

Blootstelling en opname van Cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie

P.F.A.M. Römken
M.J. Zeilmaker
R.P.J.J. Rietra
C.A. Kan
J.C.H. van Eijkeren
LW.D. van Raamsdonk
J.P.A. Lijzen



Blootstelling en opname van Cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie

Blootstelling en opname van Cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie

P.F.A.M. Römken¹

M.J. Zeilmaker²

R.P.J.J. Rietra¹

C.A. Kan³

J.C.H. van Eijkeren²

LW.D. van Raamsdonk⁴

J.P.A. Lijzen²

¹ Alterra - WUR - Wageningen

² RIVM - Bilthoven

³ ASG - WUR - Lelystad

⁴ RIKILT - WUR - Wageningen

Alterra-rapport 1438

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Römkens, P.F.A.M., M.J. Zeilmaker, R.P.J.J. Rietra, C.A. Kan, J.C.H. van Eijkeren, L.W.D. van Raamsdonk & J.P.A. Lijzen. 2007. *Blootstelling en opname van Cadmium door runderen in de Kempen: een modelstudie*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1438. 70 blz.; 5 fig.; 9 tab.; 66 ref.

De opname van cadmium door runderen en ander grazend vee in de Kempen leidt mogelijk tot overschrijding van warenwetnormen in orgaanvlees en gezondheidschade. Om na te gaan hoe groot het gebied is waar de inname via grond, voer en water kan leiden tot normoverschrijding is een model opgesteld voor runderen en schapen. Dit model berekent voor de hele Kempen op een gridbasis van 100 x 100 meter de totale inname en de overdracht naar lever en nier. De resultaten tonen aan dat inname via gras de belangrijkste bron van cadmium is. Inname van water draagt alleen in extreme gevallen (sterk verontreinigd water) in aantoonbare mate (> 10% van de totale inname) bij. Op basis van de modelberekeningen blijkt dat normoverschrijdingen in lever en nier in een groot deel van de Kempen mogelijk zijn. Gebruik van schoon ruwvoer in de stalperiode reduceert de totale inname met bijna 40% en reduceert in belangrijke mate de kans op normoverschrijding. De modelberekende cadmiumgehalten in lever en nier komen redelijk tot goed overeen met velddata. Op basis van de berekende gehalten in lever en nier is het onwaarschijnlijk, dat er sprake is van directe gezondheidseffecten op het dier, ofschoon er studies zijn die bij (chronische) lage belastingen zoals die in de Kempen voorkomen, wel effecten hebben aangetoond. Voor runderen tot 6 jaar lijkt de kans op gezondheidseffecten echter klein.

Trefwoorden: cadmium, diergezondheid, grondwater, nieren, Kempen, landbouw, Noord-Brabant, runderen, schapen, voedselkwaliteit, warenwet

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Achtergrond en doelstelling van het onderzoek	11
1.3 Aanpak	12
2 Materiaal en methoden	15
2.1 Modelconcept en benodigde data	15
2.1.1 Bodemgegevens	16
2.1.2 Grondwaterkwaliteitgegevens	17
2.1.3 Consumptiepatronen en scenario's voor runderen, schapen en paarden	18
2.2 Modelconcepten	19
2.2.1 Overdracht van cadmium van bodem naar gewas	19
2.2.2 Berekening van de totale blootstelling (inname) aan cadmium	20
2.2.3 Overdracht naar nieren en lever	23
3 Resultaten van de modelberekeningen	29
3.1 Blootstelling	29
3.2 Gebiedsdekkende uitwerking	31
3.2.1 Totale inname van cadmium	31
3.2.2 Cadmiumgehalte in nier	32
3.3 Gezondheid	35
3.4 Mogelijkheden voor reductie orgaangehalten en adviezen	37
4 Conclusies	41
Literatuur	43

Bijlagen

1 Overzicht van relevante normen voor cadmium in voedermiddelen, dierlijke producten en (drink)water	49
2 Gegevens voer- en wateropname	51
3 Inname van cadmium via grond en gewas	55
4 Grondstoffensamenstelling van mengvoeders voor melkvee	57
5 Cadmiumgehalten in mengvoeders	59
6 Scenario's	61
7 Beschikbaarheid van cadmium uit verschillende bronnen	63
8 Afwijkende omstandigheden	65
9 Uit literatuur afgeleide BTR waarden voor nier en levers bij runderen en schapen	67

Woord vooraf

In de Kempen komen regionaal verhoogde gehalten aan cadmium en zink in de bodem voor als gevolg van de voormalige manier van verwerking (smelten) van zinkerts. Ofschoon de emissie van beide metalen al een aantal decennia sterk is gereduceerd (ander productie proces) wijken de gehalten in de bodem in de Kempen nog steeds af (lees: ze zijn hoger) van die in de rest van Nederland. Door deze verhoogde gehalten zijn ook de gehalten in lokaal geteeld ruwvoer (gras en maïs) verhoogd ten opzichte van metingen in de rest van Nederland (Rietra et al., 2004 en 2005). Deze verhoogde gehalten in ruwvoer en mogelijk in water dat gebruikt wordt voor veedrenking leiden er toe, dat de inname van cadmium door grazend vee in de Kempen hoger is dan in de rest van Nederland. Dit leidt er toe dat de gehalten in organen als lever en nier hoger zullen zijn en mogelijk warenwetnormen overschrijden. Dat laatste is ook gebleken uit metingen verricht door de Voedsel en Waren Autoriteit (VWA, 2005).

De vraag is daarom na te gaan of een gebied is aan te wijzen, waar de kans bestaat dat als gevolg van de verhoogde gehalten in de bodem de opname door grazend vee leidt tot normoverschrijding van Warenwet in de organen. En, zo ja, hoe groot dat gebied is. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, is een modelstudie verricht. Met een serie gekoppelde modellen, opgebouwd rondom de keten bodem – gewas – dier – orgaan, is berekend in hoeverre de inname door koeien (zowel melkvee als zogende koeien) kan leiden tot normoverschrijding in organen. Dit is kritischer dan de diergezondheid. Daarnaast is voor paarden en schapen ook de totale inname berekend.

Een tweede vraag die in dit rapport aan de orde komt, is in hoeverre de drenking van vee met water (grondwater) bijdraagt aan de totale inname door vee. Dit laatste omdat berekeningen in België hebben gesuggereerd, dat gebruik van grondwater als drinkwater voor vee een belangrijke bijdrage aan de cadmiuminname van runderen kan zijn.

Dit rapport kent daarom de volgende onderdelen:

1. Beschrijving van de modelketen die ontwikkeld is om de gehalten aan cadmium in lever en nier van runderen te berekenen
2. Opstellen van scenario's (voedingspatronen, gebruik van schoon dan wel vervuild drinkwater voor runderen)
3. Presentatie van de resultaten via kaarten die de berekende gehalten in de nier en lever op regionale schaal weergeven (Kempen en directe omgeving)
4. Evaluatie van de problematiek: leiden de gehalten aan Cd in de bodem tot normoverschrijding en zo ja in welk gebied; wat is de bijdrage van drinkwater aan de totale blootstelling van runderen?

Uiteraard zullen in deze studies aannames gemaakt moeten worden, die de uitkomst beïnvloeden. Dat betreft zowel de modelkeuze (overdracht van bodem naar ruwvoer, en van totale inname naar dier, etc.) als de data die ten grondslag liggen aan de berekening. Deze keuzes zullen daar waar nodig beargumenteerd worden. Validatie van de modeluitkomsten is vaak alleen op onderdelen mogelijk zoals het vergelijken van de berekende gewasgehalten met metingen en voorspelde orgaangehaltes met actuele data uit de Kempen. Daar waar mogelijk zullen de verschillende stappen daarom getoetst worden aan feiten (data).

Samenvatting

De gehalten aan cadmium in de bodem in de Kempen zijn de oorzaak van verhoogde gehalten in (ruw)voer (gras en maïs). De inname van weidegras door grazend vee en voer tijdens de stalperiode leidt daarom tot een duidelijk verhoogde blootstelling. Daarnaast krijgen dieren ook cadmium binnen via aanhangende grond en drinkwater. De centrale vraag in dit onderzoek was na te gaan of de totale blootstelling via voer (incl. krachtvoer), water en grond leidt tot overschrijding van normen in organen (warenwet normen voor lever en nier) dan wel tot gezondheidseffecten bij de dieren. In het verleden is namelijk meermaals vastgesteld dat in de Kempen warenwetnormen voor lever en nier voor cadmium overschreden worden. Een deelaspect van dit onderzoek was daarom de vraag aan te geven hoe groot het gebied is waar normoverschrijdingen kunnen voorkomen. Tenslotte is de vraag gesteld of gebruik van drinkwater bijdraagt aan de totale blootstelling.

In het onderzoek zijn door de verschillende deelnemende partijen (RIVM, ASG, Rikilt en Alterra) deelaspecten uitgewerkt. Door ASG is een voedingspatroon voor rundvee opgesteld rekening houdend met de leeftijd van runderen (3 fasen, 0 – 1 jaar, 1 – 2 jaar en > 2 jaar), weide- versus stalperiode en zogende versus melkgevende koeien. Tevens is op basis van data van het Rikilt de inname van cadmium uit krachtvoer berekend. Door RIVM is een model ontwikkeld dat op basis van de totale inname (de som van inname van grond, water en voer) de overdracht van cadmium naar de nieren en lever berekent en daarmee het uiteindelijke gehalte. De conclusie van dit modelwerk is dat het gebruik van een lineaire overdrachtcoëfficiënt de beste voorspelling geeft van het uiteindelijke cadmiumgehalte in de organen. Dat betekent concreet dat er geen uitscheiding van cadmium uit de organen plaatsvindt, maar uitsluitend accumulatie. De modeluitkomsten zijn vergeleken met gemeten data uit de Kempen en komen wat betreft orde van grootte goed overeen. Een exacte koppeling van data met modelberekeningen per locatie is niet goed mogelijk omdat niet vast te stellen is waar de koeien precies ge graasd hebben gedurende de weideperiode.

Op basis van de bodemkaart en de huidige cadmiumkaart van ABdK van de Kempen is vervolgens door Alterra een berekening gemaakt van de gehalten aan cadmium in het totale rantsoen. Het toegepaste model is gebaseerd op veldmetingen uit de Kempen in 2004 en 2005 (metingen aan gras en grond) en is daarmee representatief voor het gebied. Uiteindelijk is dit model (het grond – gras model) toegepast voor elke gridcel van de kaart. Daarmee kon een gebiedsdekkende kaart gemaakt worden van de gehalten aan cadmium in gras en maïs. Deze berekende gehalten zijn gebruikt om eveneens per gridcel een schatting te maken van de blootstelling en gehalten aan cadmium in de nieren (met het RIVM model) rekening houdend met inname via grond en water. Bij dat laatste zijn nog weer 3 scenario's gebruikt, namelijk een met normale cadmium gehalten in water ($0.3 \mu\text{g L}^{-1}$ gebaseerd op metingen in diep grondwater van de Kempen), een met verhoogde gehalten ($3.5 \mu\text{g L}^{-1}$) en een met hoge gehalten ($20 \mu\text{g L}^{-1}$). Tevens is onderscheid gemaakt in de

belasting via voer. Scenario 1 rekent met een inname van voer uit de regio gedurende het hele jaar (weide en stalperiode) terwijl scenario 2 uitgaat van een verlaagde blootstelling. In dit scenario wordt gedurende de stalperiode 'schoon' ruwvoer gebruikt.

Het scenario waarbij runderen uitsluitend ruwvoer uit de regio zelf krijgen (meest waarschijnlijk) in combinatie met normale gehalten aan cadmium in water resulteert in een kaart waar in een groot deel van de Kempen een reële kans bestaat dat de warenwet norm voor cadmium in lever en nier overschreden wordt (voor runderen). De voorspelde gehalten in lever en nier bedragen ruwweg 1 tot 2 keer de warenwetnorm. Daarmee zijn de gehalten niet van dien aard dat daarbij grote gezondheidsrisico's voor dieren bestaan. Ook is het niet zo dat daarmee de norm in alle nieren en levers van runderen overschreden wordt. Alleen in een klein gebied nabij de Belgische grens en bij de zinkfabriek te Budel Dorplein kan met redelijke zekerheid gesteld worden dat de warenwetnorm in lever en nier overschreden zullen worden. Dat geldt dan voor runderen van 5 tot 6 jaar (dat is in dit geval de gebruikte leeftijd). Voor jongere runderen zijn de berekende gehalten in de lever en nier dus (beduidend) lager.

Gebruik van schoon voer (van buiten de Kempen) levert een aanzienlijke afname van de kans dat de norm overschreden wordt. Gemiddeld (per gemeente) daalt het gehalte in de nier van waarden tussen 1.0 - 2.0 mg kg⁻¹ (norm is 1.0 mg kg⁻¹) naar waarden tussen 0.5 - 1.0 mg kg⁻¹. De bijdrage van gras is verreweg (> 80%) de belangrijkste bron van cadmium. Zeker in gronden met cadmium gehalten van meer dan 1 mg kg⁻¹ is de bijdrage van water en zelfs grond minimaal (< 5 a 10%). Dat betekent dat de invloed van mogelijk verontreinigd water juist aan de randen van de Kempen (waar lokaal verontreiniging voorkomt in het oppervlaktewater en/of grondwater) juist toeneemt omdat daar de gehalten in de bodem afnemen. In het algemeen geldt dat bij gebruik van diep grondwater en of kraanwater de bijdrage minimaal is.

De kans op het vóórkomen van directe gezondheidsrisico's bij dieren is bij de voorspelde gehalten in de nier en lever niet groot. Wel is het zo dat de informatie over het vóórkomen van effecten van cadmium op diergezondheid in de literatuur niet eenduidig of zelfs tegenstrijdig zijn. Effecten van cadmium zijn ook waargenomen bij een lage blootstelling (vergelijkbaar of zelfs lager dan hier berekend voor de Kempen) en dus is het niet volledig uit te sluiten dat er nadelige effecten kunnen optreden. De waargenomen effecten waren echter gering van omvang.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Stichting Actief Bodembeheer in de Kempen (ABdK) heeft het initiatief genomen voor een onderzoek naar de geografische variatie in de (te verwachten) niveaus van cadmium, en naar de effecten op de volksgezondheid van consumptie van lokale producten en op dierenwelzijn. De volgende vragen zijn gesteld:

1. kan op regionale schaal de blootstelling van runderen (en andere graasdieren) uit de Kempen aan cadmium vanuit bodem, water en voer berekend worden?
2. welke blootstellingsbronnen (voer, water, bodem) dragen in belangrijke mate bij aan de totale inname van cadmium?
3. wat is de omvang van het gebied in de Kempen waar mogelijk normoverschrijdingen in nieren van runderen vóórkomen als gevolg van inname van cadmium via voer, bodem, en water?

1.2 Achtergrond en doelstelling van het onderzoek

In 2004 heeft onderzoek naar de gehalten van cadmium in orgaanvlees van runderen in België ertoe geleid, dat in België nieren en overig orgaanvlees van deze dieren uit de voedselketen worden verwijderd. Het betreft overschrijdingen van product-normen, waarbij de volksgezondheid overigens geen direct gevaar loopt (FAVV, 2005). In navolging van het Belgische onderzoek (Ruttens et al., 2004) heeft de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (RIVM-RIKILT Front Office Voedselveiligheid, 2005bc) in 2005 ook een dergelijk onderzoek laten uitvoeren. Ook in rundvee uit de Nederlandse Kempen bleek het gehalte aan cadmium in de nieren te hoog, ook al werd slechts een gering aantal monsters onderzocht. Maatregelen om ook hier orgaanvlees van runderen uit de Kempen uit de voedselketen te verwijderen, worden daarom overwogen.

Inmiddels is uit veldonderzoek gebleken dat in de bodem, in verschillende (voeder)gewassen (Rietra et al., 2004-2006) en in freatisch grondwater (Grift et al., 2006) normoverschrijdingen voor cadmium voorkomen. Dit betreft dan met name overschrijdingen van de streefwaarde en LAC signaalwaarden in de bodem, warenwetnormen voor (veevoeder en consumptie)gewassen en streefwaarden voor ondiep grondwater. Een directe relatie met de problematiek van cadmium-accumulatie in rundernieren is recent niet gelegd. Wel is al in 1984 onderzoek gedaan naar de cadmiumgehalten in de nieren en levers van runderen afkomstig uit de Kempen (CDI, 1984; Spierenburg et al., 1988). Ook toen kwamen overschrijdingen van de (toenmalige) norm voor.

Dieren nemen via verschillende routes cadmium in: via het voer dat ze eten (evt. met aanhangende grond), via de lucht die ze inademen, en via het water dat ze drinken. Relevante aspecten daarbij zijn dat het voer uit verschillende bronnen kan komen

(krachtvoer, kuilvoer, en via begrazing) en dat het voer een bepaald grondgehalte kan hebben (bevuiling van het gras of door grond aan graswortels). De opname via lucht (inademing van stof en dergelijk) wordt verwaarloosbaar verondersteld. Dit wordt ondersteund door Oomen *et al.* (2006) in een recente studie naar het humane risico als gevolg van de integrale blootstelling aan cadmium in de Kempen. Daaruit blijkt dat de bijdrage van de inname via stof (lucht) verwaarloosbaar is.

Om na te gaan in welke mate cadmium uit de bodem en voer uiteindelijk in bepaalde organen terecht komt spelen verschillende aspecten een rol. De totale inname door het dier en de biologische beschikbaarheid van cadmium in de verschillende media (voer, grond, water), de daaropvolgende interne retentie in de lever en nieren en de excretie van cadmium via urine en mest. Hoewel slechts een klein deel van het met voer en drinkwater ingenomen cadmium vanuit het maagdarmkanaal in het lichaam opgenomen wordt (naar schatting komt meer dan 95 a 99% van het ingenomen cadmium in de mest terecht) worden bij koeien door langdurige blootstelling aan cadmium hoge cadmiumgehalten gevonden in nieren en levers. Dit is niet het geval voor melk en vlees (Vreman *et al.*, 1986; Smith *et al.*, 1991).

Het eerste doel van dit onderzoek is het opstellen van een modelconcept dat het mogelijk maakt de blootstelling van runderen in de Kempen te berekenen. Deze blootstelling is vervolgens vertaald in het te verwachten gehalte aan cadmium in de nieren van runderen. Uiteindelijk kan daarmee nagegaan worden hoe groot de bijdrage van voer, grond en water is die runderen binnen krijgen. Nagegaan wordt of ook andere dieren zoals schapen en paarden blootstaan aan een dergelijke belasting. Hiervoor worden innameberekeningen (blootstelling) voor schapen, paarden en runderen gedaan.

Het tweede doel van dit onderzoek is vast te stellen of, op basis van de modeluitkomsten, het gebied waar normoverschrijdingen voorkomen, kan worden afgebakend. Indien dat mogelijk is zal een dergelijk afbakening worden gepresenteerd met behulp van kaarten van het gebied.

1.3 Aanpak

Het uiteindelijke ontwikkelde model voor de berekeningen, bestaat uit een combinatie van deelmodellen en invoerdata waarbij ook een aantal scenario's is opgesteld:

1. Een model voor de berekening van de gehalten aan cadmium in ruwvoer op basis van bodemeigenschappen en het gehalte aan cadmium in de bodem.
2. Een aantal scenario's om de hoeveelheid ingenomen voer, grond en water te bepalen aan de hand van de leeftijd van het rund.
3. Een model dat de totale inname (inclusief die van water) vertaald naar een gehalte in de nier en/of lever. (zie hoofdstuk 2 voor meer details).

Daar waar mogelijk zullen gegevens uit de Kempen zelf gebruikt worden om de modellen te kalibreren dan wel te valideren. Bij het opstellen van de verschillende

deelmodellen is gebruik gemaakt van de expertise die bij verschillende instituten aanwezig is. Zo zijn de voedingspatronen van dieren (wat eten dieren en hoeveel) aangeleverd door ASG, terwijl de modellering van de opname van cadmium in de nieren aangeleverd is door het RIVM (en RIKILT). Koppeling van regionale bodembestanden met de modelberekende gehalten in gewas en de daaruit berekende inname en gehalten in de nieren is door Alterra uitgevoerd.

Bij het bepalen van de blootstelling en de berekening van de gehalten aan cadmium in de nieren van runderen zijn een aantal scenario's gebruikt. Dat betreft enerzijds de inname door koeien waarbij onderscheid gemaakt is tussen zogende koeien en melkkoeien en anderzijds de inname van water met verschillende kwaliteit. Een van de vragen die ten grondslag lag aan dit onderzoek was namelijk of de inname van (vervuild) water een wezenlijke bijdrage levert aan de inname door runderen. Gebruik van oppervlaktewater uit gebieden met sterk verhoogde gehalten in slib en water zou namelijk kunnen leiden tot een sterk verhoogde inname.

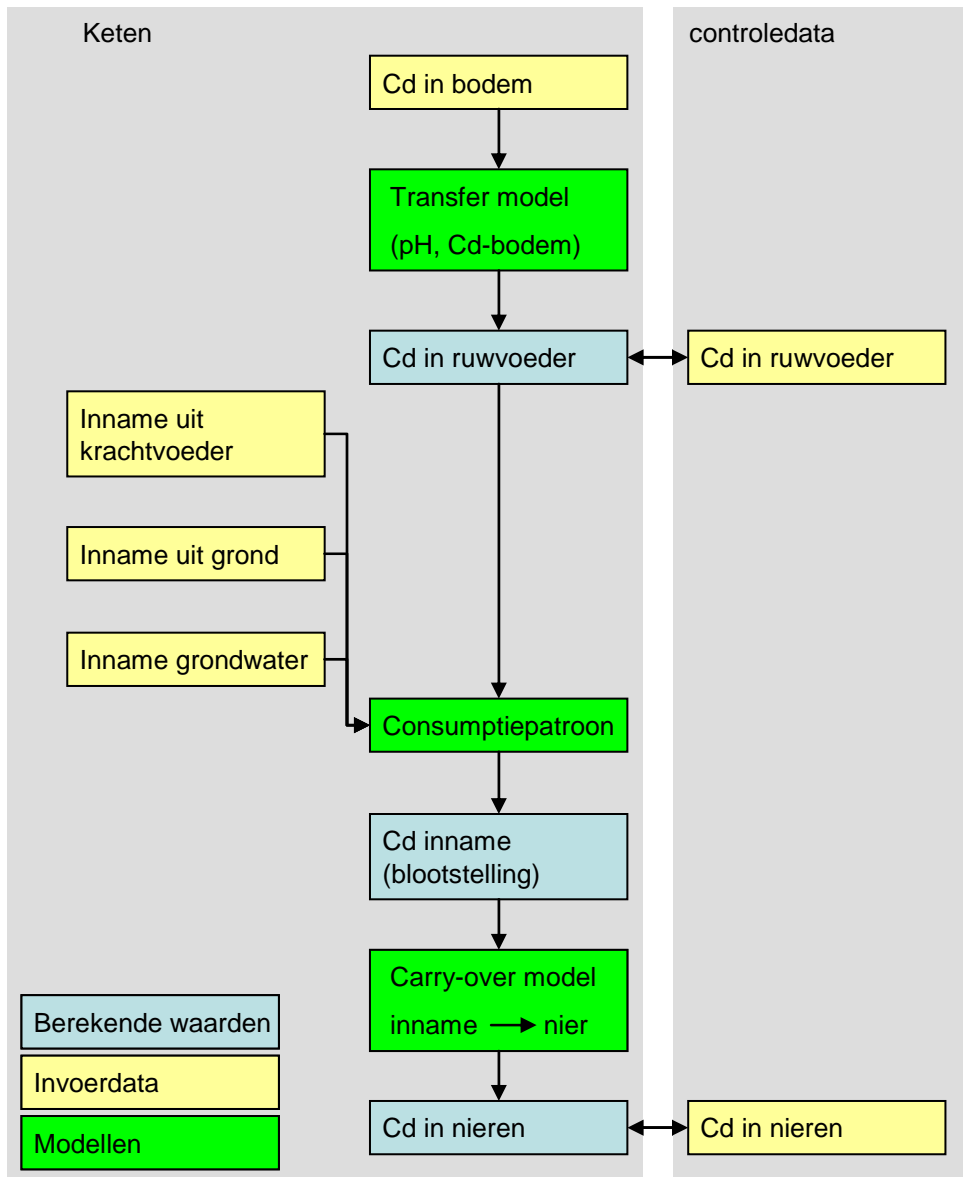
Uiteindelijk resulteert deze aanpak in een aantal concrete producten en uitkomsten:

1. Een model, dat op regionale schaal de blootstelling van runderen (en andere graasdieren) uit de Kempen aan cadmium vanuit bodem, water en gewassen naar deze dieren berekent.
2. Inzicht in de mate waarin elke blootstellingsbron (voer, water, bodem) bijdraagt aan de totale inname van cadmium.
3. Inzicht in de omvang van het gebied in de Kempen waar mogelijk normoverschrijdingen in de nier zullen voorkomen als gevolg van inname van cadmium via voer, bodem, en water

2 Materiaal en methoden

2.1 Modelconcept en benodigde data

De voedselketen zoals beschreven in de inleiding bestaat uit een aantal deelcomponenten. In figuur 2.1 is schematisch de hele keten weergegeven.



Figuur 2.1 Modelketen voor de berekening van de gehalten in de nieren van dieren in de Kempen. In groen zijn de gebruikte modellen weergegeven, geel zijn invoerdata en blauw zijn berekende waarden (voor elke gridcel) uit kaarten (cadmium) en scenario's (blootstelling en Cadmium in nieren). In paragraaf 2.1.3 is een overzicht gegeven van de verschillende scenario's die op basis van de consumptiepatronen onderscheiden zijn.

Voor het kunnen opstellen van de modelketen (zie par 2.2) zijn zowel (invoer)data als modellen nodig. De volgende data voor het toepassen van het model zijn nodig:

1. Bodem data (bodemtype, zuurgraad);
2. Gehalten aan cadmium in de bodem;
3. Gehalten aan cadmium in voer dat van buiten de regio komt (oa krachtvoer en ander ruwvoer);
4. Gehalten aan cadmium in water dat gebruikt wordt voor veedrenking.
5. Gemeten Cadmium gehaltenes in lokaal geproduceerd ruwvoer, ter controle.
6. Gemeten gehaltenes in nieren van runderen, ter controle.

Modellen die in deze studie worden toegepast zijn:

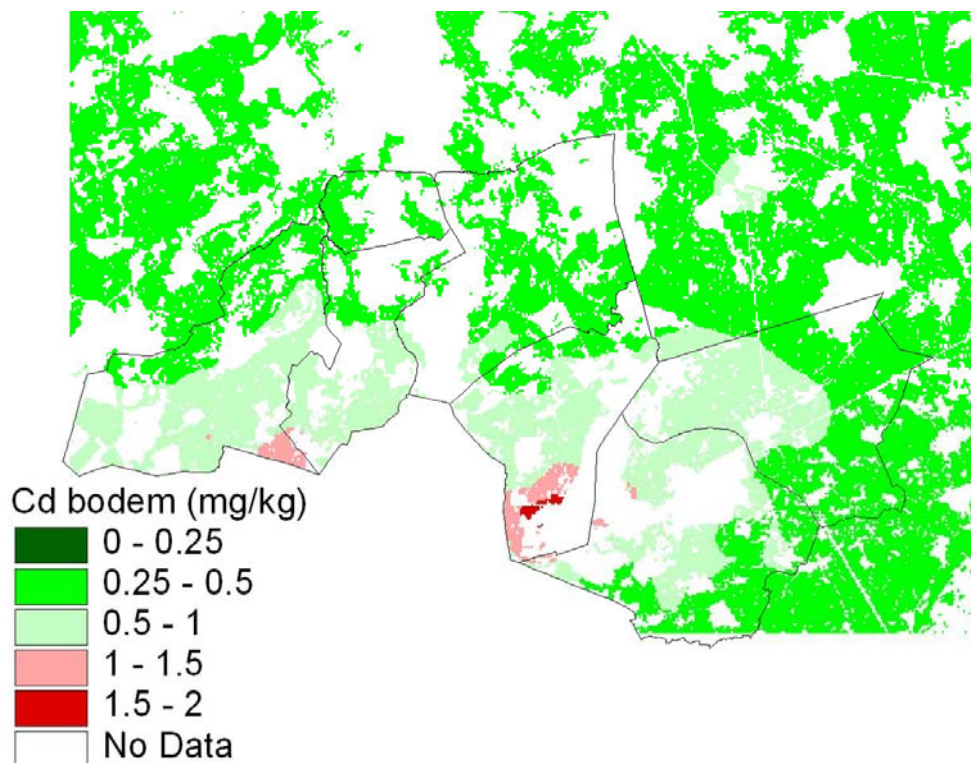
1. Opname van cadmium door gras en maïs uit de bodem als belangrijkste componenten van ruwvoer;
2. Consumptiepatronen van dieren (runderen, schapen, paarden) rekening houdend met de leeftijd van dieren (jonge dieren eten minder, melkkoeien eten anders dan zogende koeien enz.);
3. Model om uit de totale inname (berekend uit de consumptiepatronen) de gehalten in de nier te berekenen rekening houdend met de leeftijd van de dieren

Een belangrijke veronderstelling in de hier gepresenteerde keten en bijbehorende modelberekeningen is dat per onderscheiden geografische eenheid (hier gridcellen van 100 x 100 meter) de gehalten in het voer en daarmee de inname door dieren berekend wordt. Dat betekent dat de uitkomsten niet op het niveau van de boerderij zelf zijn, maar representatief voor een bepaalde gridcel. Het is in deze fase onmogelijk om na te gaan welk dier voer (gras/maïs) van welk perceel krijgt. In feite geeft de hier gebruikte methode dus aan hoe hoog het gehalte in de nier van een koe is indien die gras en maïs (en bodem) eet (gedurende de hele periode) uit die bepaalde gridcel.

2.1.1 Bodemgegevens

Om op regionale schaal uitspraken te doen over de gehalten in nieren van runderen is het nodig een koppeling te maken van de data over cadmium in de bodem in de Kempen en het bodemtype. Voor het bodemtype wordt daarbij gebruik gemaakt van de 1 : 50000 bodemkaart van Nederland (De Vries et al., 2003). Hiervan wordt voor het in deze studie gebruikte detail niveau (gridcellen van 100 x 100 meter) voor elke onderscheiden gridcel een schatting gemaakt van de zuurgraad, organische stof gehalte en textuur. Voor de berekening van het gehalte in het gewas is weliswaar alleen de pH en het cadmiumgehalte van belang (zie par.2.2.2), maar voor de schatting van het cadmium gehalte in de bodem per gridcel is wel informatie van organische stof en textuur nodig. Een beschrijving van de methode waarin de gehalten aan cadmium in de bodem voor elke gridcel via interpolatie worden berekend vanuit de meetgegevens, is te vinden in Brus et al. (2002). De uiteindelijke cadmiumgehalten in de bodem in het gebied zijn te zien in figuur 2.2. Met behulp

van een bodem – plant relatie kan voor elke gridcel het cadmiumgehalte in tarwe, gras, maïs en gerst berekend worden (zie par. 2.2.2).



Figuur 2.2 Cadmium kaart van landbouwgronden in studiegebied. Aangegeven van links naar rechts zijn de gemeenten Bergeijk, Valkenswaard+ Waalre, Leende-Heeze, Cranendonck, Weert en Nederweert (kaart beschikbaar gesteld door ABdK via e-mail van E.J. Heskens 3 nov 2006).

Noot: het gekozen schaalniveau en de methode van interpolatie maken dat de sterke verontreiniging in de beekdalen (oa Dommel, Tungalroyse beek ed) niet op deze kaart als zodanig zichtbaar zijn. In het Dommeldal zijn cadmium gehalten van 50 tot 100 mg kg⁻¹ gemeten (Römken et al., 2006). Uiteraard zullen bij deze gehalten in de bodem de gehalten in de gewassen navenant hoger zijn dan in de diffuus belaste gebieden die op de kaart (figuur 2.2) te zien zijn. De resultaten zoals beschreven in dit rapport zijn daarom ook niet maatgevend voor mogelijke risico's in de genoemde beekdalen.

2.1.2 Grondwaterkwaliteitgegevens

Er zijn door ABdK verscheidene bestanden beschikbaar gesteld voor dit onderzoek met daarin gegevens van de kwaliteit van het grondwater in het gebied.

- Het bestand gw_monster.dbf bevat 795 records van zuidelijk Noord-Brabant uit o.a. het provinciaal meetnet van de provincie en van enige onderzoeken door CSO en TNO.
- Het bestand water_tot.dbf bevat 31579 records van locaties in Noord-Brabant. De meetlocaties zijn echter niet altijd aangegeven en verder zijn de

bemonsteringsdiepten niet gegeven. Ook is het aantal meetpunten in het werkgebied van ABdK zeer beperkt.

- De bestanden boorpuntenBGK_point.dbf (546 records) en boorpunten_point.dbf (965 records) zijn grondwatersamenstellingsgegevens van ondiepe locaties de gemeenten Bergeijk en Cranendonck. Bij het bestand van Cranendonck is geen bemonsteringsdiepte gegeven.

Op basis van deze gegevens zijn een drietal waarden voor de concentratie aan cadmium in water afgeleid: 0,3, 3,5 en 20 $\mu\text{g L}^{-1}$. De eerste waarde komt overeen met de mediane waarde aangetroffen in diep grondwater. Indien een boer diep grondwater of kraanwater gebruikt zullen de concentraties aan cadmium in deze orde van grootte liggen. De tweede waarde (3,5 $\mu\text{g L}^{-1}$) komt overeen met de gemiddelde waarde in ondiep grondwater en is een maat voor de concentratie van cadmium uit ondiepe putten. Deze waarde kan uiteraard sterk variëren afhankelijk van de locatie in de Kempen. De derde waarde (20 $\mu\text{g L}^{-1}$) is een worst case scenario. Deze concentraties komen weliswaar sporadisch voor in ondiep grondwater in de Kempen maar het is niet de verwachting dat water van deze kwaliteit op grote schaal gebruikt wordt. Het doel van deze range is aan te geven of en zo ja in welke mate gebruik van mogelijk verontreinigd water (derde scenario) leidt tot een wezenlijke bijdrage aan de totale blootstelling. Hierbij dient wellicht nog te worden opgemerkt dat er bij de berekening van de opname in de nier geen onderscheid gemaakt wordt tussen de beschikbaarheid van cadmium uit het voer, de bodem of het water. Op basis van de beschikbare informatie kon hier echter geen onderscheid voor gemaakt worden. Zie ook bijlage 7.

2.1.3 Consumptiepatronen en scenario's voor runderen, schapen en paarden

Generieke gegevens over consumptiepatronen zijn opgezocht voor runderen, schapen en paarden. Bij voer wordt onderscheid gemaakt in lokaal geteeld (ruw)voer (maïs, gras en graan), geïmporteerd (ruw)voer en krachtvoer (Zie Bijlage 1 en 2). Uit de geleverde voedingspatronen blijkt, dat vooral *gras* een groot aandeel heeft in de dagelijkse inname. De bijdrage van graan is zo klein dat besloten is om alleen voor gras en maïs een bodemafhankelijke waarde (voor cadmium in het gewas) te berekenen. Granen maken daarbij deel uit van het overige ruwvoer waarvoor default (constante) waarden voor cadmium aangehouden zijn. Deze waarden voor ruwvoer zijn onder meer afkomstig uit KAP (van Klaveren, 1999) en staan vermeld in bijlage 4 en 5.

Op basis van de voedingsgegevens is besloten de inname van cadmium door vee te splitsen in een drietal fasen:

1. jongvee tot 1 jaar
2. jongvee van 1 tot 2 jaar
3. koeien ouder dan 2 jaar

De berekening van de blootstelling voor koeien van bijvoorbeeld 5 jaar is daarmee de som van 1 jaar volgens de consumptie gedefinieerd in fase 1, 1 jaar volgens fase 2 en 3 jaar volgens fase 3.

Naast de inname van voer is ook onderscheid gemaakt in de inname van water (zie ook tabel B2.5 voor meer details). Zo drinken koeien die veel melk produceren beduidend meer water dan droge of zogende koeien.

Tenslotte is ook de beweidingstijd nog van invloed op de totale blootstelling omdat koeien tijdens de stalfase (winter: 1 november tot 1 mei) een ander voederpatroon kennen dan tijdens de weideperiode (zomer: 1 mei tot 1 november). In tabel B2.1 zijn de verschillen in consumptiehoeveelheden nader gespecificeerd.

2.2 Modelconcepten

2.2.1 Overdracht van cadmium van bodem naar gewas

De overdracht van cadmium van bodem naar de voedingsgewassen wordt berekend met de zgn. bodem-gewasrelaties die eerder voor de Kempen zijn afgeleid (zie ook Bijlage 3 voor meer details). Deze bodem gewas-relaties zijn afgeleid van veldmetingen in bodem en gewas (gras en maïs) op hetzelfde perceel in reguliere landbouwpercelen in 2004 en 2005.

In dit model wordt de concentratie Cadmium in het gewas (Cd_{gewas} in mg kg^{-1}) gerelateerd aan het gehalte aan Cadmium in de bodem (Cd_{bodem} in mg kg^{-1}) en de zuurgraad (pH). Voor maïs is daarnaast ook organische stof in van belang (in procent).

In vergelijking [1] is het toegepaste model te zien, waarin de constante factor en de machten n voor de pH en b voor het Cadmium bodemgehalte (en voor maïs ook een coëfficiënt voor organische stof, zie bijlage 3) empirisch bepaald zijn op basis van veldmetingen:

$$Cd_{\text{gewas}} = \text{Constante} \cdot H^n \cdot (Cd_{\text{bodem}})^b \quad [1]$$

Waarbij $[H]$ staat voor de concentratie aan protonen ($\text{pH} = -\log[H]$). Cd_{gewas} en Cd_{bodem} staan voor respectievelijk het cadmiumgehalte in de plant en de bodem; beide in mg kg^{-1} op droge stof basis. Het effect van organische stof op de opname van cadmium door gras bleek niet significant te zijn. Dit is niet verwonderlijk omdat in de database in de graspercelen slechts een kleine range aan het gehalte aan organische stof is gemeten, een groot deel van de gronden in de Kempen zijn zandgronden met een beperkte variatie in organische stof. Voor maïs bleek de variatie in organische stof wel een meerwaarde te hebben voor de voorspelling van het cadmium gehalte in de maïs.

Voor toepassing op landelijke schaal zijn deze vergelijking echter niet direct geschikt (alleen voor zandgronden) omdat de voorspellende waarde voor veen- en kleigronden gering is. Het doel van deze studie was echter een zo goed mogelijk model te ontwikkelen voor een *regionale* voorspelling en daarom is gekozen voor het best passende (maar niet buiten de Kempen geldige) model.

Doordat effecten van zuurgraad en, uiteraard, cadmiumgehalten (bodem) meegenomen worden in het model, is het mogelijk om voor elke combinatie van deze genoemde bodemeigenschappen een bijbehorend gehalte in het gewas te berekenen. Verschillen in bodemkwaliteit komen daarmee uiteraard tot uitdrukking in verschillen in gewaskwaliteit en daarmee de blootstelling van dieren (zie ook figuur 2.1).

Uiteindelijk is op basis van de bodem-gewasrelatie voor elke gridcel (100 m x 100 m) van de kaart van de Kempen een cadmiumgehalte in gras en maïs berekend.

2.2.2 Berekening van de totale blootstelling (inname) aan cadmium

De blootstelling van dieren in het studiegebied wordt berekend als de som van alle producten die gedurende een bepaalde tijdsduur gegeten en gedronken worden. De inname van cadmium door runderen, paarden en schapen is daarmee een functie van de inname van grond, ruwvoer(gras, maïs), krachtvoer en water (zie vergelijking 2). De bijdrage van lucht wordt verwaarloosd op basis van eerdere scenario berekeningen (FAVV, 2005).

$$\begin{aligned} \text{Blootstelling per dag} = & \{ \Sigma(\text{gehalte grond} * \text{hoeveelheid grond per dag} \\ & + \text{gehalte krachtvoer} * \text{hoeveelheid krachtvoer per dag} \quad [2] \\ & + \text{gehalte gras/maïs} * \text{hoeveelheid gras/maïs per dag} \\ & + \text{gehalte water} * \text{hoeveelheid water per dag}) \} \end{aligned}$$

Voer

Zoals eerder aangegeven kunnen de hoeveelheden voer die een dier eet, variëren afhankelijk van de leeftijd van het dier en de melkgift. In alle scenario's is daar rekening mee gehouden. In tabel 2.1 staat het overzicht van alle in dit rapport uitgevoerde scenario's. Voor runderen is daarbij onderscheid gemaakt tussen zowel de belasting via voer als de belasting via water.

Voor de inname via ruwvoer (gras/maïs) zijn twee scenario's opgesteld, namelijk één waarbij het voer steeds uit de regio zelf komt (met andere woorden berekend aan de hand van het cadmium gehalte in de bodem, scen. 1 en 2) en een waarbij gedurende de stalperiode 'schoon' ruwvoer uit andere regio's buiten de Kempen gebruikt wordt. Het gehalte aan cadmium in dit ruwvoer is dan niet meer afhankelijk van het cadmiumgehalte in de bodem, maar is verondersteld constant te zijn en gelijk aan het gehalte in het andere geïmporteerde ruwvoer (bijlage 6). Scenario 3 en 4 zijn daarom scenario's met een lagere belasting met cadmium. De tijdsduur van de weide en stalfase is overigens even lang (beide 6 maanden).

Voor schapen en paarden is geen onderscheid gemaakt op basis van eigen dan wel import voer. Alleen al vanwege het feit dat voor schapen en paarden de weideperiode relatief lang is ten opzichte van de stalperiode. In deze berekeningen is voor paarden en schapen een weideperiode van 80% van het jaar aangehouden (20% stal).

Water

Voor de belasting via water is voor elk van de hoofdscenario's (1 t/m 6) een onderverdeling in laag, midden en hoog gemaakt voor wat betreft het gehalte aan cadmium in het water (respectievelijk 0.3; 3.5 en 20 $\mu\text{g L}^{-1}$).

Grond

Ook de inname van grond (bijvraat) speelt mogelijk een rol in de totale blootstelling. In alle scenario's is daarom een hoeveelheid aanhangende grond (aan gras en maïs) meegenomen. Deze varieert van 4% (van de hoeveelheid gras (beide d.s.) die gedurende de weideperiode gegeten wordt) in de weidefase tot 2% tijdens de stalfase (zie ook bijlage 3 voor meer details en referenties)

Tabel 2.1. Naamgeving in rapport van de uitgevoerde scenarioberekeningen.

No.	dier	Herkomst voer	Scenario Nummers		
			Gehalte in water betreffende scenario		
			Laag Scen. 1 0.3 $\mu\text{g L}^{-1}$	Midden Scen. 2 3.5 $\mu\text{g L}^{-1}$	Hoog Scen. 3 20 $\mu\text{g L}^{-1}$
1	Melkkoe	Altijd voer uit regio (hoog belast)	1.1	1.2	1.3
2	Zogende koe	Altijd voer uit regio (hoog belast)	2.1	2.2	2.3
3	Melkkoe	In winter (schoon) voer van buiten regio	3.1	3.2	3.3
4	Zogende koe	In winter (schoon) voer van buiten regio	4.1	4.2	4.3
5	Schaap	-	5.1	5.2	5.3
6	Paard	-	6.1	6.2	6.3

* De mediaan van de cadmiumconcentratie in de regio is naar verwachting de concentratie in het drinkwater (het drinkwaterbedrijf geeft hierover geen informatie).

Zoals al eerder opgemerkt is de uiteindelijke inname (blootstelling) de som van alle gedurende meerdere jaren geconsumeerde producten:

Voor voer geldt daarbij dat de totale inname weer de som is van de inname van de verschillende componenten (gras, maïs, krachtvoer etc.).

In de scenario's voor runderen wordt daarbij uitgegaan van een levensduur van 5 jaar voor koeien, rekening houdend met verschillen in consumptie gedurende de verschillende stadia. De inname wordt in principe op dagbasis berekend en uiteindelijk vermenigvuldigd met het aantal dagen van de betreffende fase of periode van het jaar (weide/stal).

In tabel 2.2 staan de eenheden die bij de berekening van de blootstelling zijn gebruikt

Tabel 2.2 Modelparameters bij berekening van de cadmiuminname door dieren

	Inname door dier		cadmiumgehalte	
	Eenheid	Symbool	eenheid	symbool
Ruwvoer weidegras+kuilgras	kg ds.dag ⁻¹	V ₁	mg Cd. kg ⁻¹ ds*	C ₁
Ruwvoer snijmaïskuil	kg ds.dag ⁻¹	V ₂	mg Cd. kg ⁻¹ ds	C ₂
Mengvoer	kg ds.dag ⁻¹	V ₃	mg Cd.kg ⁻¹ ds	C ₃
Water	liter.dag ⁻¹	V ₄	mg Cd. L ⁻¹ ds	C ₄
Grond(massa percentage d.s.aan gras)	kg ds.dag ⁻¹	V ₅	mg Cd. kg ⁻¹ ds	C ₅

*ds: op basis van droge stofgewicht.

Samenvatting berekening blootstelling

Volgens de bovenstaande formules en de gegevens in tabel 2.2 wordt de cadmiuminname (DI, Daily Intake, in mg cadmium per dag) door een dier dan berekend als (zie tabel 2.2 voor de betekenis van V en C):

$$DI \text{ (mg/dag)} = \sum V_x \times C_x \quad [3]$$

Aangezien de inname van gras, maïs en krachtvoer door de jaren heen sterk varieert tussen melkkoeien en weidekoeien wordt de totale cadmiuminname (TI, Total Intake) na een bepaalde periode (T= 5 jaar) berekend als:

$$TI \text{ (mg)} = \sum \Delta_t \text{ (dag)} \times DI \text{ (mg/dag)} \quad [4]$$

Hierbij wordt de opname van verschillende perioden (t) bij elkaar opgeteld. In geval van de runderen wordt onderscheid gemaakt in de periode van 0-1 jaar, van 1-2 jaar en ouder dan 2 jaar. Dit omdat melkvee in het tweede jaar vaak alleen weidegras eet. Omdat de inname van de verschillende innamebronnen sterk verschilt tussen de weideperiode en de periode op stal is ook onderscheid gemaakt in die twee perioden. De cadmiuminname na 5 jaren bij runderen is dus de optelling van 6 specifieke perioden (zomer en winter, voor elke leeftijdscategorie 0-1, 1-2 en >2 jaar). N.B. Bij een kortere of langere blootstelling of levensduur zullen de berekende gehalten in lever en nier dus navenant lager of hoger liggen.

De consumptie van grond is afhankelijk gesteld van de consumptie van gras door het gelijk te stellen aan een percentage van de consumptie van gras, dus bij 2% grond in gras is gesteld: $V_5 = 0.02V_1$ (noot: in de zomerperiode dus $0.04V_1$ omdat aangenomen wordt dat de hoeveelheid aanhangende grond in vers gras hoger is dan in stalvoer).

De gebruikte parameterwaarden staan in Bijlage 6 en zijn gebaseerd op de verzamelde gegevens in Bijlage 1-5.

2.2.3 Overdracht naar nieren en lever

Noot ten aanzien van de modelkeuze

Voor de berekening van de overdracht van metalen van voer, grond en water naar nieren en lever bestaan verschillende conceptmodellen. Op hoofdlijnen zijn er twee varianten. Dit betreft enerzijds de in de literatuur vaak toegepaste lineaire overdrachtcoëfficiënt (BTR, biotransfer rate) die er van uit gaat dat metalen vrijwel irreversibel accumuleren in de nieren en lever. Anderzijds bestaan er non-lineaire modellen die naast accumulatie ook excretie uit organen beschrijven. Dat betekent dat het cadmiumgehalte in een orgaan ook kan *dalen* indien het voer gedurende langere tijd geen of minder cadmium bevat. Dit is bij de lineaire modellen niet het geval. Dit is een cruciaal verschil omdat een berekend effect van maatregelen (bijvoorbeeld het voeren met schoon ruwvoer gedurende de winter) daardoor verschilt afhankelijk van de modelkeuze.

Voor het uitvoeren van deze studie is een analyse gemaakt van de beschikbare data om na te gaan welk modelconcept voor toepassing in de Kempen het beste is. Daarbij is op grond van de bestaande data van cadmium in de nieren een statistische analyse gemaakt waarbij beide concepten gebruikt zijn. Uit die analyse kwam geen eenduidige aanwijzing naar voren dat excretie van cadmium uit de organen in deze meegenomen moet worden voor de verklaring van de gehalten aan cadmium in de nieren (in de Kempen). Dat betekent niet dat dit proces (excretie) niet relevant is of in de modellering nooit aan de orde kan zijn, maar wel dat het voor de nu aanwezige data geen aanwijsbaar betere modelfit oplevert binnen de hier gebruikte range aan leeftijden van de dieren.

De kern van de discussie draait om de aanname in welke mate er excretie uit de organen kan plaatsvinden. In de BTR methode is deze excretie 0, dwz er vindt alleen accumulatie plaats. In andere modellen wordt wel met excretie gewerkt, die op termijn leidt tot het bereiken van een steady state. Bij snellere excretie kan het gehalte in de nier gedurende het leven van een dier zelfs dalen.

Op dit moment is op basis van de data geen eenduidige keuze te maken. Over de ontwikkeling van de gehalten aan cadmium in de nieren zijn verschillende elkaar tegensprekende publicaties in de literatuur te vinden:

- Steady state wordt bereikt in de proefperiode: Smith et al. (1991; melkvee), Houpert et al. (1995; ooiën, echter voor bloed!), Ma en v.d. Voet (1993, muizen).
- Afname van accumulatie in de proefperiode: Spierenburg et al. (1988; runderen, zie onder), Lee et al. (1996; schapen), Koh et al. (1998, runderen).
- Lineair verband tussen gehalte en leeftijd: Loganathan et al. (1999; schapen), Olsson et al. (2001; melkvee).
- Doorgaande (lichte) toename na afloop van de periode van blootstelling: Baxter et al. (1982; runderen), Roberts en Longhurst (2002; schapen).

Eén van de nadelen van de in dit rapport gebruikte bron (Crout et al., 2004) voor de afleiding van het modelconcept is dat deze is gebaseerd op een eenmalige toediening

van Cd. Dit bemoeilijkt uiteraard het trekken van een conclusie over het al dan niet optreden van een halfwaardetijd op langere termijn.

Uit de hierboven gepresenteerde literatuur blijkt echter ook niet dat er een duidelijke halfwaardetijd is, die kan leiden tot steady state. De resultaten geven echter aan dat een lineair verband tussen Cd gehalte in nieren en de leeftijd (zoals toegepast in dit rapport) ook niet in alle gevallen aangetoond wordt.

De data die in deze studie gebruikt worden om de BTR af te leiden (Spiereburg et al., 1988) kunnen uiteraard net zo goed gebruikt worden om een niet-lineair model dat rekening houdt met excretie te calibreren.

Uiteindelijk is gekozen voor de toepassing van de lineaire BTR. Deze is afgeleid van enkele goed gedocumenteerde experimenten in de literatuur. Het uiteindelijke afgeleide model (dat in dit rapport is toegepast) bleek in staat de waargenomen variatie in de gehalten in nier in de betreffende studie van Crout et al., (2004) goed te verklaren (zie ook het onderdeel modelvalidatie aan het einde van deze paragraaf).

Modelbeschrijving

Er is een kinetisch overdrachtmodel opgesteld voor de overdracht van Cadmium na een éénmalig intraruminale toediening van ^{109}Cd in het schaap. Dit model is gebaseerd op het werk van Beresford *et al.* (1999, 2001). Allereerst beschrijft het model transport van Cadmium door het maag-darmkanaal, de systemische opname over de darmwand en de uitscheiding via feces (99.5% totaal) en urine (0.45% totaal). Voor het resterende gedeelte (0.05% totaal) beschrijft het model de accumulatie van Cadmium in de weefsels als gevolg van de chemische binding aan metallothionine (MT). Weefsel-specifieke bindingsconstanten (waaronder die voor nier en lever) zijn gevonden door deze modelparameters te fitten aan de experimentele data uit de verschillende weefsels. Door vervolgens het model toe te passen op een situatie waarbij niet éénmalig, maar dagelijks wordt toegediend, kan de overdracht van intraruminaal toegediend Cadmium naar lever en nier van het schaap worden uitgerekend. Het model is vervolgens opgeschaald naar een overdrachtsmodel voor Cadmium in de lacterende koe. Het opgeschaalde model is vergeleken met data in Crout et al. (2004). I.t.t. deze onderzoekers komt het opgeschaalde model goed

overeen met de data. Dat de overdrachtberekening in het geval van Crout et al. minder goed uitkomt ligt zeer waarschijnlijk aan het feit dat Crout et al. veronderstelden dat al hun parameters (in hogere zin) ‘metabolisme’ van Cadmium beschrijven en de schalingsconstante voor metabolisme parameters bevat het lichaamsgewicht tot de macht $3/4$ ($Bw^{3/4}$). Evenwel, één gedeelte van de parameters beschrijft de doorloop in het maagdarmkanaal, het andere gedeelte chemische binding en een dergelijke opschaling met $Bw^{3/4}$ lijkt niet aan de orde te zijn.

Het blijkt dat de vorming van het Cadmium-MT complex zo sterk is dat er voor cadmium in tegenstelling tot Hg en As [Beresford et al. (1999, 2001)], alleen oplading van het complex optreedt (vrijwel geen desorptie). Dit heeft tot gevolg dat halfwaardetijden eerder in de orde van grootte van tientallen dan enkele jaren zullen

liggen. Voor de praktische toepassing binnen het kader van dit onderzoek betekent dat de Cadmium-MT binding zo goed als irreversibel is. Accumulatie in de weefsels kan daarom beschreven worden als de integraal van de totale dagelijkse opname gedurende een bepaalde periode. Nordberg en Kjellström (1979) bijvoorbeeld melden humane halfwaardetijden tussen de 10 en 30 jaar. Een van de consequenties van deze modelopvatting is dat de accumulatie van cadmium in lever en nier van het rund lineair met de leeftijd van de dieren toeneemt. Deze modelopvatting wordt gesteund door experimentele resultaten in onder andere Baxter et al. (1982) voor runderen en Sharma et al. (1982) voor runderen, varkens en leghennen. Het wordt ook ondersteund door statistische analyse van Cadmium-data in nieren van runderen verkregen in Nederland gedurende 1999 – 2004 (RIVM-RIKILT Front Office advies, dd. 10-08-2005, W. Slob, ‘Advies inzake de relatie tussen de herkomst van runderen en het gehalte cadmium in hun nieren’) en van Cadmium-data in nieren van runderen verkregen in 1984 in de Kempen. Deze observatie leidt tot de introductie van een biotransfer rate (BTR):

$$BTR (1/kg_{\text{weefsel}}) = \Delta C ((\text{mg} / \text{kgweefsel}) \text{ per dag}) / DI (\text{mg per dag}) \quad [5]$$

d.w.z. de dagelijkse toename van de concentratie gedeeld door de dagelijkse inname. Omgekeerd, als de BTR en de dagelijkse inname bekend zijn, kan de toename van de weefselconcentratie over een periode T bepaald worden door:

$$\Delta_T C (\text{mg} / \text{kg}) = BTR (1/\text{kg}) \times DI (\text{mg}/\text{dag}) \times T (\text{dag}) \quad [6]$$

Men kan zelfs een gemiddeld innamescenario gebruiken om op ieder tijdstip de weefselconcentratie uit te rekenen. Details, zoals geboorte en groei gedurende de eerste levensfase leiden ertoe voorzichtig te zijn met toepassing van zo'n accumulatiemodel voor jonge beesten. Maar voor runderen van 2 tot bijvoorbeeld 10 jaar is het, zeker gezien de enorme inter-individuele verschillen per subject en ook de verschillen per bedrijfsvoering, mede in het licht van de beperkte hoeveelheid data die ter beschikking staan (over 2004 van de 103 dieren slechts 9 uit de Kempen) een geschikte benadering van de problematiek. Zodoende zullen bij dieren van 10 jaar de gehalten uiteindelijk gemiddeld hoger ruwweg $2\times$ liggen dan bij dieren van vijf jaar.

Uit in de Bijlage 9 vermelde gegevens voor runderen en schapen ligt de BTR voor nieren in het rund zo tussen $0,4 - 10 \times 10^{-4}$ en die voor schaaft tussen 4 en 48×10^{-4} . Voor de scenarioberekeningen voor de Kempen gebruiken we een BTR van 2×10^{-4} bij de runderen, en een BTR van 20×10^{-4} bij schapen.

De in bijlage 9 gegeven studies waaruit een BTR is afgeleid, zijn zeer divers van aard. Deze geven daarmee wellicht een beeld van het bereik van de BTR die gehanteerd zou kunnen worden om de overdracht beschrijven. Uiteindelijk valt de hier toegepaste BTR binnen de range van de uit de data afgeleide waarden voor de BTR voor accumulatie van cadmium in de nieren [data CDI (1984) en Spierenburg et al. (1988)]. Deze BTR is daarmee waarschijnlijk representatief voor de vorm waarin cadmium in de Kempen door runderen opgenomen wordt (uit voer, water en grond). Niettemin varieert de (berekende) BTR ook binnen dergelijke datasets (tot een factor

25). Deze variatie in de BTR is een van de redenen waarom de uiteindelijke berekende waarden voor cadmium in de nieren beschouwd moeten worden als een beste *schatting* (gemiddelde) per gebied en niet als absolute waarde.

Modelvalidatie

Om na te gaan of de gekozen modelparameters (voedingspatronen, gehalte in voer en water) leiden tot realistische schattingen voor het gehalte aan cadmium in de nieren is een analyse gemaakt van de variatie in de voorspelde gehalten (Cd-nier) en het verloop in de tijd. Daartoe is het gehalte aan cadmium in de nieren voor scenario I t/m IV (alleen voor runderen) berekend gedurende een periode van 0 tot 5 jaar. Voor elke periode is het betreffende voedingspatroon gebruikt zoals beschreven in bijlage 6. Dit is gedaan voor drie gronden, met oplopend cadmium gehalte van respectievelijk 0,8, 1,5 en 2,5 mg kg⁻¹. Voor de pH is een waarde van 4,8 gebruikt wat een redelijk representatieve waarde voor de pH in grasland op zand is. Omdat de inname in scenario I t/m IV varieert als gevolg van de variatie in de kwaliteit (en hoeveelheid) van het ruwvoer, berekenen we daarmee een soort bandbreedte. Deze bandbreedte kunnen we vergelijken met de metingen uit de Kempen. De berekende waarden voor het cadmium gehalte in de nieren na 5 jaar variëren van 1,0 tot 8,4 mg kg⁻¹ op versgewicht (zie tabel 2.3).

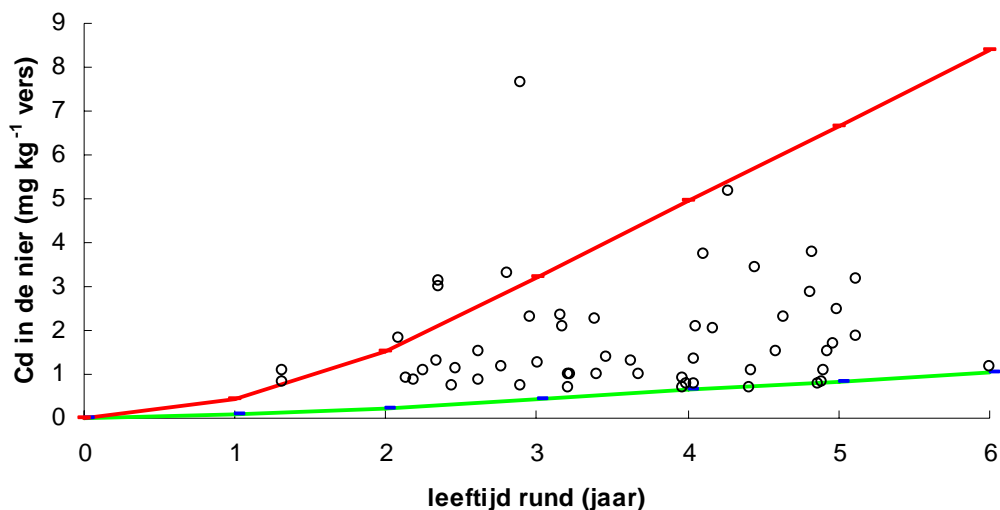
Tabel 2.3 Berekend verloop van de gehalten aan cadmium in de nieren bij verschillende gehalten in de bodem (BTR = 2 10⁻⁴).

scenario:	Cd bodem = 0,8 mg kg ⁻¹				Cd bodem = 1,5 mg kg ⁻¹			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	inname (mg jaar ⁻¹ periode ⁻¹)				inname (mg jaar ⁻¹ periode ⁻¹)			
0 - 1jr	584	584	356	356	1225	1225	689	689
1 - 2 jr	1348	1348	816	816	2879	2879	1613	1613
2 - 6 jr	2285	1652	1406	1001	4714	3528	2667	1978
Jaar	Cd in de nier				Cd in de nier			
1	0.12	0.12	0.07	0.07	0.25	0.25	0.14	0.14
2	0.39	0.39	0.23	0.23	0.82	0.82	0.46	0.46
3	0.84	0.72	0.52	0.43	1.76	1.53	0.99	0.86
4	1.30	1.05	0.80	0.63	2.71	2.23	1.53	1.25
5	1.76	1.38	1.08	0.84	3.65	2.94	2.06	1.65
6	2.21	1.71	1.36	1.04	4.59	3.64	2.59	2.04
scenario:	Cd bodem = 2,5 mg kg ⁻¹							
	I	II	III	IV				
	inname (mg jaar ⁻¹ periode ⁻¹)							
0 - 1jr	2248	2248	1219	1219				
1 - 2 jr	5340	5340	2889	2889				
2 - 6 jr	8568	6541	4661	3540				
jaar	Cd in de nier							
1	0.45	0.45	0.24	0.24				
2	1.52	1.52	0.82	0.82				
3	3.23	2.83	1.75	1.53				
4	4.94	4.13	2.69	2.24				
5	6.66	5.44	3.62	2.95				
6	8.37	6.75	4.55	3.65				

In figuur 2.3 is de onder- en bovengrens van deze berekende waarde gegeven evenals de metingen aan cadmium in de nieren uit Spierenburg et al. (1988). Uit deze figuur blijkt dat de modelvoorspellingen wat betreft orde van grootte goed overeenkomen met de werkelijk gemeten gehalten in de nieren. Uiteraard is het zo dat de hier toegepaste BTR ($2 \cdot 10^{-4}$) gekozen is op basis van de data uit de Kempen. De rest van de modelketen (berekening cadmium in ruwvoer, inname en fasering van de inname in de tijd) is echter gebaseerd op onafhankelijke data en modelconcepten. Het feit dat de waarnemingen binnen de bandbreedte van de modelvoorspellingen vallen geeft in ieder geval aan dat de modelvoorspellingen wat orde van grootte betreft realistisch zijn.

De rode lijn in figuur 2.3 is gelijk aan de berekende waarden voor scenario I uit tabel 2.3 voor een bodem met 2.5 mg kg^{-1} terwijl de groene lijn overeenkomt met de berekende waarden voor scenario IV bij een gehalte aan cadmium in de bodem van 0.8 mg kg^{-1} . De overige berekende waarden liggen tussen de hier getrokken lijnen.

Omdat het model niet is toegepast voor runderen van oudere leeftijd zijn deze data hier niet weergegeven, maar ook de gemeten waarden voor runderen van 6 tot 14 jaar blijven binnen de hier berekende bandbreedte.



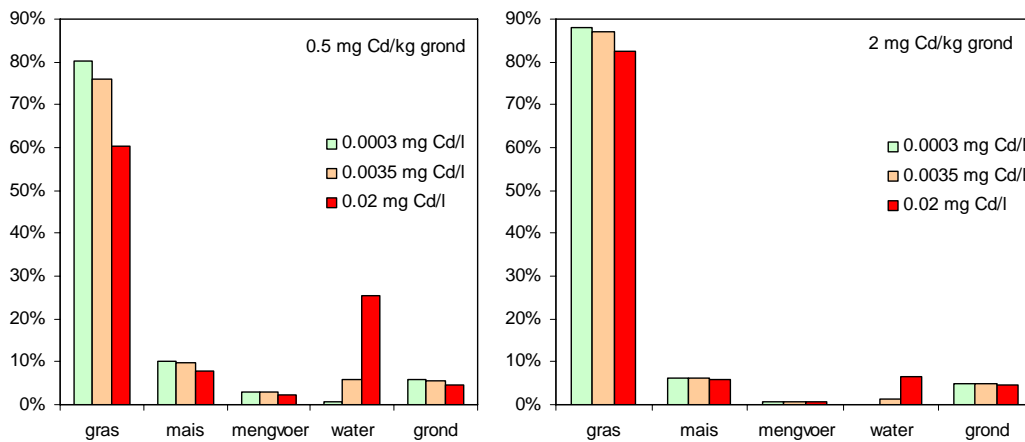
Figuur 2.3 Bandbreedte van modelberekende waarden (lijnen) voor cadmium in de nieren en data (o) uit de Kempen van Spierenburg et al. (1988).

3 Resultaten van de modelberekeningen

3.1 Blootstelling

Omdat getallen over de totale cumulatieve inname (mg Cadmium per koe over 5 jaar) niet veel zeggen en moeilijk beoordeeld worden, worden deze als zodanig hier niet vermeld (uiteraard zijn ze wel berekend en beschikbaar). Relevanter is te kijken naar de bijdrage uit verschillende bronnen en, uiteraard de berekende gehalten in de organen omdat die getoetst kunnen worden aan normen.

In tabel 3.1 is voor onderscheiden scenario's weergegeven hoe groot de bijdrage uit de verschillende bronnen (voer, grond, water) is. Daarbij is nog onderscheid gemaakt tussen gras en maïs. Dit is gedaan voor een 'typische' weidegrond uit de Kempen bij een pH van 5.0 en twee cadmiumgehalten in de bodem, namelijk 0.5 (dit is meer reëel aan de randen van de Kempen) en 2.0 wat overeenkomt met de sterker belaste bodems in het centrale deel. In deze analyse is onderscheid gemaakt tussen de 3 'waterscenario's' om na te gaan hoe de bijdrage van water aan de inname afhangt van de gehalten in de bodem. Samenvattend is in figuur 3.1 voor scenario 1.1 (hoogbelaste runderen met alleen voer uit de eigen regio) het effect van de verschillende bronnen van Cadmium op de totale inname grafisch weergegeven.



Figuur 3.1 bijdrage van de verschillende onderscheiden bronnen van cadmium aan de totale inname voor scenario 1 (hoog belaste melkkoeien) bij verschillende cadmiumconcentraties in het drinkwater (1.1 t/m 1.3); Linkerdeel voor licht verontreinigde bodem (Cadmium gehalte 0.5 mg kg⁻¹), rechterdeel voor een bodem met 2 mg kg⁻¹ cadmium (beide bij pH 5.0)

Tabel 3.1 Percentage bijdrage van gras, maïs, mengvoer, water en grond aan cadmium inname door dieren bij verschillende scenario's.

	bij 0.5 mg Cd/kg grond en pH 5 grond						bij 2 mg Cd/kg grond en pH 5 grond					
	Runderen				schaap	paard	Runderen				schaap	paard
	melk	weide	melk	weide			melk	weide	Melk	weide		
Drinkwater: mediaan regio van 0.3 µg Cd L ⁻¹												
scenario	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
Gras	80	92	76	89	90	89	88	94	84	90	94	94
Maïs	10	1	10	1			6	0.4	6			
Mengvoer	3	0.1	4	0.2	3	4	0.6	0.02	1.1	0.0	0.5	0.8
Water	0.7	0.5	1.0	0.8	0.6	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Grond	6	7	8	10	7	7	5	5	9	9	5	5
Drinkwater: gemiddelde van de regio van 3.5 µg Cd L ⁻¹												
scenario	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2
Gras	76	88	71	84	87	86	87	94	82	89	94	93
maïs	10	0.6	9	0.6			6	0.4	6			
mengvoer	3	0.1	4	0.2	3	4	0.6	0.02	1.1	0.04	0.5	0.8
water	6	4	8	6	3	4	1.3	0.9	2	2	0.7	0.7
grond	6	7	8	9	7	6	5	5	8	9	5	5
Drinkwater: hoog binnen regio is 20 µg Cd L ⁻¹												
scenario	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3
gras	60	74	53	66	76	74	83	90	75	83	91	90
maïs	8	0.5	7	0.5			6	0.4	6			
mengvoer	2.2	0.1	2.9	0.1	2.3	3.6	0.6	0.02	1.0	0.04	0.5	0.8
water	25	20	31	27	16	17	6	5	10	8	4	4
grond	5	6	6	7	6	6	5	5	8	9	5	5

De bijdrage via grond bedraagt, onafhankelijk van de onderscheiden scenario's, ongeveer 5 a 10%. Daarmee is de bijdrage van grond niet onbelangrijk, maar is ten opzichte van de inname via voer (en die van water in het extreme scenario) van minder belang. Tenslotte wordt opgemerkt dat de beschikbaarheid van het cadmium in de grond (hier is bedoeld de opname in de organen van het dier) wellicht ook lager is dan die uit gras of water. Dit aspect (mogelijke verschillen in beschikbaarheid tussen grond, voer en water) is overigens als zodanig niet meegenomen. Uit de verschillen in de waargenomen overdracht van cadmium uit verschillende bronnen (sludge, voer, zout; zie bijlage 7 voor details) blijkt overigens wel dat de beschikbaarheid inderdaad varieert met de vorm waarin cadmium opgenomen wordt. Toch zal ook dit voor grond en water niet heel belangrijk zijn, want een mogelijk hogere beschikbaarheid van een factor 2 zal bij een totale bijdrage (op de inname) van 5% of minder nog steeds geen groot verschil opleveren.

Voor de bijdrage van water aan de totale blootstelling kunnen daarom de volgende conclusies getrokken worden:

1. Wanneer schoon water gebruikt wordt, is de bijdrage van water aan de totale blootstelling minimaal en verwaarloosbaar ten opzichte van andere bronnen
2. Alleen indien sterk vervuild grond- of oppervlaktewater gebruikt wordt in gebieden met relatief lage gehalten aan cadmium in de bodem is de bijdrage van water hoog (bij $20 \mu\text{g L}^{-1}$ varieert de bijdrage voor runderen tussen 33 en 47%). Het is natuurlijk wel zo dat de kans dat in gebieden met normale cadmiumgehalten in de bodem, dergelijke sterk verhoogde gehalten in het water vóórkomen, klein is. Dat zou alleen kunnen gelden voor gebieden met lage pH (hoge zuurgraad) die dus een relatief laag gehalte in de bodem hebben maar door uitspoeling sterk verhoogde gehalten in het grondwater.
3. In geval van matig verontreinigd water (scenario met $3.5 \mu\text{g L}^{-1}$) is de bijdrage van water tamelijk gering (gelijk aan of lager dan 10%) en dan alleen nog maar in gebieden met relatief lage cadmiumgehalten in de bodem
4. In gebieden met cadmium gehalten in de bodem van meer dan 1 mg Cd kg^{-1} draagt inname via water bij gebruik van schoon tot matig vervuild water niet significant bij aan de totale inname.

In alle 'reële' scenario's blijkt, dat de inname via gras de belangrijkste factor is. Daarmee bestaat er dus een direct verband tussen de bodemkwaliteit enerzijds en de inname anderzijds omdat het gehalte in het gras sterk afhankelijk is van het gehalte in de bodem (en de zuurgraad van de bodem). In paragraaf 3.2 zullen daarom de kaartbeelden gepresenteerd worden voor een aantal scenario's.

3.2 Gebiedsdekkende uitwerking

3.2.1 Totale inname van cadmium

De uitwerking op gebiedsniveau wordt op twee manieren weergegeven: een samenvatting van de gemiddelde berekende inname (tabel 3.2 en 3.3) en de gehalten aan cadmium in de nier per gemeente (tabel 3.4) en een vlakdekkende weergave op

kaarten (figuur 3.2). Voor elk van de onderscheiden 18 scenario's (6 x 3 waterinname scenario's) kunnen dus bijbehorende kaarten gemaakt worden. Hier worden enkele van de meest relevante resultaten gepresenteerd.

Tabel 3.2 Voorspelde Cadmium inname door grazers in de Kempen (mg Cadmium per dag) bij gebruik van schoon- of kraanwater.

Scenario	1.1		2.1		3.1		4.1		5.1		6.1	
	runderen								schaap		paard	
	melkkoe		weidekoe		melkkoe		weidekoe					
	Gras en maïs van eigen bedrijf				In winter gras/maïs van buiten de regio							
Valkenswaard	4.6	3.6	2.9	2.2	0.09	2.6						
Waalre	2.5	1.9	1.7	1.3	0.05	1.4						
Nederweert	2.5	1.9	1.7	1.3	0.05	1.4						
Weert	3.2	2.5	2.1	1.6	0.06	1.8						
Heeze-Leende	2.6	2.0	1.8	1.4	0.05	1.5						
Cranendonck	5.0	3.9	3.0	2.3	0.10	2.7						
Bergeijk	4.2	3.3	2.6	2.0	0.08	2.3						
Overig	2.0	1.5	1.5	1.1	0.04	1.1						

In de grensgemeenten in de Kempen is de blootstelling van runderen, schapen en paarden verhoogd ten opzicht van de rest van zuidoost Brabant (overig).

Tabel 3.3 Voorspelde Cadmium inname door runderen in de Kempen (mg Cadmium per dag) bij gebruik van verschillende kwaliteit drinkwater ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Scenario	1.1	1.2	1.3
Cadmium gehalte	0.3	3.5	20
Valkenswaard	4.6	4.8	5.7
Waalre	2.5	2.6	3.5
Nederweert	2.5	2.6	3.5
Weert	3.2	3.4	4.3
Heeze-Leende	2.6	2.8	3.7
Cranendonck	5.0	5.1	6.0
Bergeijk	4.2	4.4	5.3
Overig	2.0	2.2	3.0

In gebieden met een verhoogde blootstelling aan cadmium via voer is de toename van de blootstelling als gevolg van de inname van al dan niet verontreinigd drinkwater gering. In gebieden zonder verhoogde cadmiumgehalten (zie overig) geeft het drinken van verontreinigd water een sterke toename van de blootstelling aan cadmium. Dit betekent dus ook dat buiten de Kempen, waar de gehalten aan cadmium in de bodem gemiddeld lager zijn, de kwaliteit van het drinkwater zeker van invloed kan zijn op de totale inname door dieren.

3.2.2 Cadmiumgehalte in nier

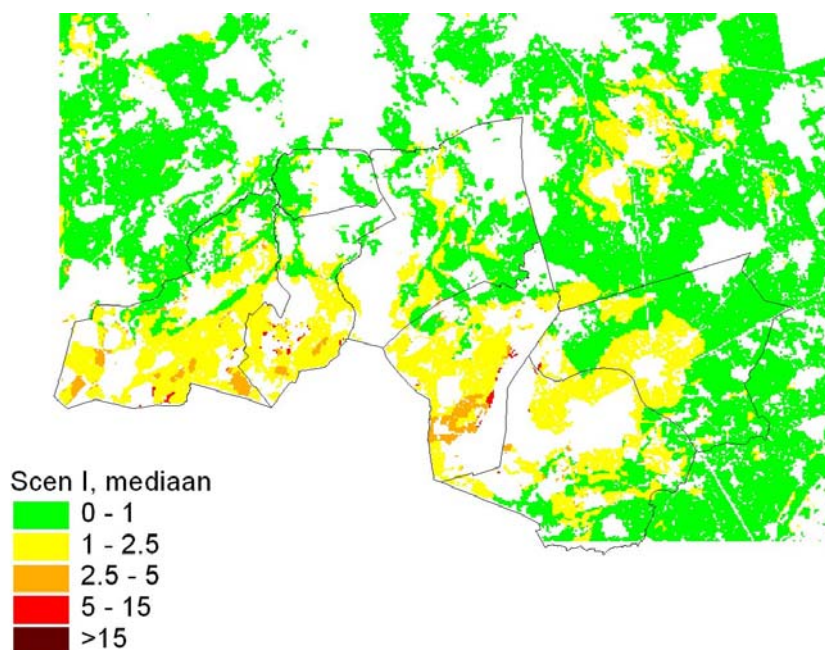
De opname van cadmium in de nier is hier berekend met een 'biotransfer rate' (BTR). Deze BTR waarden zijn afgeleid uit gecontroleerde experimenten met

runderen. Hierbij is vastgesteld dat de BTR waarde binnen een bepaald bereik liggen (zie paragraaf 2.2.3). In Tabel 3.4 staan de voorspelde Cadmium gehalten in de nieren voor de verschillende scenario's bij een veronderstelde BTR van 2×10^{-4} (-/kg) in runderen en 20×10^{-4} in schapen. In Figuur 3.2 is een vlakdekkende weergave te zien van het gebied waar volgens deze berekening de norm voor cadmium in de nier overschreden wordt (alleen voor scenario 1).

Tabel 3.4 Voorspelde gemiddelde Cadmium gehalten in nier (mg Cadmium per kg vers gewicht) (rond 5 jaar oud, schaap 1 jaar oud).

Scenario	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
	runderen				Schaap
	melkkoe weidekoe		melkkoe weidekoe		
	Gras en maïs van eigen bedrijf		In winter gras en buiten van buiten de regio		
Valkenswaard	1.7	1.3	1.0	0.8	0.3
Waalre	0.9	0.7	0.6	0.5	0.2
Nederweert	0.9	0.7	0.6	0.5	0.2
Weert	1.2	0.9	0.8	0.6	0.2
Heeze-Leende	1.0	0.7	0.7	0.5	0.2
Cranendonck	1.8	1.4	1.1	0.9	0.4
Bergeijk	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3
Overig	0.7	0.5	0.5	0.4	0.1

* De norm voor cadmium in de nier is 1,0 mg per kg nier op basis van versgewicht.



Figuur 3.2 Voorspelde cadmiumgehalten in nieren¹ volgens scenario 1 (norm: 1 mg Cadmium.kg⁻¹) bij runderen van 5 jaar oud. (Waterkwaliteit volgens scenario 1; 0.3 µg L⁻¹)

¹ Op basis van versgewicht

Uit figuur 3.2 blijkt duidelijk dat volgens de hier toegepaste methode de normen voor cadmium in nieren in een groot deel van de Kempen overschreden kunnen worden. De mate waarin varieert van licht (1 a 2.5 keer de norm) tot matig (2.5 a 5 keer de norm) voor het grootste deel van de Kempen. Slechts op enkele plekken worden forse normoverschrijdingen (> 5 – 15 keer de norm) voorspeld. De hier gepresenteerde modelberekeningen zijn echter geen absolute waarden in die zin dat voor alle koeien in een bepaald gebied geldt dat ze cadmium gehalten in de nier hebben zoals hier weergegeven. Zo zijn de hier gepresenteerde waarden (weergegeven als de ranges in figuur 3.2) 50% waarden. De werkelijke gehalten kunnen dus hoger of lager zijn dan de hier gegeven waarde al ligt de verwachtingswaarde wel in dezelfde orde van grootte.

De kans dat in het gebied dat hier als geel is weergegeven de norm wel overschreden wordt, is daarom relatief groot. Maar, en dat bleek ook al uit de bestaande data, in het algemeen geldt dat er zeker ook veel koeien zullen zijn waarbij de norm voor cadmium in de nier niet overschreden wordt. Deze (gele) gebieden zijn daarmee typisch gebieden waar niet met zekerheid gesteld kan worden waar en wanneer er een norm overschreden zal worden, maar dat er normoverschrijdingen zullen voorkomen, is wel zeker.

In de gebieden die oranje of rood zijn, mag er van uit gegaan worden dat de kans dat de norm overschreden wordt, zeer groot is.

De kaart zoals is weergegeven in figuur 3.2 kent een beperking, die wel in acht genomen moet worden. Dit betreft afwijkende omstandigheden zoals beschreven in bijlage 8. Dat betreft o.a. de voorspelling van het gehalte in de nier van runderen die in de beekdalen grazen. Omdat het echter kaarttechnisch lastig is dergelijk beekdalen op het hier onderscheiden schaalniveau weer te geven, is er voor gekozen om datapunten uit die beekdalen niet mee te nemen bij het maken van de kaart. Indien deze punten wel meegenomen zouden zijn heeft dat een enorm effect op de voorspelde gehalten in het gebied *buiten* het beekdal zelf. Omdat ook bekend is, dat de ernstige verontreiniging alleen daar voorkomt waar overstromingen plaatsvinden (het beekdal) geeft het meenemen van punten uit het beekdal een sterk vertekend beeld van de gehalten in de onmiddellijke omgeving. Dit toont echter wel aan, dat het huidige kaartbeeld en de methode die is gebruikt aan verbetering toe is omdat juist in deze beekdalen sprake is van verhoogd risico. Het verbeteren van het kaartbeeld was als zodanig echter niet een doel van deze studie. Bovendien is het probleem van de extreme cadmium verontreiniging in het Dommeldal en de mogelijke risico's voor runderen al apart bestudeerd (Römkens et al., 2006).

Het is bekend (Römkens et al., 2006) dat zowel in de bodem als in het gras van onder andere de Dommel extreem hoge gehalten aan cadmium aanwezig zijn. Bij deze gehalten zal de norm voor cadmium in de nier zonder enige twijfel overschreden worden. Om enig inzicht te geven in de verwachte gehalten in de nieren van runderen die in deze beekdalen grazen is een aantal scenario's doorgerekend. In tabel 3.5 staan de gemeten gehalten in de bodem en gewas evenals de berekende gehalten aan cadmium in de nier verwacht worden bij runderen van 5 jaar. Daarbij is

onderscheid gemaakt tussen dieren die het hele jaar in dergelijke gebieden grazen (scenario I) en dieren die in de winter op stal staan en daarbij schoon voer krijgen (scenario IV). De gehalten in de nier zijn berekend op basis van de combinatie van het gemeten gehalte in voer en bodem.

Tabel 3.5 Gehalten in de bodem en gras in de Malpiebeemden en de verwachte gehalten in nieren na 5 jaar (Scen. II= hoog belast; Scen IV= schoon voer in de winter)

	Cadmium (mg kg ⁻¹ ds)		
	min	mediaan	Max
Voer ¹	2.2	4.0	10.9
Bodem ¹	5.0	26.5	123.0
	Scen. II	Scen IV	
Cd-nier-min ²	7.0	3.9	
Cd-nier med.	14.6	8.6	
Cd-nier-max	44.8	28.2	

¹ data uit Römken et al. 2006

² gehalte in de nieren is op versgewicht (norm = 1 mg kg⁻¹ op vers gewicht)

De berekende gehalten in de nier na 5 jaar liggen ruim boven de norm, ongeacht of de dieren schoon voer krijgen gedurende de winter. De periode dat ze in de beekdalen grazen, levert al een dermate hoge belasting op dat de norm voor cadmium in de nier overschreden wordt. De voorspelde gehalten in de nier zijn echter niet zo hoog (zie ook paragraaf 3.6 en tabel 3.6) dat direct toxische effecten op zullen treden. Bij de hoogste belasting (Cd-voer 10.9/Cd-bodem 123) wordt een gehalte in de nier van 45 mg kg⁻¹ berekend. Hierbij is er wel van uit gegaan dat dit zogende koeien betreft. Koeien voor melkproductie liggen wat betreft de totale inname nog iets hoger (berekend maximale waarde voor Cd in de nieren voor melkkoeien is 53 mg kg⁻¹).

3.3 Gezondheid

De in deze studie berekende gehalten in nieren in runderen liggen grotendeels tussen van 0.5 tot 2 mg kg⁻¹ (gemiddeld). Waarden tussen 2 en 12 mg kg⁻¹ zijn echter ook berekend (zie figuur 3.2). Al deze waarden komen overeen met de eerder verrichte veldmetingen. Het hoogste gevonden cadmiumgehalte in de nieren van runderen was 7.6 mg Cadmium.kg⁻¹ fw en 1.2 mg Cadmium.kg⁻¹ fw in de lever (Spierenburg et al., 1988)). Door Underwood (1991) is een compilatie gemaakt van normale, verhoogde en toxische waarden voor cadmium in de lever en nier. (tabel 3.6). De vergelijking met de in deze studie berekende gehalten laat zien dat de gehalten aan cadmium in de nier in de Kempen inderdaad duidelijk verhoogd zijn ten opzichte van de normale range, maar dat er nog (lang) geen sprake is van toxische waarden.

Tabel 3.6 Overzicht van normale, hoge en toxische waarden voor cadmium in nieren en levers voor schaaap en rund (in mg kg⁻¹ vers gewicht bron: Underwood, 1991).

Orgaan	Cadmium gehalte in de organen		
	Normaal	Hoog	Toxisch
Nier	0.03 – 0.10	1 – 5	100 - 250
Lever	0.02 – 0.05	0.1 – 1.5	50 - 60

Er zijn zover bekend geen reviews van de toxische effecten van cadmium bij paarden (NRC, 2005).

De cadmiumgehalten in de Kempen zijn dus verhoogd, maar verre van toxisch. In oude literatuur zijn echter vele gevallen te vinden van toxische effecten van cadmium die al bij relatief lage gehalten in voer voorkomen (vanaf 3 mg Cadmium.kg⁻¹, Underwood, 1991). In die studies werden echter lage zink- en kopergehalten in voer gebruikt. Bij relatief licht verhoogde cadmiumgehalten in voer (1-5 mg Cadmium.kg⁻¹ voer dw, gehalten die dus niet toxisch zijn) treden echter wel effecten op bij runderen, geiten en schapen, onder andere verminderde koperopname in de lever (Underwood, 1991). Licht verlaagde kopergehalten zijn ook geconstateerd bij koeien in de Kempen (Spierenburg et al., 1988). Door de interacties van cadmium met andere elementen wordt meestal het cadmiumgehalte in de nieren gehanteerd als een maat. Schade aan de nieren zelf treedt echter pas bij hogere cadmiumgehalten op (zie tabel 3.5). De National Amerikaanse National Research Council (2005) heeft ‘maximal tolerance levels’ (MTL²) voor landbouwhuisdieren opgesteld en geeft een MTL voor cadmium in voer bij runderen, schapen en paarden van 10 mg.kg⁻¹ voer.

Epidemiologisch onderzoek in de Kempen in de periode 1984-1986 heeft geen aanwijzingen voor cadmium toxiciteit bij de runderen opgeleverd. Kessels et al., (1990) onderzochten bloed, melk, maaginhoud en de feces van koeien van zes bedrijven in de Kempen (n=83) en 3 bedrijven elders (n=44). Op basis van enige bloedparameters (hemoglobine en ijzer) was er een gering verschil tussen dieren uit de Kempen en dieren elders uit Noord Brabant. Bij verder onderzoek met kunstmatige hoge cadmium toedieningen aan vaarzen (Wentink et al, 1988; 1992) konden na 10 weken geen waarneembare afwijkingen worden geconstateerd ondanks cadmiumgehalten in de nieren van 11-114 mg Cadmium.kg⁻¹ fw.

De GD (Gezondheidsdienst voor Dieren) Noord-Brabant heeft in de periode 1976-1984 de fertiliteitgegevens van bedrijven in de Kempen vergeleken met bedrijven buiten de Kempen. De gegevens duiden op een iets lagere vruchtbaarheid van koeien in de Kempen dan elders (meer inseminaties per drachtigheid nodig, minder tweelingen geboren) en ook bleek het percentage moeilijke geboortes hoger (Kreis et al., 1993).

Het is onbekend of de situatie zoals die beschreven is voor 1984 door Spierenburg et al. (1988) veranderd is. Landelijke gegevens voor Duitsland (Kreuzer et al., 1991) geven aan dat de cadmiumgehalten van nieren na 15 jaar (periode 1972-1975 in

² MTL: gedefinieerd als een gehalte in voer die geen negatieve effecten laten zien op de gezondheid van dieren.

vergelijking tot periode 1987/1988) niet zijn gedaald. In het onderzoek van 1987/1988 (n=268) voldeed 8% van de nieren in Duitsland niet aan de norm van 1 mg Cadmium.kg⁻¹ fw. De cadmiumgehalten in mengvoeders lijken gedaald te zijn: Henkens (1983) geeft aan dat de cadmiumgehalten in mengvoeders voor rundvee rondom de 0.58±0.17 mg Cadmium.kg⁻¹ (n=15) lagen terwijl we nu een gehalte van 0.05 aannemen op basis van de huidige gegevens (Bijlage 3). Cadmiumgehalten in rundernieren lagen in de periode 1978-1980 (n=234) om en nabij de 0.47 mg Cadmium.kg⁻¹ fw (gemiddelde van medianen vanaf 1978 tot 1982; Van der Veen, 1983).

3.4 Mogelijkheden voor reductie orgaangehalten en adviezen

Verlaging van de opname van cadmium in de dieren via andere sporenelementen

Er zijn voldoende aanwijzingen dat de cadmiumretentie in een rund enigszins verlaagd kan worden door het verhogen van het Zn, Se, S en Mo gehalte in het voer. Onduidelijk is of dit voor de situatie in de Kempen soulaas biedt. De huidige S gehalten in Nederlands maïs en gras zijn naar schatting 1.0, 2.8 en 4 mg S.kg⁻¹ ds in resp. maïs kuil, vers gras en kuilgras (Commissie Onderzoek Minerale Voeding, 1991). Smith en White (1997) geven aan dat bij een verhoging van het S gehalte van 1.9 naar 5.9 mg S.kg⁻¹ ds de cadmiumaccumulatie in schapen tot 60% daalt. De Commissie Onderzoek Minerale Voeding acht 4 mg S.kg⁻¹ maximaal toelaatbaar. Bij een voedingspakket met veel maïs kan toediening van S, of krachtvoer dus nuttig zijn.

Toevoeging van zink (Phillips et al., 2004) ligt vanwege de al hoge gehalten in de Kempen niet voor de hand, maar is in theorie ook een mogelijkheid om de cadmiumretentie te verminderen.

Verlagen van cadmiumgehalten in voer

De opname van cadmium door verschillende grassoorten en maïsrassen verschilt aanzienlijk. De verschillen in opname van cadmium tussen de rassen liggen in de orde van grootte van een factor 2 tot 3. Het gebruik van een ras met lagere cadmiumopname is een mogelijkheid om de inname te verlagen.

Het opnemen van gewassen in het voedingspakket met lagere cadmiumgehalten (maïs i.p.v. gras) verlaagt daarmee de totale inname van cadmium door de dieren. Uit de scenarioberekeningen blijkt dat de cadmiuminname in het verontreinigde gebied voor zo'n 70-90% afkomstig is uit gras.

Aankoop van voer van buiten de regio.

Door (meer) maïs en gras van buiten de regio te betrekken in het bedrijf daalt de gemiddelde cadmiuminname door dieren. Dit betekent echter wel een extra kostenpost voor de boeren.

Adviezen

Verwijderen van orgaanvlees uit de voedselketen

Uit de modelberekening (en data) blijkt dat in een groot deel van de Kempen de kans bestaat dat de norm voor cadmium in nieren overschreden wordt. Dat betekent niet dat dit altijd en overal het geval is, maar normoverschrijdingen komen bij de huidige gehalten aan cadmium in de bodem en het (ruw)voer voor. Het verwijderen van de organen uit de voedselketen is daarmee effectief de beste manier om potentiële blootstelling te voorkómen. In Australië, waar men veel ervaring heeft met verhoogde cadmiumgehalte in dieren (Koh et al., 1998; Langlands et al., 1988; Roberts et al., 1994; Lee et al., 1996) wordt in twee staten standaard de nieren van runderen ouder dan 4 jaar verwijderd. Ook in Nieuw Zeeland worden de nieren van schapen ouder dan 2.5 jaar uit de voedselketen geweerd (MacLaughlin et al., 2000).

Kreuzer et al. (1991) suggereren dat het in Duitsland praktisch zou zijn om nieren van runderen ouder dan 3 of 4 jaren ongeschikt te verklaren voor humane consumptie, zoals ook het geval is bij paarden en fokzeugen. Indien men in Nederland, of alleen in de Kempen de nieren van dieren ouder dan 3 of 4 jaar ongeschikt voor consumptie zou verklaren, zal de kans dat producten die de norm overschrijden in de voedselketen komen, sterk afnemen.

Gebruik van 'schoon' ruwvoer van buiten de Kempen

De voorspelde gehalten in de nier bij gebruik van schoon voer in de stalperiode (winter) liggen (gemiddeld!) onder de norm in de hele Kempen (zie tabel 3.4; scenario 3.1 en 4.1) voor weidekoeien. Ook voor melkkoeien neemt de gemiddelde blootstelling met ongeveer 40% af indien gedurende de winter schoon voer gebruikt wordt. Juist omdat de blootstelling via gras (en in mindere mate maïs) de belangrijkste bron van cadmium vormt, kan deze maatregel erg effectief zijn.

Gebruik van schoon water (juist in gebieden met normale cadmiumgehalten in de bodem)

Het gebruik van leidingwater of diep grondwater voor veedrenking (zoals dat in de Kempen nu al veel gebeurt) in plaats van verontreinigd grond- of oppervlakte water leidt tot een relatief geringe, maar wel relevante afname van de inname van cadmium door dieren. In gebieden met (sterk) verhoogde gehalten aan cadmium in de bodem is de bijdrage van water echter gering. Deze maatregel is daarom met name in niet belaste gebieden (bodem) effectief.

Monitoring van de gehalten in orgaanvlees

Steekproefsgewijze monitoring van de cadmiumgehalten in lever en nieren is gewenst met name van dieren die grazen nabij de Dommel tussen Eindhoven en de Belgische grens. Zoals al eerder opgemerkt zijn de resultaten die in dit rapport staan niet representatief voor de inname en gehalten aan cadmium in de nieren van runderen die grazen in de sterk verontreinigde beekdalen. Op basis van de huidige kennis van de cadmiumgehalten in de bodem van het dal van de Dommel kan met grote zekerheid gesteld worden dat de normen voor cadmium in de nier zeker overschreden zullen worden indien koeien in deze gebieden grazen.

Vastleggen relatie leeftijd dieren en gehalte in de lever

De leeftijdsafhankelijkheid van de cadmiumgehalten in lever (en nier) is niet goed bekend. Leverbiopten van rundvee zijn relatief gemakkelijk en zonder veel risico voor het dier te nemen. Overwogen moet daarom worden op enkele geselecteerde bedrijven een leverbiopt te nemen van alle aanwezige dieren en daarin het cadmiumgehalte te bepalen, om zo een veel beter inzicht te krijgen van de invloed van de leeftijd op de cadmiumgehalten in de lever (en daarvan afgeleid van de nieren) en de variatie daarin. Dergelijke metingen, in aanvulling op bestaande data, zouden vooral verricht moeten worden bij dieren met een bekend voedingspatroon (inclusief de kwaliteit van het voerpakket). De grote waargenomen variatie in gehalten in lever en nier als functie van de leeftijd is deels te verklaren door variatie in inname. Gegevens over de inname zijn voor de nu bestaande dataset (gehalten in lever en nier) namelijk niet bekend.

Verbetering van de modelketen om nauwkeuriger schattingen te maken van de gehalten aan cadmium in de nieren

Onderzoek van het cadmiumgehalte in nieren en levers van runderen met een bekende historie (bedrijf, bodem, voer, gezondheid dier) levert een waardevolle bijdrage aan het verbeteren van het model dat hier is toegepast. Omdat het heel moeilijk is data van de hele keten te krijgen (bodem-gewas-dier) is het verrichten van metingen in dieren die op bijvoorbeeld proefstations en/of proefboerderijen gehouden worden de beste methode om de relatie bodem-gewas-dier te verbeteren. Deze data kunnen tevens dienen tot het verder uitwerken cq verbeteren van de overdrachtmodellering van cadmium van voer naar organen.

4 Conclusies

1. De inname van cadmium door runderen en schapen in de Kempen via voer, drinkwater en grond is in de Kempen duidelijk verhoogd ten opzichte van niet belaste gebieden;
2. De verhoogde inname leidt in een groot deel van de Kempen tot verhoogde gehalten in de nier en tot normoverschrijding. De mate waarin de Warenwetnorm voor cadmium bij een aangenomen belastingsduur van vijf jaar (3 lactaties) in de nier en lever overschreden wordt, varieert vermoedelijk van matig in een groot deel van de Kempen tot groot in een relatief klein gebied nabij de zinkfabriek in Budel Dorplein, het Dommeldal en langs de Belgische grens. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat dit beeld geldt voor koeien van 5 a 6 jaar. De gekozen modelbenadering impliceert dat naarmate de dieren ouder worden de gehalten in lever en nier verder toenemen. Of en zo ja in welke mate er afvlakking van de accumulatie optreedt bij oudere koeien is niet met zekerheid te zeggen op grond van deze data.
3. De berekende gehalten aan cadmium in de nieren zijn, volgens de huidige inzichten en de literatuur wel verhoogd, maar niet (direct) toxisch voor de dieren..
4. Geringe gezondheidseffecten vermoedelijk door de blootstelling aan cadmium van runderen zijn in het verleden vastgesteld maar er zijn geen aanwijzingen dat er op dit moment sprake is van een nadelig effect op het welzijn en/of de gezondheid van dieren. Een uitzondering vormen dieren die grazen op overstromde terreinen langs de Dommel en andere mogelijk sterk verontreinigde beekdalen, in de buurt van de zinkfabriek en langs de grens.
5. De inname via gras is de belangrijkste blootstellingsroute. Inname van water levert bij gebruik van dieper grondwater of leidingwater geen wezenlijke bijdrage. Indien verontreinigd (oppervlakte) water gebruikt wordt, is zeker bij lagere cadmiumgehalten in de bodem (lager dan 1 mg kg^{-1}) de relatieve bijdrage wel van belang
6. De berekening van de gebiedsdekkende cadmiumgehalten in de nieren gaat gepaard met onzekerheid. De onzekerheid wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de interactie van cadmium met andere elementen in het voer. Hierdoor zijn de absolute waarden van de voorspelde gehalten onzeker. Zie ook de verschillende waarden en de range daarvan voor de BTR van Cadmium naar nieren van runderen en schapen. Ook de leeftijd van de dieren en daarnaast de bedrijfsvoering vormen is een onzekere factor. Het model geeft wel heel duidelijk aan dat gemiddeld aanzienlijk hogere cadmiumgehalten in de nieren te verwachten zijn van runderen in de gemeenten Weert, Cranendonck, Valkenswaard en Bergeijk ten opzichte van de rest van de Kempen.
7. Het gebruik van schoon voer van buiten de regio is de meest effectieve maatregel om de blootstelling te reduceren ($\pm 40\%$) Het verwijderen van orgaanvlees uit de voedselketen (indien de blootstelling niet gereduceerd kan worden) is daarnaast de beste maatregel om humane blootstelling te reduceren.

8. Op grond van de beschikbare data uit de Kempen en die uit de literatuur blijkt dat beide modelconcepten (BTR versus niet lineair opname en excretie model) eenzelfde voorspellende waarde hebben binnen de hier gebruikte range en leeftijd van de dieren. Procesmatig verschillen de modellen echter nogal en het verdient aanbeveling om op basis van nieuwe data (monitoring) tot een beter onderbouwde modelkeuze te komen.

Literatuur

Baxter, J.C., B. Barry, D.E. Johnson and E.W. Kienholz (1982) Heavy metal retention in cattle tissues from ingestion of sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 11 (4): 616-620.

Beresford, N.A., R.W. Mayes, N.M.J. Crout, P.J. MacEachern, B.A. Dodd, C.L. Barnett and C.S. Lamb (1999) Transfer of cadmium and mercury to sheep tissues; *Environ. Sci. Technol.*, 33:2395-2402.

Beresford, N.A., N.M.J Crout, and R.W. Mayes (2001) Transfer of arsenic to sheep tissues. *J. Agr. Sci.*, 136:331-344.

Boer, M., en K.J. Hin (2003) Zware metalen in de melkveehouderij. Resultaten en aanbevelingen vanuit het project 'Koeien & Koeien', Rapport 16 uit serie van 'Koeien en Kansen', ASG/Praktijkonderzoek WUR, CLM-nr. 587-2003.

Brus, D.J., J. J. de Gruijter, D. J. J. Walvoort, F. de Vries, J. J. B. Bronswijk, P.F.A.M. Römken, and W. de Vries (2002) Mapping the Probability of Exceeding Critical Thresholds for Cadmium Concentrations in Soils in the Netherlands *J. Environ. Qual.*, 31:1875–1884.

CDI (1984). Cadmium-belasting van rundvee en kultuurgrond in Budel e.o. Centraal Diergeneeskundig Instituut, Lelystad, maart 1984.

Chiy, C. and H.M. Omed (2004) The effects of cadmium in feed, and its amelioration with zinc, on element balances in sheep. *J. of Animal Sci.*, 82: 2489-2502

Crout N.M.J., N.A. Beresford, J.M. Dawson, J. Soar, and R.W. Mayes (2004) The transfer of ⁷³As, ¹⁰⁹Cd and ²⁰³Hg to the milk and tissues of dairy cattle. *J. Agr. Sci.*, 142:203-212.

FAVV (2005) Verontreiniging van de voedselketen door zware metalen in de nabijheid van de bedrijfssites van Umicore Advies 01-2005. Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen, Brussel.

Fries, G.F., Marrow, G.S. and P.A. Snow (1982) Soil ingestion by dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 65:611–618

Green, N., D. Johnson, and B.T. Wilkins (1996) Factors affecting the transfer of radionuclides to sheep grazing on pastures reclaimed from the sea. *J. Environ. Radioactivity.* 30(2):173-183.

- Grift van der, B., G. Klaver en H. Passier (2006) Karakterisatie geochemische immobilisatie zware metalen in de Belgische ondergrond. TNO rapport 2006-U-R-0132/A, Utrecht.
- Groenenberg, J. E., J.C.L. Meeussen en J. Japenga (2003) Verificatie-onderzoek landbouw Krimpenerwaard SKB Gouda, SKB rapport SV-027.
- Healy, W.B. (1968) Ingestion of soil by dairy cows New Zealand. *J. Agr. Sci.*, 11:487-499.
- Heffron C.L., J.T. Reid, D.C. Elfving, G.S. Stoewsand, W.M. Haschek, J.N. Telford, A.K.Furr, T.F. Parkinson, C.A. Bache, W.H. Gutenmann, P.C. Wszolek, and D.J. Lisk (1980) Cadmium and zinc in growing sheep fed silage corn grown on municipal sludge amended soil. *J. Agr. Food Chem.*, 28(1):58-61.
- Henkens, H. (1983) Cadmium in meststoffen. *Bedrijfsontwikkeling* 14(6):484-489.
- Hill, J., B.A. Stark, J.M. Wilkinson, M.K. Curran, I.J. Lean, J.E. Hall, and C.T. Livesey (1998) Accumulation of potentially toxic elements by sheep given diets containing soil and sewage sludge. *Animal Sci.*, 67:73-86.
- Hinton T.G., J.M. Stoll, and L. Tobler (1995) Soil contamination of plant-surfaces from grazing and rainfall interactions. *J. Env. Radioactivity* 29(1):11-26.
- Hoof, van, W.F. (1995) Risico's voor de volksgezondheid als gevolg van blootstelling van runderen aan sporenelementen bij beweiding. RIVM rapp.nr. 693810 001, Bilthoven.
- Houpert, P., S. Mehennaoui, B. Josephenriquez, B. Federspiel, and G. Milhaud (1995) Pharmacokinetics of cadmium following intravenous and oral-administration to nonlactating ewes. *Vet. Res.* 26 (3): 145-154.
- Kemme, P.A., J.J. Heeres-van der Tol, G. Smolders, H. Valk, en J.D. van der Klis (2005a) Schatting van de uitscheiding van stikstof en fosfor door diverse categorieën graasdieren. ASG rapport 05/100653.
- Kemme, P.A., G. Smolders, J.D. van der Klis (2005b) Schatting van de uitscheiding van stikstof en fosfor door paarden, pony's en ezels. ASG rapport 05/101614.
- Kemme, P.A. en L.W.D. van Raamsdonk (2006) Grondstofsamenstelling van mengvoeders. Rapport ID-Lelystad 04/01162.
- Kessels B.G.F., Th. Wensing, G. H. Wentink and A. J. H. Schotman (1990) Clinical, Chemical and Hematological Parameters on Cattle kept in a Cadmium-Contaminated Area. *Bull. Env. Cont. Toxicol.*, 44:339-344.

Klaveren, J.D. van (1998) Programme for the quality of agricultural products (KAP): results residue monitoring in the Netherlands. Rikilt, Wageningen.

Koh T.S., P.C. Bansemer and A.B. Frensham (1998) A survey of the cadmium concentration in kidney, liver and muscle of South Australian cattle. *Austr. J. Exp. Agr.*, 38:535-540.

Kreis, I.A., M. de Does, J. A. Hoekstra, C. de Lezenne Coulander, P. W. J. Peters, and G. H. Wentink (1993) Effects of cadmium on reproduction, an epizootologic study. *Teratology* 48(3):189 – 196.

Langlands, J.P., G.E. Donald, and J.E. Bowles (1988) Cadmium concentrations in liver, kidney and muscle in Australian sheep and cattle. *Austr. J. Exp. Agr.*, 28:291–307.

Lee, J., J.R. Rounce, A.D. Mackay, and N.D. Grace (1996) Accumulation of cadmium with time in Romney sheep grazing ryegrass-white clover pasture: effect of cadmium from pasture and soil intake. *Austr. J. Agr. Res.*, 47:877–894.

Loganathan, P., K. Louie, J. Lee , M.J. Hedley, A.H.C. Roberts, and R.D. Longhurst (1999) A model to predict kidney and liver cadmium concentrations in grazing animals New Zealand *J. Agric. Res.* 42 (4): 423-432

Ma, W.C., and H. van der Voet (1993) A risk-assessment model for toxic exposure of small mammalian carnivores to cadmium in contaminated natural environments. *Sci. Total Environ. Suppl Pt 2*:1701-14.

McLaughlin M. J., R. E. Hamon, R. G. McLaren, T. W. Speir, and S. L. Rogers (2000) Review: A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Aust. J. Soil Res.*, 38:1037–1086.

National Research Council (Washington) Committee on Minerals and Toxic Substances, National Research Council (Washington) Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council (Washington) Division on Earth and Life Studies (2005) Mineral tolerance of animals - 2nd rev. ed., National Academies Press, Washington, DC.

Nordberg, G.F., and T. Kjellström. 1979. Metabolic model for cadmium in man. *Env. Health Persp.*, 28:211-217.

Olsson, I.M., S. Jonsson, and A. Oskarsson. (2001) Cadmium and zinc in kidney, liver, muscle and mammary tissue from dairy cows in conventional and organic farming. *J. Environ Monit.* 3(5):531-8.

Oomen, A.G. Janssen, P.J.C.M. van Eijkeren, J.C.H., Bakker, M.I., and A.J. Baars (2006) Cadmium in de Kempen: een integrale risicobeoordeling. RIVM rapport 320007 001/2006.

Philips C.J.C., P.C. Chiy., and E. Zachou (2005) Effects of cadmium in herbage on the apparent absorption of elements by sheep in comparison with inorganic cadmium added to their diet. *Env. Res.*, 99(2):224-234.

Rafferty, B., D.E. Dawson and P.A. Colgan (1994) Soil and radiocaesium contamination of winter fodders. *Sci. Tot. Env.*, 153:69-76.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römken en J. Japenga (2004) Onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. Alterra rapport 974, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römken, en J. Japenga (2005) Vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck, Alterra rapport 1167, Wageningen.

Rietra R.P.J.J., P.F.A.M. Römken, en J. Japenga (2006) Cadmium en zink in bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2005; vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem wortels en granen. Alterra rapport 1298, Wageningen.

RIVM-RIKILT Front Office Voedselveiligheid (2005) Aangevuld advies inzake cadmium en zink in dierlijke en plantaardige producten afkomstig uit de Brabantse Kempen. Bilthoven en Wageningen, 28-10-2005.

RIVM-RIKILT Front Office Voedselveiligheid (2005a) Cadmium en lood in landbouwgewassen in de Kempen, najaar 2005. Voedsel en Warenautoriteit, Den Haag, november 2005.

RIVM-RIKILT Front Office Voedselveiligheid (2005b). Advies inzake de relatie tussen de herkomst van runderen en het gehalte cadmium in hun nieren. Bilthoven en Wageningen, 10-8-2005.

RIVM-RIKILT Front Office Voedselveiligheid (2005c). Aangevuld advies inzake cadmium en zink in dierlijke en plantaardige producten afkomstig uit de Brabantse Kempen. Bilthoven en Wageningen, 16-1-2006.

Roberts A.H.C., R.D. Longhurst, and M.W. Brown (1994) Cadmium status of soils, plants and grazing animals in New Zealand. *New Zealand J. Agr. Res.*, 37:119-129.

Roberts, A.H.C., and R.D. Longhurst (2002) Cadmium cycling in sheep-grazed hill-country pastures. *New Zealand J. Agric. Res.* 45 (2): 103-112.

Römkens, P.F.A.M., G.W. Schuur, J.P.A. Lijzen, R.P.J.J. Rietra en E.M. Dirven- van Breemen (2004) Risico's van cadmium en lood in moestuinen in de Kempen. Alterra rapport 1129, Wageningen

Römkens P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra, J.P.A. Lijzen, P.F. Otte, en R.N.J. Comans (2004) Cadmium opname door gewassen in moestuinen in de Kempen: risico-inventarisatie en maatregelen. Alterra rapport 918, Wageningen.

Römkens P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra en F. Sival (2006) Cadmium in bodem en gewas in de Malpiebeemden te Valkenwaard. Alterra rapport 1299, Wageningen.

Ruttens, A., A. De Vocht en J. Vangronsveld (2004) Cadmiummetingen in nieren en vlees van runderen uit de regio Noord-Limburg en de Antwerpse Kempen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Openbare Afvalstoffenmaatschappij (OVAM). Limburgs Universitair Centrum, Centrum voor Milieukunde, België, 1 juli 2004.

Sharma, R.P., J.C. Street, J.L. Shupe, and D.R. Bouchier (1982) Accumulation and depletion of Cadmium and Lead in tissues and milk of lactating cows fed small amounts of these metals. *J. Dairy Sci.*, 65:972-979.

Smith, R.M., R.M. Leach, L.D. Muller, L.C. Griel, and D.E. Baker (1991) Effects of long-term dietary cadmium chloride on tissue, milk, and urine mineral concentrations of lactating dairy cows. *J. Animal Sci.*, 69:4088-4096.

Spiereburg Th.J., G.J. de Graaf, A.J. Baars, D.H.J. Brus, M.J.M. Tielen, and B.J. Arts (1988) Cadmium, zinc, lead, and copper in livers and kidneys of cattle in the neighbourhood of zinc refineries. *Environ. Monit. Assess.*, 11:107-114.

Tamminga, S., F. Aarts, A. Bannink, O. Oenema, and G.J. Monteny (2004) Actualisering van geschatte N en P excreties door rundvee. Reeks milieu en landelijk gebied no. 25.

Thornton, I., and P. Abrahams (1983) Soil Ingestion – A major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land. *Sci. Tot. Env.*, 28:287-294.

Van der Veen, N.G.(1983) Cadmium in dierlijke producten. *Bedrijfsontwikkeling* 14 (6):497-499.

Versteegh, J.F.M. en J.D. te Biesebeek (2003) De kwaliteit van het drinkwater in Nederland, in 2001. RIVM rapport 703719003, Bilthoven.

Vreman, K., N.G. van der Veen, E.J. van der Molen and W.G. Ruig (1986a) Transfer of cadmium, lead, mercury, and arsenic from feed into milk and various tissues of dairy cows: chemical and pathological data. *Neth. J. Agr. Sci.*, 34:129-144.

Vreman, K., N.G. van der Veen, E.J. van der Molen and W.G. Ruig (1986b) Transfer of cadmium, lead, mercury, and arsenic from feed into tissues of fattening bulls: chemical and pathological data. *Neth. J. Agr. Sci.*, 36:327-338.

Vries, de, F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland, en J. Denneboom (2003) De bodemkaart van Nederland digitaal; toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie. Alterra rapport 811, Wageningen.

VWA (2006a) Advies van de Directeur Bureau Risicobeoordeling, Risicobeoordeling zware metalen in de Kempen, Voedsel en Waren Autoriteit, Den Haag, 11 januari 2006.

VWA (2006b) Advies van de Directeur Bureau Risicobeoordeling, Advies inzake cadmium in de Malpiebeemden (Kempen), Voedsel en Waren Autoriteit, Den Haag, 20 juli 2006.

Wentink G.H., T. Wensing, A.J. Baars, H. van Beek, A. A.P.A. Zeeuwen and A.J.H. Schotman (1988) Effects of Cadmium on some clinical and biochemical measurements in Heifers. *Bull. Env. Cont. Toxicol.*, 40:131-138.

Wezel, A. van, W. de Vries, M. Beek, P. Otte, J. Lijzen, M. Mesman, P. van Vlaardingen, J. Tuinstra, M. van Elswijk, P. Römken, en L. Bonten. 2003. Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbodem. Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden. RIVM rapport 711701 031. Bilthoven.

Wilkinson, J.M., J. Hill, and C.J.C. Phillips (2003) The accumulation of potentially toxic metals by grazing ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 62:267-277.

Bijlage 1 Overzicht van relevante normen voor cadmium in voedermiddelen, dierlijke producten en (drink)water

Voedermiddelen

De meeste recente richtlijn:

Richtlijn 2005/87/EG van de Commissie van 5 december 2005 tot wijziging van bijlage I bij Richtlijn 2002/32/EG van het Europees Parlement en de Raad inzake ongewenste stoffen in diervoeding, wat lood, fluor en cadmium betreft.

Deze richtlijn vermeldt:

“(18) Cadmium is toxisch voor alle diersoorten. Bij de meeste soorten huisdieren, met inbegrip van varkens, die als de meest gevoelige soort worden beschouwd, is het onwaarschijnlijk dat ernstige klinische symptomen optreden, als de cadmiumconcentraties in de voeding onder 5 mg/kg diervoeder blijven”.

Bijlage 1 in deze richtlijn geeft voor Cadmium in voedermiddelen van plantaardige oorsprong een maximumgehalte in mg kg⁻¹ van de voedermiddelen, herleid tot een vochtgehalte van 12%, van 1 mg kg⁻¹

Melk, vlees, nieren en lever

De meeste recente richtlijn:

Richtlijn 2001/466/EG van de commissie van 8 maart 2001 tot vaststelling van maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen.

Stof	Betreft	Maximumgehalte (mg kg ⁻¹ vers gewicht)
Cadmium	Vlees van runderen en schapen	0.05
	Paarden	0.2
	Runder- en schapenlever	0.5
	Runder- en schapennieren	1.0
	Melk	Geen

Drinkwater

De meeste recente richtlijn:

Richtlijn 98/83/EG van de Raad van 3 november 1998 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. L 330/32.

Bijlage 1 in deze richtlijn geeft voor Cadmium: 5 µg L⁻¹

Bijlage 2 Gegevens voer- en wateropname

De verschillende scenario's om de blootstelling aan cadmium te berekenen, worden opgemaakt uit sterk verschillende voer- en wateropnamen van melkkoeien versus zoog- en weidekoeien (zie paragraaf 2.4). In onderstaande tabellen zijn de gebruikte hoeveelheden vermeld voor de verschillende dieren, seizoenen (winter en zomer elk 182.5 dagen) en leeftijdsklassen.

Tabel B2.1a Voeropnamegegevens melkkoeien > 2 jaar (Tamminga et al., 2004).

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totaal (kg jr ¹)	Zomer		Winter	
		Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)	Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Weidegras	1445	1445	7.9	0	0
Graskuil	2160	784	4.3	1376	7.5
Snijmaïskuil	1200	405	2.2	795	4.4
Standaard krachtvoer	1420	377	2.1	1043	5.7
Eiwitrijk krachtvoer	250	0	0	250	1.4
Vochtrijk krachtvoer	225	47	0.26	178	1.0
<i>Totaal</i>	6700	3058	16.8	3642	20.0

Tabel B2.1b Voeropnamegegevens melkkoeien: jongvee < 1 jaar.

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totaal (kg jr ¹)	Zomer		Winter	
		Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)	Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Weidegras (ds)	306	306	1.7	0	0
Graskuil (ds)	825	300	1.6	525	2.9
Snijmaïskuil (ds)	180	61	0.3	119	0.7
Standaard krachtvoer	165	44	0.2	121	0.7
Melk	355	162	0.9	193	1.1
<i>Totaal</i>	1831	873	4.8	958	5.2

Tabel B2.1c Voeropnamegegevens melkkoeien: jongvee 1-2 jaar.

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totaal (kg jr ¹)	Zomer		Winter	
		Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)	Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Weidegras	1500	1500	8.2	0	0
Graskuil	1300	0	0	1300	7.1
Snijmaïskuil	100	0	0	100	0.6
Standaard krachtvoer	116	0	0	116	0.6
<i>Totaal</i>	3016	1500	8.2	1516	8.3

Tabel B2.2 Voeropnamegegevens zoog- en weidekoeien (Tamminga et al., 2004).

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totaal (kg jr ⁻¹)	Zomer		Winter	
		Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)	Totale voeropname (kg)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Weidegras	1837	1837	10.1	0	0
Graskuil	1840	0	0	1840	10.1
Standaard krachtvoer	60	0	0	60	0.3
<i>Totaal</i>	3737	1837	10.1	1900	10.4

Opmerkingen:

Vochtrijk krachtvoer bestaat uit bierbostel, aardappelpersvezels en bietenperspulp in de verhouding ca. 25 : 50 : 50. Het betreft hier een gemiddeld Nederlands rantsoen. Tussen de regio's Noord en Zuid bestaan echter aanzienlijke verschillen. Er bestaat, o.a. afhankelijk van de weersomstandigheden, een grote variatie in de opname van vers gras tussen jaren.

Tabel B2.3 Voeropnamegegevens schapen (Kempe et al., 2005a)

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totale voeropname (kg jaar ⁻¹)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Weidegras (ds)	364	1.00
Graskuil (ds)	58	0.16
Hooi (ds)	19	0.05
Schapebrok (ds)	32	0.09
Lammerenkorrel (ds)	21	0.06
<i>Totaal</i>	494	1.36

Opmerkingen:

Het betreft hier een gemiddeld Nederlands rantsoen. Tussen de regio's Noord en Zuid bestaan echter aanzienlijke verschillen. Er bestaat, o.a. afhankelijk van de weersomstandigheden, een grote variatie in de opname van vers gras tussen jaren.

Tabel B2.4 Voeropname gegevens paarden (Kempe et al., 2005b)

Voeropname op jaarbasis (ds)	Totale voeropname (kg jaar ⁻¹)	Voeropname per dag (kg dag ⁻¹)
Vers gras	1132	3.1
Matig hooi	825	2.3
Goed hooi	313	0.86
Graszaadstro	212	0.58
Krachtvoer 1	376	1.0
Krachtvoer 2	43	0.12
Krachtvoer 3	66	0.18
<i>Totaal</i>	2967	8.1

Opmerkingen:

Het betreft hier een gemiddeld Nederlands rantsoen. Tussen de regio's Noord en Zuid bestaan echter aanzienlijke verschillen. Er bestaat, o.a. afhankelijk van de weersomstandigheden, een grote variatie in de opname van vers gras tussen jaren.

Vergelijking voerpatroon en voeropname 1984 met 2006.

De runderenpopulatie in Noord-Brabant omvatte rond 1984 vermoedelijk veel dieren met MRIJ bloed. Dit type dieren is in de afgelopen jaren vermoedelijk grotendeels vervangen door dieren met meer FH bloed, die zwaarder zijn maar efficiënter voer in melk kunnen omzetten. De elkproductie per dier ligt op dit moment in Noord Brabant boven het landelijk gemiddelde, vermoedelijk vooral door het aandeel snijmaïs in het rantsoen.

Een ruwe schatting op basis van landelijk gemiddelde verzameld door het LEI, is dat in deze twintig jaar de dieren ruim 20 % meer melk zijn gaan geven. Door de toegenomen efficiëntie van de melkproductie, is vermoedelijk de voeropname per dier echter maar met ca 10 % is gestegen. Deze verhoogde voeropname is dan voor een (klein) deel extra ruwvoeropname maar voornamelijk extra opname van krachtvoer.

Maïskuil was rond 1985 al een zeer belangrijk deel van het ruwvoer en dat is pas zeer recent door de derogatie (zie hieronder) aan het afnemen.

Vocht cq waterbehoefte melkvee

De vochtbehoefte van melkvee, schapen en paarden is –uiteraard – afhankelijk van een aantal factoren.

De belangrijkste daarbij zijn (voor runderen) melkproductie en omgevings-temperatuur. De wateropname van melkvee wordt in hoge mate bepaald door het vochtgehalte van het rantsoen en met name het ruwvoer deel. In extreme gevallen kan het vocht in de ruwvoercomponent de vochtbehoefte van de dieren bijna geheel dekken. In tabel B2.5 staan de waarden voor de in deze studie onderscheiden diersoorten in de verschillende scenario's.

Tabel B2.5 Vochtbehoefte voor runderen (melkvee) en ander vee (schaap/paard). Uit: Handboek melkveehouderij (2006), Handboek schapenhouderij (2006), Paard en Voer (2004)

Dier	Leeftijd	Productie (kg melk per koe per dag)	Vochtbehoefte (liter/dier/dag)
Rund/kalf	0 – 1	0	2 – 15
Rund/jongvee	1 – 2	0	15 - 35
Rund/zogend	> 2	0	30 - 60
Rund/melkvee	> 2	10	30 - 60
Rund/melkvee	> 2	20	80 – 100
Rund/melkvee	> 2	30	110 – 150
Rund/melkvee	> 2	40	140 - 200
Schaap/lam	< 1	nvt	1 – 2
Schaap/volwassen	> 1	nvt	4 – 6
Schaap/zogende ooi	> 1	nvt	8 - 12
Paard/volwassen	> 1	nvt	25 - 30

Een aantal jaren geleden is op het voer-emissie bedrijf van de Waiboerhoeve (WUR) de wateropname van de dieren gemeten. De totale koppel van melkkoeien en droge koeien bleek bij een melkproductie van 9500 kg melk/305 dagen (dwz ruim 31.1 kg/dier/dag) gemiddeld 80 l water/dier/dag op te nemen.

Voor de zoog- en weidekoe wordt aangenomen dat zo'n 45 liter water/dier/dag gedronken wordt.

Waterbronnen en voerpatroon Kempen

ASG is bezig in verband met de behoefte aan Cu en Zn voor runderen in de Kempen te inventariseren wat de voederpatronen zijn en welke waterbronnen er gebruikt worden.

De voorlopige resultaten (Gidi Smolders, persoonlijke mededeling juli 2006) geven aan dat vrijwel alle melkveehouders (>95 %) bronwater of leidingwater vertrekken aan hun dieren. De bronnen zijn vaak zeer diep (80-100m) en worden het meest gebruikt.

De ruwvoerverstrekking was vaak 60/40 snijmaïs en gras, maar verschuift duidelijk naar meer gras ivm derogatie en afvoer mineralen. Vermoedelijk ligt het in 2006 op 50/50 en de verwachting is dat op vrij korte termijn het richting 40/60 zal gaan.

Bijlage 3 Inname van cadmium via grond en gewas

Inname van grond door grazend vee

Schattingen van de inname van grond door vee zijn veelal slecht gekwantificeerd. Niet in de laatste plaats omdat het moeilijk te meten is wat de inname van grond werkelijk is. De consumptie van grond door dieren is deels doordat er grond op het blad zit (door opspatten bij regenval, door berijding met machines, door betreden), en doordat sommige dieren gras met wortels en aanhangende grond uit de grond trekken. Door deze factoren varieert de consumptie van grond afhankelijk van diersoort, van seizoen, jaar en mogelijk bodemtype (Hinton et al., 1995).

In scenarioberekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen de grondinname gedurende het seizoen dat begraasd wordt en het seizoen dat de dieren op stal staan. Op basis van het zeer beperkt aantal studies dat runderen betreft (Healy, 1968; Fries et al., 1982; Thornton, en Abrahams, 1983; Rafferty et al, 1994; Hooft, 1995) zijn voor de scenarioberekeningen voor de Kempen waarden van 2% aanhangende grond gebruikt (bij kuilvoer tijdens de stalfase) en 4% tijdens de weidefase. Het is namelijk aannemelijk dat de inname van grond hoger is tijdens de weidefase omdat tijdens het kuilen en verdelen van voer in de stal een deel van de grond van het voer gescheiden wordt.

Inname van cadmium via gewas door grazend vee

Uit eerder uitgevoerd onderzoek in de Kempen (Rietra et al., 2004, 2005) is gebleken dat de gehalten aan cadmium in verschillende gewassen te relateren zijn aan de pH van de grond, het organische stofgehalte van de grond en het cadmiumgehalte in de bodem. Voor de verschillende gewassen is onderstaande relatie gebruikt.

$$\text{Log}(\text{Cadmium-gewas}) = \text{Intercept} + a \cdot \log(\text{organische stof}) + b \cdot \text{pH} + c \cdot \log(\text{Cadmium-bodem}) \quad [1]$$

Met Cadmium-gewas en Cadmium-bodem in mg kg⁻¹ op droge stof basis, pH is pH CaCl₂ (0.01 M) Organische stof is bepaald op basis van gloeiverlies (in %). De gebruikte methoden zijn terug te vinden in de referenties. (Rietra et al., 2004, 2005). Uit de resultaten bleek dat voor gras de invloed van organische stof gering was en niet significant bijdroeg aan de verklaarde variantie. Daarom is voor gras alleen een model op basis van pH en het cadmium gehalte in de bodem gebruikt terwijl voor maïs tevens organische stof is meegenomen.

Tabel B3.1 Overzicht van de gebruikte regressiemodellen voor verschillende gewassen

Gewas	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	org. stof	pH	Cd-bodem			
	Intercept	a	b	c		
Gras (n=15)	1.57	0	-0.38	1.22	0.63	0.23
maïs(stengel+blad, n=22)	1.04	-0.26	-0.23	0.85	0.58	0.24

Bijlage 4 Grondstoffensamenstelling van mengvoeders voor melkvee

T(inmengingspercentage per kg vers product; n=237) Bron: Kemme & van Raamsdonk 2006

	Minimum	Maximum	Mediaan	Gemiddelde
Gerst	0.00	9.52	0.00	0.05
Mais	0.00	23.18	0.00	2.90
Rogge	0.00	10.00	0.00	0.20
Tarwe	0.00	26.44	0.00	1.23
Triticale	0.00	30.00	0.00	2.22
Granen	0.00	38.18	6.48	6.61
Tarwegries	0.00	20.00	0.00	5.03
Tarweglutenvoer	0.00	7.50	0.00	0.91
Graanbijproducten	0.00	20.00	1.31	5.94
Kokosschilfers	0.00	5.00	3.00	2.18
Maisglutenvoer	0.00	40.00	23.40	22.33
Palmpitschilfers	14.78	22.50	20.00	19.70
Raapzaadschroot	0.00	15.07	1.42	3.05
Sojaschroot	0.00	16.35	2.08	4.06
Zonnebloemzaadschroot	0.00	4.18	0.00	0.02
Sojahullen	0.00	20.00	0.00	5.29
Schilfers en schroten	41.95	83.66	53.49	56.64
Tapioca	0.00	15.00	0.00	1.06
Maniok	0.00	15.00	0.00	1.06
Grasmeel	0.00	7.50	0.00	0.35
Gras-/klaver-/lucernemeel	0.00	7.50	0.00	0.35
Bietenpulp	0.00	10.54	5.00	2.57
Gedroogde bietenpulp	0.00	10.54	5.00	2.57
Citruspulp	0.00	30.00	19.69	19.70
Citruspulp	0.00	30.00	19.69	19.70
Melasse. riet	2.96	4.00	3.00	3.49
Melasse	2.96	4.00	3.00	3.49
Vinasse	0.00	3.00	1.77	1.47
Vinasse (afvallen suikerindustrie)	0.00	3.00	1.77	1.47
Weipoeder/ Magere melkpoeder/ Dierlijke eiwitten				
Sojaolie/plantvet	0.00	1.00	0.00	0.04
Dierlijk vet	0.00	1.39	0.35	0.33
Vetten en oliën	0.00	1.39	0.50	0.36
Voerpeulvruchten/ Lupinezaad				
Lijnzaad	0.00	2.55	0.00	0.06
Sojabonen	0.00	2.95	0.00	0.12
Lijnzaad/oliezaden e.d.	0.00	2.95	0.00	0.18
Krijt	0.00	1.27	0.04	0.35
Zout	0.14	0.79	0.39	0.38
Premix	0.75	1.00	0.99	0.88
Magnesiumoxide	0.00	0.06	0.00	0.00
Diversen	0.99	3.02	1.42	1.62

Bijlage 5 Cadmiumgehalten in mengvoeders

In tabel B5.1 zijn voor een aantal typen mengvoeder de minimale, maximale en mediane gehalten aan cadmium weergegeven (KAP, (persoonlijke mededeling L. van Raamsdonk, Rikilt). Daaruit blijkt dat de mediane waarde voor mengvoeder voor rundvee rond de 0.05 mg kg⁻¹ ligt waarbij wel een aanmerkelijke spreiding is aangetoond. Omdat van de hier gepresenteerde monsters de herkomst niet bekend is, valt niet na te gaan wat de oorzaak van deze variatie is. Voor de berekening van de inname via mengvoer wordt daarom een constante waarde van 0.05 mg kg⁻¹ aangehouden.

Tabel B5.1 Cadmium gehalte in mengvoeders (mg.kg⁻¹) berleid tot 12% vocht

	2003				2004				2005			
	n	min	max	med.	n	min	max	med.	n	min	max	med.
rundvee aanv., algemeen	33	<0.02	1.200	0.069	0	-	-	-	14	<0.02	0.160	0.043
rundvee aanv., melkvee	8	0.028	0.061	0.052	6	0.025	0.200	0.062	5	0.037	0.890	0.043
rundvee aanv., vleesvee	3	0.068	0.100	0.082	3	0.044	0.058	0.048	5	0.048	0.100	0.052
rundveevoer, algemeen	1	-	-	0.074	3	<0.02	0.300	0.046	2	0.051	0.063	0.057
mineralenmengsel herkauwer	11	0.030	1.600	0.110	18	0.041	1.600	0.220	29	<0.02	1.100	0.180
varkensvoer, algemeen	11	<0.02	0.200	0.046	3	0.040	0.074	0.060	8	0.033	0.100	0.053
varkensvoer, eindvoer sl. Varkens	11	<0.02	0.082	0.050	7	<0.02	0.110	0.044	7	0.055	0.076	0.068
paardenvoer	0	-	-	-	0	-	-	-	3	0.067	0.270	0.240

De hieruit afgeleide waarde blijkt ook goed overeen te komen met gegevens uit andere bronnen. Deze rapporteren mediane gehalten van 0.04 mg kg⁻¹ (bijlage 2 in rapportage Koeien en Kansen).

Bijlage 6 Scenario's

Tabel B6.1 Overzicht van inname van verschillende voedermiddelen gedurende de onderscheiden fasen.

	Scenario	eenheid	I	II	III	III	IV	IV	V	VI
			Melkkoe	Zoog- en vleeskoe	Melkkoe	Melkkoe	Zoog- en vleeskoe	Schaap	Paard	
	weide en stal	dag/jaar	182.5/182.5	182.5/182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	292/73	292/73
<i>jongvee</i> <i>0-1 jaar</i> <i>weide</i>	inname ruwvoer weide+kuil gras	kg ds/dag	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	3.32	1.208	6.8
	inname ruwvoer snijmaïskuil	kg ds/dag	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0	0
	inname mengvoer	kg ds/dag	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.146	1.329
	water per dag	L/dag	7	7	7	7	7	7	5	27
	grond per dag	kg/dag	0.13/ 0.066	0.13/0.066	0.133	0.066	0.133	0.066	0.048/0.024	0.27/0.14
	Cd-ruwvoer gras+graskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.201	0.201	0.201	0.07	0.201	0.07	0.20/0.07	0.20/0.07
	Cd-ruwvoer snijmaïskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.177	0.177	0.177	0.07	0.177	0.07		
	Cd-mengvoer	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>jongvee</i> <i>1-2 jaar</i> <i>weide</i>	inname ruwvoer weide+kuil gras	kg ds/dag	8.219	8.219	8.219	8.219	8.219	8.219	1.208	6.8
	inname ruwvoer snijmaïskuil	kg ds/dag	0	0	0	0	0	0	0	0
	inname mengvoer	kg ds/dag	0	0	0	0	0	0	0.146	1.329
	water per dag	L/dag	25	25	25	25	25	25	5	27
	grond per dag	kg/dag	0.33/0.16	0.33/0.16	0.329	0.164	0.329	0.164	0.048/0.024	0.27/0.14
	Cd-ruwvoer gras+graskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.201	0.201	0.201	0.07	0.201	0.07	0.20/0.07	0.20/0.07
	Cd-ruwvoer snijmaïskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.177	0.177	0.177	0.07	0.177	0.07		
	Cd-mengvoer	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>volwassen</i> <i>n</i> <i>> 2 jr</i>	inname ruwvoer weide+kuil gras	kg ds/dag	12.22	10.07	12.22	12.22	10.07	10.07	1.208	6.8
	inname ruwvoer snijmaïskuil	kg ds/dag	2.217	0	2.217	2.217	0	0	0	0
	inname mengvoer	kg ds/dag	2.323	0	2.323	2.323	0	0	0.146	1.329
	water per dag	L/dag	80	45	80	80	45	45	5	27
	grond per dag	kg/dag	0.49/0.24	0.40/0.20	0.489	0.244	0.403	0.201	0.048/0.024	0.27/0.14
	Cd-ruwvoer gras+graskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.201	0.201	0.201	0.07	0.201	0.07	0.20/0.07	0.20/0.07
	Cd-ruwvoer snijmaïskuil	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.177	0.177	0.177	0.07	0.177	0.07		
	Cd-mengvoer	mg Cd.kg ⁻¹ ds	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

*aangenomen is dat gedurende de stalperiode de dieren kraanwater ontvangen

Bijlage 7 Beschikbaarheid van cadmium uit verschillende bronnen

Een belangrijke aanname is dat de beschikbaarheid van cadmium uit water bij runderen en schapen niet anders is dan beschikbaarheid van cadmium uit voer en grond. Recente studies (Prankel et al., 2004, Phillips et al., 2005) geven aan dat cadmium dat als eenvoudig zout (Cadmium nitraat, chloride, sulfaat) werd toegediend niet leidde tot hogere cadmiumopnames in nieren dan cadmium uit andere bronnen (slib, voer). Het gebrek aan effecten van vorm waarin cadmium wordt aangeboden is opvallend. Dit is een indicatie dat de systemische opname onafhankelijk is van de drager. Deze onafhankelijkheid zou begrepen kunnen worden door het feit dat herkauwers afwijken van dieren met één maag en dat bij herkauwers steeds veel voer in de maag aanwezig is zodat cadmium van water zich mengt met voer en grond. Dit wordt ondersteund door de experimentele data van Beresford *et al.* (1999) m.b.t. Cadmium gehalte in de maaginhoud.

Specifieke vergelijkingen tussen cadmium in vers slib en cadmium in bodem waaraan 15 jaar geleden slib is toegediend, laten zien dat de beschikbaarheid van cadmium in vers slib hoger is bij schapen (Hill et al., 1998a,b). De oorzaak van de verschillen is onbekend.

Vreman en anderen vergeleken de toediening van contaminanten aan voer als eenvoudig zout en verontreinigde slib. Hierbij lijkt de opname van cadmium uit slib lager. Hierbij worden dus wel nogal verschillende hoeveelheden Cu, Zn, Mo, S toegevoegd zodat een vergelijking eigenlijk niet mogelijk is. Het is namelijk bekend dat de overdracht van cadmium vanuit voer naar dierorganen beïnvloed wordt door elementen zoals Cu, Zn Mo, S maar ook door stoffen als vitamine C (Underwood, 1991).

Bijlage 8 Afwijkende omstandigheden

Schape op de heide

Op enkele plaatsen grazen schape op de heide. Degelijke omstandigheden wijken sterk af van de eerder gebruikte scenario's. Er zijn geen gegevens bekend van de cadmiumgehalten van heide, van organen van schape, of van faeces van schape die grazen op de heide.

Dommeldal

In het Dommeldal vanaf Neerpelt zijn sterk verhoogde cadmiumgehalten aangetroffen in de bodem en in het gras (Römken et al., 2006; database ABdK). De hoge cadmiumgehalten in bodem (tot 100 mg Cd.kg⁻¹) en gras (tot 10 mg Cd.kg⁻¹ dw) leiden tot een aanzienlijk hogere inname aan cadmium dan de eerder berekende cadmiuminname in scenario 1 t/m 6. Een recent advies (VWA, 2006b) geeft aan dat de risico's voor de diergezondheid verwaarloosbaar klein zijn maar dat langdurige begrazing van de meest verontreinigde percelen aanleiding kan geven tot overschrijding van de productnorm voor cadmium in de nieren. Het ten behoeve van dat advies gebruikte model om de overdracht van cadmium uit voer naar de nieren te berekenen wijkt af van het in dit rapport gebruikte model. In het advies wordt gesteld dat de cadmiumgehalten in de nieren zullen dalen gedurende de winter indien dieren in de winter schoon voer krijgen. In het huidige model wordt aangenomen dat de uitscheiding uit de nieren verwaarloosbaar klein is. Het effect van schoon voer in de winter is berekend in scenario 3 en 4 voor resp. melkkoeien en zoog- en weidekoe: het leidt tot ongeveer 40% lagere gemiddelde jaarlijkse inname van cadmium, en daarmee 40% lagere gemiddelde jaarlijkse Cadmium accumulatie in de nieren.

In de bodem en gras langs de Dommel is de verhouding cadmium tot zink veel hoger dan in de rest van de Kempen. Aangezien zink vaak genoemd wordt in de literatuur als factor met een remmende werking op de cadmiumopname door runderen en schape moet rekening gehouden worden met relatief hogere BTR waarden (relatief hogere cadmiumopname bij vergelijkbare cadmiumgehalten). Het is niet onderzocht of voor de Tungelroyse beek hetzelfde geldt als voor de Dommel.

Verschillen tussen bedrijven

Gerekend is met gemiddeld bedrijf en met runderen van 5 jaar oud en met schape tot 12 maanden oud. De leeftijd van dieren bij slacht varieert echter sterk. Tevens variëren bedrijven sterk. Bij voeding met specifieke voeders (bijvoorbeeld voederbieten of voer afkomstig van kruisbloemigen: hogere cadmiumgehalten), meer voer van eigen bedrijf, of oudere runderen kan de cadmiuminname door runderen hoger zijn.

Bijlage 9 Uit literatuur afgeleide BTR waarden voor nier en levers bij runderen en schapen

Procedure:

dA/dt	additionele dagelijkse inname van Cd = inname belaste koe - controle koe
dC	additionele concentratie (per kg versgewicht) van Cd in nier of lever = concentratie belaste koe - controle koe in nier/lever
dC/dt	dC gedeelt door de tijdsduur van het experiment = dC/dt (1 maand = 30.5 dagen)
BTR	biotransfer rate = (dC/dt) / (dA/dt) * kg ⁻¹ vers weefsel

Resultaten voor runderen

Tabel B9.1. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor runderen.

bron	matrix	hoeveelheid / dag (mg)	BTR nier × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)	BTR lever × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)
nModelberekenig ^a	Cd in oplossing intraruminaal	1	0.9	0.9
Sharma <i>et al.</i> (1982)	voer	43.2	5.6	2.3
Sharma <i>et al.</i> (1982)	voer	203.2	4.0	1.4
Baxter <i>et al.</i> (1982)	slib	63	Koe 5.7 Stier 6.1	3.2 3.1

a: model als in 2.2

Tabel B9.2 Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor lacterende koe (op basis van Vreman *et al.*, 1986a)

plaats	aantal dieren	Duur (maanden)	toediening	BTR nier × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)	BTR lever × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)
wei	4	3	Cd acetaat in krachtvoer	1.5	0.87
stal	2	28	Cd acetaat in krachtvoer	2.3	0.57
	1	28	Cd in havenslib in krachtvoer	2.0	0.15
	2	28	Cd in zuiveringsslib in krachtvoer	0.39	0.12

Tabel B9.3 Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor stieren (op basis van Vreman *et al.*, 1986b).

Trial	aantal dieren	Duur (maanden)	toediening	BTR nier × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)	BTR lever × 10 ⁻⁴ (kg _{weefsel} ⁻¹)
1	8	5	Cd acetaat in krachtvoer	6.2	2.3
2	6	6	Cd in havenslib in krachtvoer	5.0	1.8
2	5	6	Cd in zuiveringsslib in krachtvoer	2.5	1.1
3	8	11	Cd in 'fosfaat' in krachtvoer	9.9	4.6
4	6	11	Cd in 'fosfaat' in krachtvoer	8.5	2.7
4	6	11	Cd in maïs	8.6	2.6
4	6	11	Cd in 'fosfaat' in krachtvoer & in maïs	6.2	2.2

Samenvattend voor de runderen:

Het aantal geschikte studies is beperkt. De experimentele Cd BTR voor rundernieren ligt tussen 0.4 en 10×10^{-4} . In de scenarioberekeningen wordt een Cd BTR nier voor runderen van 2×10^{-4} gebruikt.

Resultaten voor schapen

Tabel B9.4. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor schapen (op basis van Hill et al., 1998a). Toediening: zuiveringslib (10%) is toegevoegd aan voer. Periode 1: 59 dagen, periode 1+2: 115 dagen.

Trial	aantal dieren	Periode 1 BTR nier $\times 10^{-4}$	Periode 1+2 BTR nier $\times 10^{-4}$	Periode 1 BTR lever $\times 10^{-4}$	Periode 1+2 BTR lever $\times 10^{-4}$
H1		14	7	16	2
H2		18	18	32	17
H3		16	19	15	25
M1		1	47	27	7
M2		36	37	68	63
M3		14	34	39	41
L1		48	48	70	12
L2		45	45	76	49
L3		17	13	36	22
gemiddeld		16	25	42	26

Tabel B9.5. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor schapen (op basis van Hill et al., 1998b). Toediening: grond (verouderd zuiveringslib, 10%) is toegevoegd aan voer. Periode: 84 dagen.

Trial	aantal dieren	BTR nier $\times 10^{-4}$	BTR lever $\times 10^{-4}$
Royston L	?	10	-
Royston M	?	6	-
Cassington L	?	9	-
Cassington M	?	11	-
Cassington H	?	10	-
Gemiddeld:		9.1	

Tabel B9.6. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor schapen (Hefron et al., 1980).

Trial	aantal dieren	duur	toediening	BTR nier $\times 10^{-4}$	BTR lever $\times 10^{-4}$
	?	274 dagen	Geoogste maïs van een sterk verontreinigde locatie	32	17

Tabel B9.7. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor schapen (Lee et al., 1996).

Trial	aantal dieren	duur	toediening	BTR nier $\times 10^{-4}$	BTR lever $\times 10^{-4}$
	10	25 mnd	Beweiding van verontreinigde locatie	26	6

Tabel B9.8. Afgeleide BTR waarden voor nier en lever (per kg vers gewicht) voor schapen (Van der Veen, 1986).

Trial	aantal dieren	duur	toediening	BTR nier $\times 10^{-4}$	BTR lever $\times 10^{-4}$
EP	8	14 weken	Gras en concentraat	9.8	8.8
EI	8	14 weken	Hooi en concentraat	8.1	6.9
HI	8	14 weken	Hooi en concentraat	4.1	3.5
SI	8	14 weken	Hooi en concentraat	4.2	5.7

Samenvattend voor het schaap:

Het aantal geschikte studies is beperkt. De experimentele Cd BTR nier voor schapen ligt tussen 4 en 48×10^{-4} . In de scenarioberekeningen wordt een Cd BTR nier voor schapen van 20×10^{-4} gebruikt.

