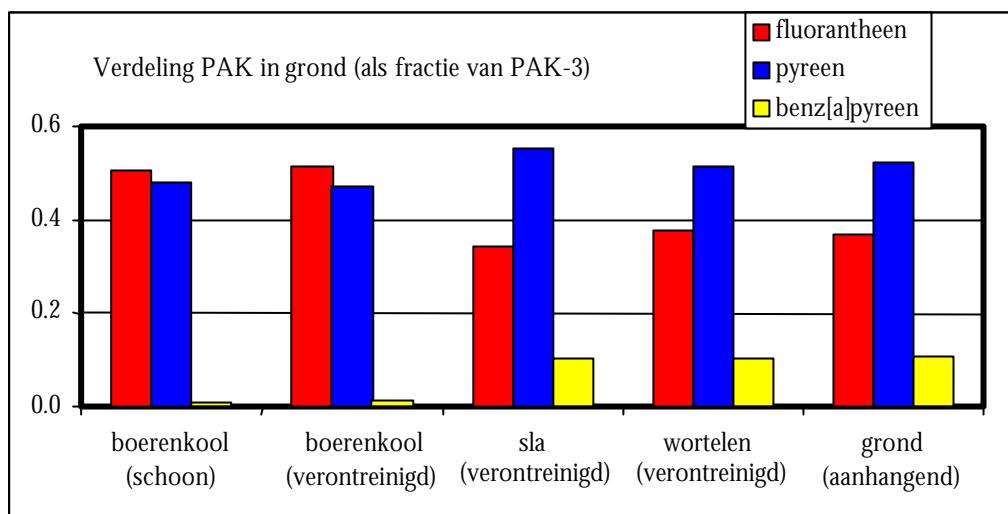
Figuur 11 geeft de gehalten aan PAK-3 weer voor normaal huishoudelijk gewassen boerenkool, sla en wortelen, afkomstig van verontreinigde grond (met/zonder "stofstorm") en schone grond. Het valt op dat de gehalten in boerenkool geen relatie vertonen met de PAK-gehalten in de grond. De verontreinigde grond bevat circa 2000 maal zoveel PAK als de schone grond en dit vertaalt zich in het ge-

val van boerenkool niet in verschillen in gehalten in het gewas. Bij sla en wortelen zijn de gevonden gehalten wel significant hoger in gewassen die afkomstig waren van de verontreinigde grond. Dit alles leidt tot de hypothese dat PAK in boerenkool afkomstig is uit de lucht, aangezien verontreiniging door direct contact met de grond (verwaaien, opspatten) door de keuze van de proefopstelling is uitgesloten en opname onwaarschijnlijk is, aangezien er geen verschil is waargenomen tussen boerenkool afkomstig van verontreinigde en boerenkool afkomstig van schone grond. PAK-gehalten in wortelen en sla lijken gerelateerd aan gehalten in de grond waarop is geteeld. In het geval van sla is het erg waarschijnlijk dat er sprake is van enige opname door de wortels omdat de proefopstelling directe contaminatie met grond niet goed mogelijk maakt. In het geval van wortelen is zowel directe contaminatie door de grond als opname mogelijk; de proefopstelling maakt het niet mogelijk hiertussen onderscheid te maken. De hypothese is dus dat in het geval van boerenkool de PAK-gehalten niet “mijnsteen-gerelateerd” zijn en in het geval van sla en wortelen wel.



Figuur 11
Gehalten aan PAK-3 in gewassen afkomstig uit de potproeven

Om deze belangrijke hypothese verder te testen is onderzocht of de onderlinge verhouding tussen de drie individuele PAK (fluorantheen, pyreen en benz[a]pyreen) in PAK-3 in het geval van boerenkool anders is dan in het geval van wortelen en sla. Bovendien is nagegaan of de onderlinge verhouding in sla en wortelen vergelijkbaar is met de onderlinge verhouding van deze drie individuele PAK in grond.



Figuur 12

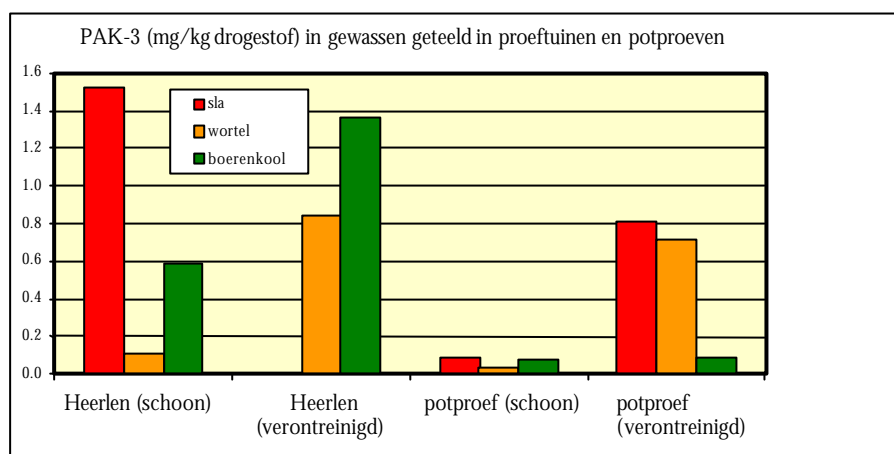
Verdeling PAK (fluorantheen, pyreen, benz[a]pyreen) in gewassen afkomstig uit de potproeven

Figuur 12 geeft de gehalten weer voor de drie individuele PAK (fluorantheen, pyreen, benz[a]pyreen) in sla, boerenkool, wortelen en grond als percentage van hun totaal (PAK-3). De gehalten in de gewassen die zijn aangegeven als “verontreinigd”, refereren aan het gemiddelde van met en zonder “stofstorm” geteelde gewas na normaal huishoudelijk voorbehandelen. De gehalten voor boerenkool geteeld op schone grond zijn ook weergegeven. De onderlinge verhouding tussen de drie individuele PAK voor grond is afgeleid van de onderlinge verhouding tussen deze drie PAK in ongewassen wortelen (uit de potten 9-12). Gehalten in de ongewassen wortelen betreffen namelijk gehalten in aanhangende grond en zijn representatief voor de wortelzone in de verontreinigde grond waarin is geteeld.

Figuur 12 laat duidelijk zien dat de hierboven weergegeven hypothese (PAK-bron voor boerenkool verschilt van de bron voor sla en wortelen) volledig wordt ondersteund door de analyse van de gehalten van individuele PAK:

- Het patroon (de onderlinge verhouding van de drie individuele PAK, weergegeven als percentage van PAK-3) is identiek voor “wortelen verontreinigd”, “sla verontreinigd” en “aanhangende grond”. Dit is nagenoeg een bewijs voor de stelling dat de PAK in deze gewassen op enigerlei wijze afkomstig is van de grond (opname, verwaaien, opspatten). In het geval van sla is opname erg waarschijnlijk.
- Het patroon (de onderlinge verhouding van de drie individuele PAK, weergegeven als percentage van PAK-3) is voor boerenkool geheel anders. Meer fluorantheen en bijna geen benz[a]pyreen. Bovendien is het patroon voor “schoon” en “verontreinigd” in het geval van boerenkool identiek. Dit is een zeer sterke aanwijzing voor de hypothese dat in het geval van boerenkool uitsluitend belasting met PAK vanuit de lucht plaatsvindt. Dit wordt ook nog ondersteund door de geringe aanwezigheid van het minder vluchtige benz[a]pyreen.

In figuur 13 is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de proefbakken in Heerlen en de potproeven bij Alterra. Deze vergelijking is zinnig omdat het enige verschil tussen beide experimenten (naast een schaalverschil) de aanwezigheid dan wel afwezigheid van atmosferische invloeden (verwaaiing en opspatten van grond) is: de bakken in Heerlen staan buiten en de potproeven waren zo opgezet dat verwaaiing en opspatten zoveel mogelijk werd voorkomen. In feite behoren de resultaten voor Heerlen (schoon) en potproef (schoon) ongeveer dezelfde te zijn. Dit geldt ook voor Heerlen (verontreinigd) en potproef (verontreinigd), aangezien hetzelfde 1:4 mengsel van zwaar verontreinigde grond en schone grond is gebruikt bij beide proeven. Dit laatste blijkt inderdaad het geval te zijn voor wortelen. Bij de bladgewassen sla en boerenkool zijn de gehalten in de “veldproef” echter hoger dan in de potproef, met name bij schone grond.



Figuur 13

Vergelijking tussen de opname van PAK door gewassen (geteeld op met schone grond gemengde sterk verontreinigde grond dan wel op schone grond) geteeld in de proefbakken te Heerlen en in de potten bij Alterra.

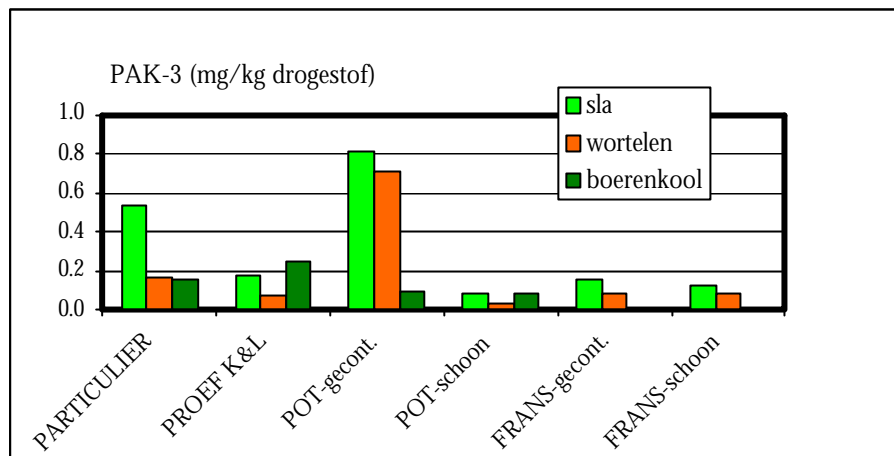
Dit is eenvoudig te verklaren door aan te nemen dat boerenkool en sla, geteeld in de schone grond in Heerlen, gecontamineerd zijn met grond afkomstig uit de naburige bakken met verontreinigde grond (zie foto 3), door directe verwaaiing vanuit de nabije mijnsteenbergen of door uitlaatgassen van ter plekke veelvuldig voorbijkomende vrachtauto's. Het laatste lijkt het meest waarschijnlijk omdat fijnverdeelde grond bij huishoudelijk voorbehandelen wordt verwijderd. Dit laatste bleek uit het feit dat geen verschil werd gevonden tussen gehalten in sla en boerenkool die in de potproef wel of niet met de stofstorm behandeld en daarna huishoudelijk voorbehandeld waren.

4.3 Evaluatie

Onlangs is onderzoek uitgevoerd door een aantal Franse onderzoeksinstituten naar de opname van PAK door gewas. Aangezien de proefopzet vergelijkbaar (maar uitgebreider) was met de hier beschreven potproeven en bovendien twee gewassen dezelfde waren (sla en wortelen) is het nuttig de resultaten van de potproeven te vergelijken met dit Franse onderzoek. Recente resultaten van dit Franse onderzoek zijn gepresenteerd op een workshop in februari 2003 in Monte Verita (Ancona, Zwitserland) en nog niet gepubliceerd.

Eerdere resultaten zijn wel gepubliceerd: Joelle Fismes et al. "Soil to root transfer and translocation of PAK by vegetables grown on industrial contaminated soils" J. Environ. Qual. 3: 1649-1656.

In figuur 14 zijn de resultaten globaal weergegeven en vergeleken met de resultaten van ons onderzoek (particuliere tuinen, proeftuinen, potproeven).



Figuur 14

Vergelijking tussen de onderzoeksresultaten van het deelproject "Gewasonderzoek" en recente Franse onderzoeksresultaten.

Resultaten voor het Franse onderzoek zijn geëxtrapoleerd naar PAK-3.

PARTICULIER: gemiddelde van de 18 onderzochte particuliere tuinen

PROEF K&L gemiddelde van de proeftuinen in Kerkrade en Landgraaf

POT-gecont. gemiddelde voor de potproeven op verontreinigde grond (870 mg PAK-3/kg)

POT-schoon gemiddelde voor de potproeven op schone grond

FRANS-gecont. gemiddelde voor de Franse proeven op verontreinigde grond (circa 120 mg PAK-3/kg)

FRANS-schoon gemiddelde voor de Franse proeven op schone grond

Over het algemeen bestaan er weinig verschillen tussen verontreinigde en schone grond voor wat betreft de belasting van daarop geteelde gewassen met PAK. Bladgroenten zoals sla in Parkstad (particuliere tuinen, proeftuinen) bevatten meer PAK dan bij de Franse experimenten en bij de "schoone" potproef. Dit kan liggen aan de variëteit van de sla, aan de tijd die het gewas heeft gegroeid voordat er werd geoogst etc. Significant zijn de verhoogde gehalten in sla en wortelen in de potproeven met gecontamineerde grond, waarbij zij aangetekend dat het hier extreem hoge PAK-gehalten betreft, die kunnen leiden tot fysiologische effecten (vertraagde groei en daardoor mogelijk accumulatie van PAK). In hoeverre er een hoge of zelfs ontoelaatbare belasting van mens en ecosysteem uit kan voortvloeien, dient te worden onderzocht met een blootstellingsmodel als C-soil (zie hoofdstuk 5).

5 Evaluatie C-soil

Een aantal projectresultaten zijn met het blootstellingsmodel C-soil van het RIVM doorgerekend. Hiervoor is de nieuwste versie van het model gebruikt (C-soil 2000). Gehalten in gewassen worden in C-soil berekend met behulp van het model van Trapp en Matthies (1995). Hierbij werd uitgegaan van het bodemgebruik “wonen met moestuin” en van in C-soil standaard opgenomen consumptiepatronen (waarbij 50% van de aardappelen en 100% van de groenten afkomstig zijn uit de eigen moestuin). Er werd alleen gekeken naar opname door de mens en niet naar effecten op ecosystemen.

Een drietal scenario's werd doorgerekend:

Scenario I	de 18 onderzochte particuliere tuinen, onderverdeeld in gemiddelden voor de groepen “laag”, “middel”, “hoog” (conform de figuren 4 en 5)
Scenario II	de potproef bij Alterra met sterk verontreinigde grond (“worst case” zonder verwaaien en opspatten)
Scenario III	de proefbak met schone grond in Heerlen

Voor elk scenario worden eerst in een tabel de gehalten fluorantheen (FLU), pyreen (PYR) en benz[a]pyreen (BAP) weergegeven, zoals deze werden bepaald in grond, sla en wortelen. De gehalten in beide gewassen zijn uitgedrukt op basis van versgewicht, waarbij er van uit is gegaan dat wortelen gemiddeld 10% drogestof bevatten en sla gemiddeld 5%. Daarna worden in een tweede tabel de gehalten FLU, PYR en BAP in de gewassen weergegeven, zoals deze door C-soil werden berekend uit de gehalten in de grond en het (gemeten dan wel geschatte) gehalte organische stof in de bodem.

De gemeten gehalten in de gewassen werden vervolgens vergeleken met de door C-soil berekende gehalten in de gewassen door de ratio gemeten/berekend grafisch weer te geven voor beide gewassen en voor elk der drie PAK (FLU, PYR, BAP). Zo kon worden vastgesteld of C-soil in staat is om deze gehalten in de regio Parkstad Limburg goed te voorspellen, uitgaande van bekende bodemgehalten.

Tenslotte werd voor elk scenario nagegaan wat de resultaten voor zowel de berekende als de gemeten gehalten PAK in de gewassen (respectievelijk GEWAS-ber en GEWAS-gem) betekenen voor de belasting van de mens. Hiervoor werden de zogenaamde “risico-indices” gebruikt, die zijn gedefinieerd als de relatieve bijdrage (als percentage) van de gemiddelde blootstelling van volwassenen aan het maximaal toelaatbare risico (MTR). Bij de blootstelling wordt onderscheid gemaakt tussen de belasting door het consumeren van groenten uit de moestuin en de onbedoelde ingestie van grond uit deze moestuin (GROND-ber). Risico-indices zijn weergegeven voor BAP.

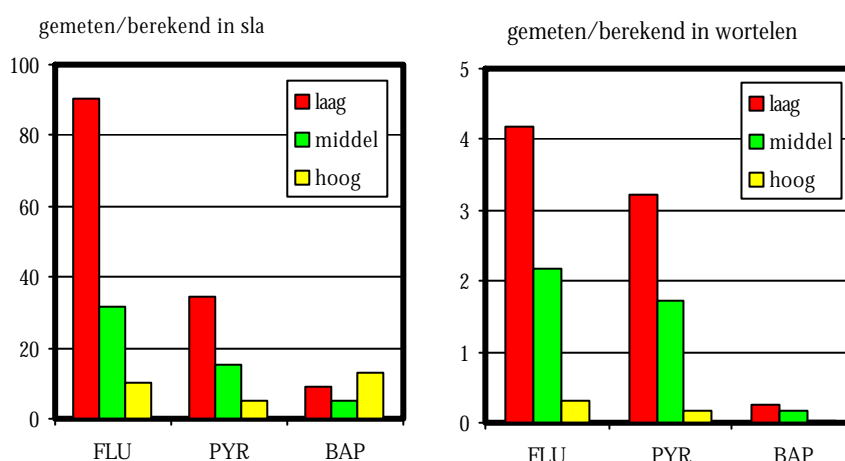
5.1 Scenario I: particuliere tuinen

	LAAG			MIDDEL			HOOG		
	FLU	PYR	BAP	FLU	PYR	BAP	FLU	PYR	BAP
grond	0.15	0.13	0.07	0.44	0.32	0.21	1.48	1.47	0.62
sla	0.0143	0.0088	0.0006	0.0142	0.0080	0.0010	0.0150	0.0104	0.0081
wortel	0.0098	0.0108	0.0004	0.0103	0.0099	0.0005	0.0035	0.0031	0.0002

Tabel 1 Gemeten gehalten van individuele PAK in grond, sla en wortelen uit particuliere moestuinen. De indicaties "laag", "middel" en "hoog" zijn gedefinieerd in paragraaf 2.3.

	LAAG			MIDDEL			HOOG		
	FLU	PYR	BAP	FLU	PYR	BAP	FLU	PYR	BAP
grond	0.15	0.13	0.07	0.44	0.32	0.21	1.48	1.47	0.62
sla	0.0002	0.0003	0.0001	0.0004	0.0005	0.0002	0.0015	0.0021	0.0006
wortel	0.0023	0.0033	0.0014	0.0048	0.0057	0.0030	0.0111	0.0182	0.0063

Tabel 2 Berekende gehalten van individuele PAK in sla en wortelen uit particuliere moestuinen. De indicaties "laag", "middel" en "hoog" zijn gedefinieerd in paragraaf 2.3.



Figuur 15

De verhouding tussen gemeten en met C-soil berekende gehalten in sla en wortelen voor particuliere tuinen met een laag, middel en hoog PAK-gehalte in de bodem. Berekeningen zijn uitgevoerd met de gemiddelde waarden voor het organische stof gehalte in de bodem voor de categorieën laag (5.1%), middel (7.2%) en hoog (10.3%)

Uit figuur 15 blijkt duidelijk dat in het geval van sla de PAK-gehalten door C-soil in belangrijke mate worden onderschat. Deze onderschatting is sterker bij FLU dan bij BAP en is bovendien sterker bij de minst verontreinigde tuinen. Bij wortelen is de situatie anders. Hier overschat C-soil in sommige gevallen de gehalten en onderschat deze in andere gevallen. De sterke onderschatting in het geval van sla (in vergelijking met wortelen) houdt mogelijk verband met een relatief hoge belasting van het gas vanuit de lucht (verkeer, industrie).

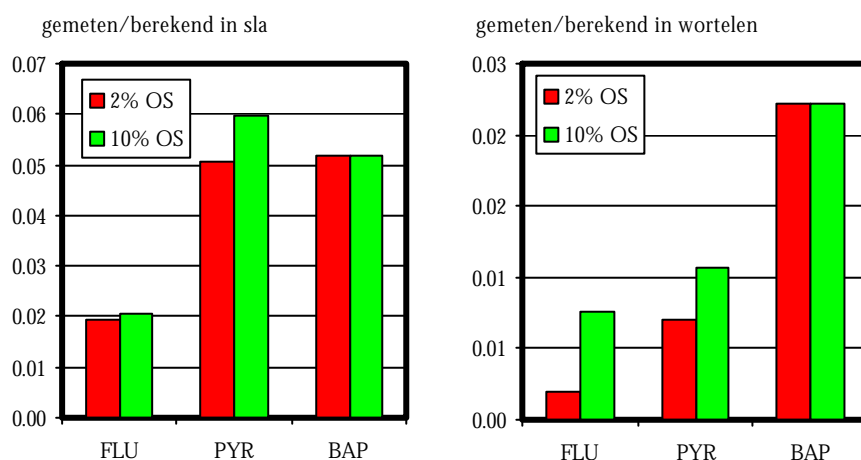
5.2 Scenario II: potproef met verontreinigde grond

	FLU	PYR	BAP
grond	457.2	271.1	145.5
sla	0.0095	0.0235	0.0074
wortelen	0.0269	0.0369	0.0075

Tabel 3 Gemeten gehalten van individuele PAK in grond, sla en wortelen uit de potproef met ernstig verontreinigde grond (circa 0.13% PAK/kg).

	FLU	PYR	BAP
grond	457.2	271.1	145.5
sla	0.4590	0.3950	0.1430
wortelen	3.5400	3.4500	0.3380

Tabel 4 Berekende gehalten van individuele PAK in sla en wortelen uit de potproef met ernstig verontreinigde grond (circa 0.13% PAK/kg).



Figuur 16 De verhouding tussen gemeten en met C-soil berekende gehalten in sla en wortelen voor de potproef (ernstig verontreinigde grond). Berekeningen zijn uitgevoerd voor grond met een aangenomen gehalte van 2% organische stof en een aangenomen gehalte van 10% organische stof. De werkelijke waarde ligt hier tussenin.

Uit figuur 16 blijkt dat bij zowel sla als wortelen de gehalten door C-soil ernstig worden overschat. De overschatting varieert tussen een factor 15 en een factor 300. De overschatting is ongeveer even groot bij sla en bij wortelen. Bij vergelijking van figuur 16 en figuur 15 valt het op dat bij de schone tot licht verontreinigde grond (uit de particuliere tuinen) de ratio gemeten/berekend voor FLU hoger is dan bij BAP; bij sterk verontreinigde grond is dit andersom. De afwijkingen bij de voorspellingen door C-soil hangen dus niet alleen sterk af van het verontreinigingsniveau maar ook van de soort PAK.

5.3 Scenario III: proefbak Heerlen

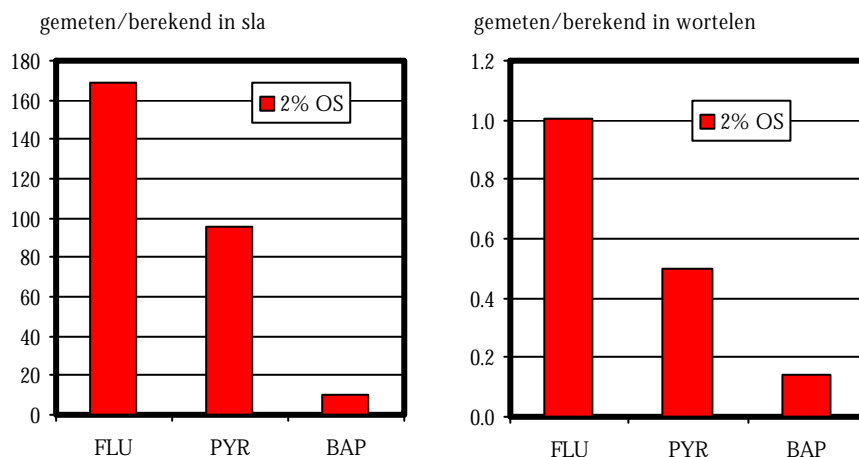
Analyse met C-soil van het experiment op de zwaar verontreinigde grond in het veld (de proefbakken in Heerlen) leidt tot dezelfde conclusie als de analyse met C-soil van de potproef op verontreinigde grond, weergegeven in figuur 16. Interessant is echter ook het experiment op de schone proefbak in Heerlen, waarbij het bladgewas sla waarschijnlijk wordt belast met PAK afkomstig van depositie vanuit de lucht. Daarom werd dit scenario ook met C-soil doorgerekend.

	FLU	PYR	BAP
grond	0.167	0.136	0.107
sla	0.0311	0.0437	0.0011
wortelen	0.0065	0.0043	0.0008

Tabel 5 Gemeten gehalten van individuele PAK in grond, sla en wortelen uit de proefbak bij Sigrano in Heerlen, die was gevuld met niet verontreinigde grond.

	FLU	PYR	BAP
grond	0.167	0.136	0.107
sla	0.0002	0.0005	0.0001
wortelen	0.0065	0.0086	0.0056

Tabel 6 Berekende gehalten van individuele PAK in sla en wortelen uit de proefbak bij Sigrano in Heerlen, die was gevuld met niet verontreinigde grond.



Figuur 17 De verhouding tussen gemeten en met C-soil berekende gehalten in sla en wortelen voor de proefbak in Heerlen (ernstig verontreinigde grond). Berekeningen zijn uitgevoerd voor grond met 2% organische stof.

Uit figuur 17 blijkt duidelijk dat in het geval van sla de gehalten in het gewas door C-soil in hoge mate worden onderschat, terwijl in het geval van wortelen sprake is van een (geringe) overschatting. Dit wijst inderdaad op excessieve belasting van sla vanuit de lucht.

5.4 Risico-evaluatie

Bij berekening van de blootstelling is uitgegaan van twee blootstellingsroutes, te weten inname van grond en gewasconsumptie. Uit berekening is gebleken dat blootstelling via andere routes verwaarloosbaar is. De blootstelling is berekend voor een volwassene met een lichaamsgewicht van 70 kg, een bladgewasconsumptie (sla) van 139 gram vers gewicht per dag, een wortelgewasconsumptie (wortelen) van 122 gram vers gewicht per dag, en een grondinname van 50 milligram per dag. Er is aangenomen dat alle geconsumeerde bladgewassen verontreinigd zijn en dat de helft van de geconsumeerde wortelgewassen verontreinigd zijn (de andere helft is niet afkomstig uit de moestuin). Voor de berekening van de risico-indices zijn de berekende blootstellingen getoetst aan het maximaal toelaatbare risico (MTR) voor de afzonderlijke PAK-componenten FLU, PYR en BAP. Ze zijn weergegeven als percentages van het MTR.

PAK staat voor Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen. PAK is een verzamelnaam voor vele stoffen, waarvan een aantal kankerverwekkende eigenschappen heeft. Het risico voor de mens zit in de stoffen met kankerverwekkende eigenschappen. De kankerverwekkendheid van het totaal van het mengsel PAK kan men uitdrukken in benz[a]pyreen equivalenten (BAP-eq). In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de risico-indices voor BAP, weergegeven als percentages van het MTR. Hierbij zij aangetekend dat er in alle gevallen van uit is gegaan dat het risico van BAP circa 60% bedraagt van het totaal risico van PAK-10.

In onderstaande tabel zijn de risico-indices weergegeven voor:

- de berekende opname via directe ingestie van verontreinigde grond (GROND-ber),
- de berekende opname via verontreinigd gewas (GEWAS-ber) door C-soil berekend uit de gehalten in de bodem en
- de gemeten opname via verontreinigd gewas (GEWAS-gem) op basis van de gedurende de experimenten gemeten gehalten in de gewassen, die vervolgens door C-soil zijn getransformeerd in risico-indices

		GROND-ber	GEWAS-ber	GEWAS-gem
particuliere tuinen	laag	0.010%	0.27%	0.31%
particuliere tuinen	middel	0.029%	0.61%	0.49%
particuliere tuinen	hoog	0.088%	1.34%	3.25%
potproef - verontreinigd	2% OS	20.8%	115.7%	4.24%
potproef - verontreinigd	10% OS	20.8%	115.7%	4.24%
proefbak - schoon	2% OS	0.015%	1.03%	0.59%

Uit de tabel blijkt dat risico-indices op basis van de gemeten gehalten in de gewassen nooit meer dan 5% van het MTR bedragen en dus bij lange na niet leiden tot ontoelaatbare risico's voor de mens. Is de grond waarop het gewas is geteeld echter ernstig verontreinigd (zoals in de potproef) dan loopt de risico-index op tot circa 25% als gevolg van directe ingestie van grond. Hierbij moet worden opgemerkt dat de potproef is uitgevoerd met zeer sterk verontreinigde grond ("worst case" scenario), waarop in de praktijk nooit groente zal worden geteeld. In het geval een risico-analyse in het geval van de ernstig verontreinigde grond wordt gebaseerd op een berekening met C-soil die uitgaat van gehalten in de bodem (en dus de risico's overschat, vgl. figuur 16), dan kan het MTR worden overschreden.

Op grond van de analyses van PAK in groenten in particuliere tuinen in OZL werd door de GGD een risicoberekening uitgevoerd voor de consumptie van boerenkool, sla en wortelen.

Uitgangspunten voor de risicoberekening waren:

- De berekening is gebaseerd op de maximale concentratie die bij dit onderzoek gevonden is in particuliere tuinen (voor elk der gewassen).
- Het PAK-profiel (relatieve verhouding tussen de verschillende PAK) in groenten is gelijk aan het PAK-profiel in de grondmonsters (BAP is 17,3% van het PAK-10 gehalte).

Er kon het volgende worden geconcludeerd:

Boerenkool

Om aan het extra risico ter hoogte van het MTR te komen mag een volwassene per dag 1,6 kg verse boerenkool consumeren. Een kind van 15 kg lichaamsgewicht mag 340 gram per dag eten.

Wortelen

Om aan het extra risico ter hoogte van het MTR te komen mag een volwassene per dag 6,5 kg verse wortelen consumeren. Een kind van 15 kg lichaamsgewicht mag 1300 gram per dag eten.

Sla

Om aan het extra risico ter hoogte van het MTR te komen mag een volwassene per dag 3,4 kg verse sla consumeren. Een kind van 15 kg lichaamsgewicht mag 700 gram per dag eten.

Het blijkt dus, dat zelfs indien wordt uitgegaan van de hoogste gemeten concentraties in de gewassen geen ontoelaatbaar extra risico verbonden is aan het consumeren van groenten uit eigen tuin in de regio Parkstad Limburg.

5.5 Conclusie

Indien wordt uitgegaan van bodemgehalten aan PAK, voorspelt C-soil de inname via gewas redelijk goed bij lage gehalten (rond 1 mg PAK-10/kg), waarbij het MTR bij lange na niet wordt overschreden. Bij hogere gehalten in de grond overschat C-soil de inname via gewas. Bij zeer hoge gehalten is de overschatting zeer groot. Zowel de potproef als de proef in de proefbakken tonen duidelijk aan dat zelfs onder extreme omstandigheden het MTR feitelijk niet kan worden overschreden als gevolg van uitsluitend gewasconsumptie. Overschrijding van het MTR is alleen mogelijk door consumptie van grond.

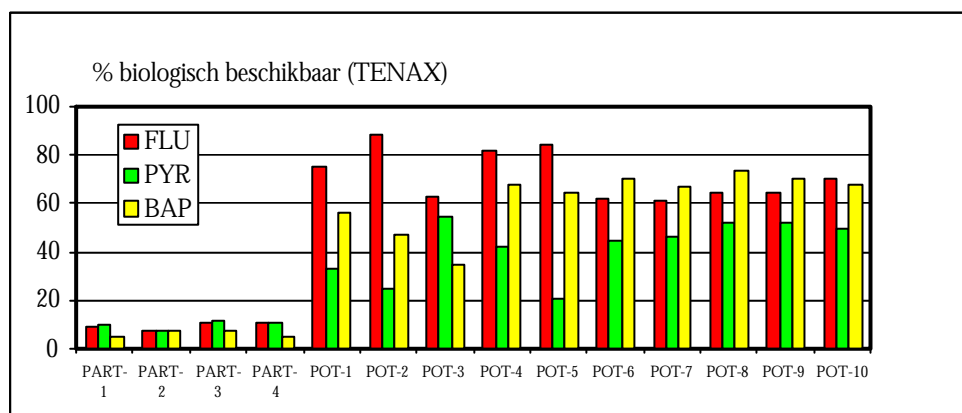
6 Biologische beschikbaarheid

In een aantal bodemmonsters is door middel van de zogenaamde TENAX procedure een inschatting gemaakt van de "biologisch beschikbare" fractie van PAK in de bodem. De methode is beschreven in : Cornelissen, G., P.C.M. van Noort en A.J. Govers, 1997. Desorption kinetics of Chlorobenzenes, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Polychlorated Biphenyls: sediment extraction with TENAX and effects on contact time and solute hydrophobicity. Environmental Toxicology and Chemistry, 16, 7, 1351-1357.

De procedure bestaat uit het onder gestandaardiseerde omstandigheden in contact brengen van de kunststof TENAX met de PAK-houdende grond. Hoe meer PAK vanuit de bodemdeeltjes naar de TENAX gaat, hoe beter PAK beschikbaar is voor bijvoorbeeld afbraak door micro-organismen. Als er weinig PAK beschikbaar is, betekent dit meestal dat al veel afbraak heeft plaatsgehad en als er veel PAK beschikbaar is betekent dit dat er nog veel afbraak kan plaatsvinden. In het laatste geval is er ook veelal sprake van een recente verontreiniging met PAK.

Het doel van de experimenten met TENAX in dit onderzoek is na te gaan of een hoge beschikbaarheid niet alleen leidt tot een snelle afbraak (waargenomen in andere Alterra-projecten), maar ook tot verhoogde opname door de plant.

Een viertal particuliere tuinen is op deze wijze onderzocht alsmede de grond in een tiental potten uit de potproef. Uit onderstaande figuur blijkt dat de PAK in de moestuinen veel minder beschikbaar is dan de PAK in de sterk verontreinigde grond, die is gebruikt in de potproef en in de proefbak te Heerlen.



In de voorgaande hoofdstukken is aangetoond dat er geen verband bestaat tussen gehalten in de bodem en gehalten in het gewas, hoogstens een licht verhoogde aanwezigheid in het gewas bij sterk verhoogde aanwezigheid in de grond. De laatste tendens is grotendeels terug te voeren tot sorptieprocessen dan tot werkelijke opname door het wortelstelsel. Uit de TENAX-experimenten kan worden geconcludeerd dat biologische beschikbaarheid van PAK in de bodem niet relevant is, omdat ook de biologisch beschikbare fractie niet of in verwaarloosbare mate wordt opgenomen door de wortels. TENAX-experimenten geven een goede inschatting van de mate van biologische afbreekbaarheid en waarschijnlijk van de beschikbaarheid voor hogere organismen waaronder de mens, maar niet voor de mate van opname door de plant.

7 Eindconclusies

In de voorgaande hoofdstukken zijn de onderzoeksresultaten besproken en zijn een aantal conclusies getrokken, die veelal vooral ingaan op de detailresultaten van het betreffende hoofdstuk.

Hieronder volgt daarom een samenvatting van de belangrijkste conclusies.

- Consumptie van gewassen uit moestuinen in de regio Parkstad Limburg leidt niet tot ontoelaatbare risico's voor de gezondheid van de bewoners als gevolg van belasting van deze gewassen met PAK. De maximaal aangetroffen gehalten corresponderen met ongeveer 5% van het MTR (Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau).
- De PAK-gehalten, die zijn gevonden in gewassen uit moestuinen in Parkstad Limburg zijn ongeveer even hoog als PAK-gehalten die eerder zijn aangetroffen in gewassen afkomstig uit andere verstedelijkte gebieden. Parkstad Limburg neemt ten aanzien van PAK in voedingsgewassen dus geen uitzonderlijke positie in.
- PAK worden door planten slechts in zeer geringe mate opgenomen uit de bodem. Gewassen, afkomstig van een zeer ernstig verontreinigde grond bevatten ongeveer 5-10 maal zoveel PAK als gewassen geteeld op schone grond, terwijl de verontreinigde grond meer dan 1000 maal zo veel PAK bevatte als de schone grond.
- Het blootstellingsmodel C-soil is niet altijd in staat de risico's van PAK als gevolg van consumptie van gewassen uit de eigen tuin redelijk in te schatten op basis van PAK-gehalten in de grond. Voorspellingen zijn redelijk goed voor schone en licht verontreinigde grond, maar overschatten de risico's bij gewassen afkomstig van meer verontreinigde grond

