

Projectnummer: 771.525.01

Projecttitel: Radioactiviteit in Nederlandse veevoedergrondstoffen en –mengsels.

Periode 2002-2004

Projectleider: J. Hattink

Rapport 2007.012

juni 2007

## **Radioactiviteit in Nederlandse veevoedergrondstoffen en –mengsels. Periode 2002-2004**

J. Hattink

T.D.B. van der Struijs

Business Unit: Analyse & Ontwikkeling

Cluster: Bestrijdingsmiddelen & Contaminanten

RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid  
Wageningen Universiteit en Researchcentrum  
Bornsesteeg 45, 6708 PD Wageningen  
Postbus 230, 6700 AE Wageningen  
Tel: 0317-475422  
Fax: 0317-417717  
Internet: [www.rikilt.wur.nl](http://www.rikilt.wur.nl)

Copyright 2007, RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid is het niet toegestaan:

- a) *dit door RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid uitgebracht rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;*
- b) *dit door RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid uitgebracht rapport, c.q. de naam van het rapport of RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;*
- c) *de naam van RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.*

**Verzendlijst:**

- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (Bibliotheek, Directie VD, ir. R. Theelen)
- Voedsel en Waren Autoriteit (dr. K. Zwaagstra, dr. E. Schouten, dr. E.A. Bruinier)
- RIVM (ir. C. de Hoog, dr. H.A.J.M. Reinen, dr. P.J.M. Kwakman)
- Nederlandse Douane, Dienst Rotterdam (dhr. R. de Goede)

Bij de totstandkoming van dit rapport is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Tenzij vooraf schriftelijk anders overeengekomen aanvaardt RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid geen aansprakelijkheid voor schadeclaims die worden uitgebracht n.a.v. de inhoud van dit rapport.

## Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van het monitoringproject radioactiviteit in veevoedergrondstoffen en –mengsels over de periode 2002-2004. Binnen het project is gekeken naar gamma-emitterende artificiële en natuurlijke radionucliden.

De (langlevende) artificiële radionucliden  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57,60}\text{Co}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  en  $^{134,137}\text{Cs}$ , die vrijkomen bij nucleaire reactor ongelukken en/of nucleaire bom explosies, konden niet worden aangetoond (detectiegrens (~1 Bq/kg). Hiermee voldoen de bemonsterde partijen veevoedergrondstoffen en –mengsels aan de gestelde Europese eis voor humane voeding van 600 Bq/kg  $^{134,137}\text{Cs}$ .

Referentie: Verordening Eurotom nr. 2218/89 van 1989-07-18

Verordening Eurotom nr. 737/90

Verordening Eurotom nr. 616-2000

Aan natuurlijke radioactiviteit werd in vrijwel alle monsters het primordiale  $^{40}\text{K}$  aangetoond. De  $^{40}\text{K}$ -gehalten in vetten en oliën waren laag (<39 Bq/kg) of niet aantoonbaar. Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in minerale mengsels en voederfosfaten is sterk afhankelijk van de gebruikte grondstoffen (gehalten tot maximaal 225 Bq/kg zijn gemeten). Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in vismeel is tussen de 104 en 612 Bq/kg. Producten op basis van aardappel bevatten  $^{40}\text{K}$ -gehalten tussen de 78 en 225 Bq/kg, met uitzondering van zetmeel dat arm was aan  $^{40}\text{K}$ . Biet bevatte tussen de 140 en 454 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ , oliezaadpulp tussen 223 en 586 Bq/kg, palmpitschilfers tussen de 174 en 292 Bq/kg, citrus-pulp tussen de 118 en 371 Bq/kg, graan tussen de 150 en 300 Bq/kg, gras tussen de 389 en 946 Bq/kg, maïs tussen de 68 en 853 Bq/kg, soja tussen de 289 en 867 Bq/kg en tapioca tussen de 150 en 198 Bq/kg. Melkpoeder had een  $^{40}\text{K}$ -gehalte van 485 Bq/kg. Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in mengvoeders voor herkauwers was tussen de 224 en 635 Bq/kg, voor varkens tussen de 192 en 456 Bq/kg, voor pluimvee tussen de 144 en 384 Bq/kg en voor kweekvis tussen de 122 en de 492 Bq/kg.

Nucliden uit de natuurlijke uraan- en thorium-vervalreeks waren niet aantoonbaar. Enkel in een deel van de minerale mengsels (de calciumfosfaten) was een totale activiteit, als som van  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  ( $^{232}\text{Th}$ -verval serie) en  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{238}\text{U}$ -verval serie), van 13 tot 53 Bq/kg aanwezig.



## Abstract

This report describes the results of a monitoring program concerning radioactivity in cattle feed and its raw materials over the period 2002-2004. The program focused on gamma-emitting artificial and natural radionuclides.

The (long-lived) radionuclides  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57,60}\text{Co}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{125}\text{Sb}$  en  $^{134,137}\text{Cs}$ , formed by nuclear accidents and bomb detonations, could not be detected, (detection limits  $\sim 1$  Bq/kg). The sampled materials and complete feed mixture were in compliance with the European regulation for food i.e. below 600 Bq/kg  $^{134,137}\text{Cs}$ .

Referentie: Verordening Eurotom nr. 2218/89 van 1989-07-18

Verordening Eurotom nr. 737/90

Verordening Eurotom nr. 616-2000

Primordial  $^{40}\text{K}$  could be detected in almost all samples.  $^{40}\text{K}$ -activities of fat and oil were low ( $< 39$  Bq/kg), or not detectable. Mineral mixtures and phosphate minerals varied widely in their  $^{40}\text{K}$ -content, depending on the source used for production. Fish meal contained between 104 and 612 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ . Products based on potato had  $^{40}\text{K}$ -levels between 78 and 225 Bq/kg, except for starch which contained lower levels. Beet contained between 140 and 454 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ , oilseed pulp between 223 and 586 Bq/kg, palm kern pulp between 174 and 292 Bq/kg, citrus pulp between 118 and 371 Bq/kg, wheat between 150 and 300 Bq/kg, grass between 389 and 946 Bq/kg, maize between 68 and 853 Bq/kg, soybean between 289 and 867 Bq/kg and tapioca between 150 and 198 Bq/kg. The single sample of milk powder contained 485 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ . The  $^{40}\text{K}$ -concentration of complete cattle feed for ruminants between 224 and 635 Bq/kg, for pigs between 192 and 456 Bq/kg, for birds between 144 and 384 Bq/kg and for fish between 122 and 492 Bq/kg.

Nuclides from the natural uranium and thorium decay series could not be detected, except for part of the phosphate minerals. The total activity in these samples ranged from 13 to 53 Bq/kg, as sum of  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  ( $^{232}\text{Th}$ -decay series) and  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{238}\text{U}$ -decay series).



# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Materiaal en Methoden</b> .....	<b>8</b>
2.1 Bemonstering .....	8
2.2 Gamma-spectrometrie .....	8
2.3 Statistische verwerking en representatie van de gegevens .....	9
<b>3 Resultaten en Discussie</b> .....	<b>10</b>
3.1 Bemonstering en detectielimieten .....	10
3.2 Artificiële radionucliden .....	11
3.3 Natuurlijke radionucliden .....	12
3.3.1 Kalium-40 .....	12
3.3.2 Radionucliden uit de vervalreeks van $^{238}\text{U}$ en $^{232}\text{Th}$ (actiniden) .....	14
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>17</b>





# 1 Inleiding

Radioactiviteit is een natuurlijk verschijnsel. Door menselijke activiteit, zoals mijnbouw, energiewinning en agrotechnische activiteiten, wordt de natuurlijke achtergrond (plaatselijk) verhoogd en worden niet van nature aanwezige radionucliden in het milieu en de (humane) voedselketen gebracht. Natuurlijke radionucliden worden constant aangemaakt in de atmosfeer, zoals  $^{14}\text{C}$  en  $^3\text{H}$ , of zijn gevormd tijdens het ontstaan van de aarde, zoals  $^{40}\text{K}$  en de actiniden  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$ . De laatste twee nucliden vervallen naar een reeks van dochternucliden. Deze kosmogene en primordiale nucliden zijn altijd in een achtergrondconcentratie in de biosfeer aanwezig. Olie- en gaswinning, conventionele energiewinning uit kolen, mijnbouw en delfstofverwerking leveren een verhoging van natuurlijke radionucliden, m.n. actiniden, in de biosfeer en voedselketen. De nucleaire industrie (militair en civiel) brengt additioneel  $^{14}\text{C}$  en  $^3\text{H}$  in de biosfeer, naast de uitstoot van antropogene radionucliden, zoals  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ . De uitgevoerde bomdetonaties en in mindere mate kernreactorongelukken (vnl. het reactorongeval in Tsjernobyl, Oekraïne) bepalen de totale mondiale uitstoot van antropogene radionucliden. Echter, de uitstoot van nucleaire installaties kan de aanwezigheid van antropogene radionucliden lokaal bepalen, zoals in de Ierse zee ten gevolge van de nucleaire installaties in Sellafield, Engeland.

Veevoerders zijn een mogelijke bron van radionucliden voor de humane voedselketen. Naast primaire grondstoffen, zoals minerale mengsels en voedergewassen, worden ook reststoffen uit andere agrotechnische processen verwerkt tot veevoerders. Deze grondstoffen bevatten, afhankelijk van hun oorsprong, natuurlijke radionucliden, eventueel in verhoogde concentraties aanwezig als gevolg van het gebruikte productieproces. Daarnaast kunnen deze grondstoffen artificiële radionucliden bevatten ten gevolge van het productieproces of herkomst. Tijdens verwerking tot veevoedermengsel kan een concentratie plaats vinden.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het monitoringsprogramma radioactiviteit in veevoedergrondstoffen en – mengsels in de periode 2002-2004. Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in de radioactiviteitsniveau's en aanwezige radionucliden. De studie is exploratief van aard en de bemonsterde partijen zijn willekeurig genomen. Er is gekeken naar de niveau's van totaal radiocesium (de som van de activiteit aan  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ ) zoals aanbevolen door de Europese Unie (EURATOM 473/2000). Tevens is er gekeken naar een aantal andere radionucliden ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  en  $^{125}\text{Sb}$ ) die vrijgekomen zijn bij het kernongeval in Tsjernobyl in 1986 en/of de bovengrondse kernproeven in de jaren 1960-1965. Naast deze artificiële radioactiviteit omvatte het programma ook natuurlijke radionucliden, voornamelijk het primordiaal gevormde  $^{40}\text{K}$ , maar ook nucliden uit de vervalreeks van  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$ . Dit ter bepaling van natuurlijke en mogelijk verhoogde achtergrondniveau's en ter ondersteuning van mogelijke beleidsmaatregelen op het gebied van actiniden concentraties in veevoerders.

## 2 Materiaal en Methoden

### 2.1 Bemonstering

Monsters van mengvoeders en veevoedergrondstoffen werden genomen binnen het kader van andere op het RIKILT lopende monitoringsprogramma's. De bemonstering had tot doel exploratieve gegevens te verzamelen. Er heeft geen specifieke bemonstering voor radioactiviteit of een bepaalde groep radionucliden plaatsgevonden. Het aantal monsters was afhankelijk van de beschikbare monsters binnen het RIKILT voor dit monitoringprogramma. De steekproef is niet noodzakelijkerwijs representatief voor de aangevoerde, verbouwde of verwerkte grondstoffen en evenmin representatief voor de geproduceerde of gebruikte hoeveelheden veevoedermengsels.

### 2.2 Gamma-spectrometrie

De monsters werden geanalyseerd met behulp van niet-destructieve gamma-spectrometrie volgens NEN 5623. Er werden P-type germanium-detectors ("HPGe") gebruikt met een minimale efficiëntie van 40% zoals beschreven in ANSI/IEEE Std 325-1996. Kalibraties zijn uitgevoerd in 200 ml water in een beker met een totale inhoud van 250 ml, diameter 86 mm en een maximale hoogte van 58 mm. Voor kalibraties werd een verdunning van een NIST-traceerbare ijkbron met  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{103}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  en  $^{88}\text{Y}$  als radionucliden (Isotrak, gamma kalibratiebron QCYK8163) gebruikt. Dagelijks is deze kalibratie gecontroleerd via een kwaliteitsmeting met behulp van een NIST-traceerbare controle bron met  $^{137}\text{Cs}$  en  $^{60}\text{Co}$  (Isotrak, gemengd uit losse standaarden) in eenzelfde volume en geometrie. Indien een afwijking gevonden werd, is er een nieuwe kalibratie uitgevoerd.

Een 200 milliliter (deel)monster (tussen de 100 en 300 gram) werd afgewogen in recipiënten van dezelfde afmeting als gebruikt voor de kalibratie. Correcties voor dichtheid en vulhoogte werden verdisconteerd in een aangenomen 5% onzekerheid in deze parameters. Als teltijd is standaard 3600 seconden (1 uur) aangehouden.

De rapportagegrens zoals gedefinieerd in DIN 25482 is in dit rapport gebruikt als detectielimiet, met kans op eerste en tweede fouten op 5% gezet:

$$\rho_n^* = \frac{(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})}{g} \sqrt{\frac{\rho_0}{t} \left(1 + \frac{b}{2l}\right)} + \frac{(k_{1-\alpha} + k_{1-\beta})^2}{4tg} \left(1 + \frac{b}{2l}\right) \quad \{1\}$$

Met

$\rho_n^*$  de rapportage grens (detectie limiet) voor het bepaalde nuclide n in Bq/kg

$\rho_0$  het achtergrondsignaal voor het bepaalde nuclide n

t de werkelijke teltijd in seconden

g het gewicht van het monster in kg

b het aantal kanalen dat als breedte van de fotopiek genomen is

l het aantal kanalen voor en na de fotopiek, gebruikt voor het afschatten van het achtergrondsignaal

$k_{1-\alpha}$  de z-waarde behorende bij een kans van de eerste soort, waarin  $\alpha$  de kans hierop representeert

$k_{1-\beta}$  de z-waarde behorende bij een kans van de tweede soort, waarin  $\beta$  de kans hierop representeert

Waar er in dit rapport gesproken wordt over de detectielimiet, of afgekort D.L., wordt feitelijk de in vergelijking {1} gedefinieerde rapportagegrens bedoeld.

Om de validiteit van het gammaspectrum van een monster te bepalen is gebruik gemaakt van het natuurlijke  $^{40}\text{K}$  als interne standaard, daar dit nuclide in praktisch elk product aanwezig is. Indien  $^{40}\text{K}$  niet aantoonbaar was (voornamelijk in vetten en oliën) is een additionele kwaliteitsmeting met behulp van de controle standaard (een bron die  $^{137}\text{Cs}$  en  $^{60}\text{Co}$  bevat) na de meting van het product uitgevoerd.

### **2.3 Statistische verwerking en representatie van de gegevens**

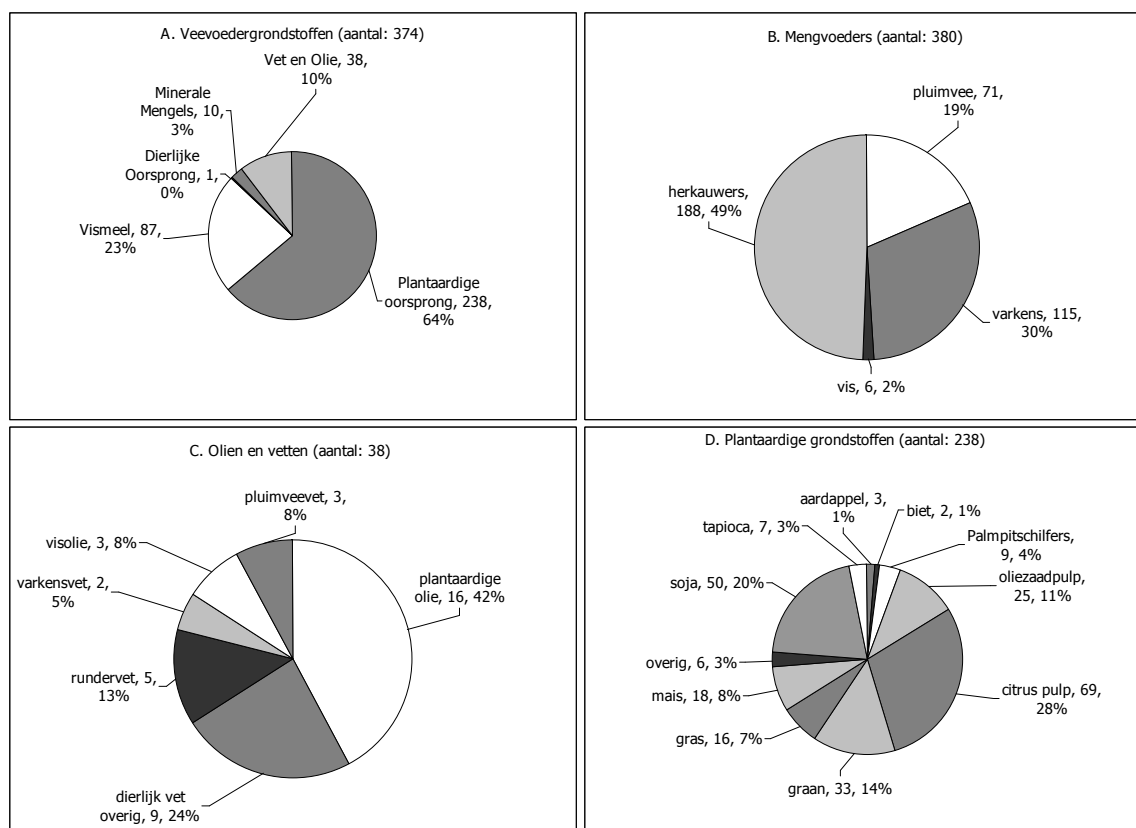
In dit rapport is er voor gekozen om onderscheid te maken tussen monsters waarin het bepaalde nuclide aantoonbaar is en monsters waarin de activiteit hiervan onder de detectielimiet valt. Het totale aantal monsters, en het aantal monsters van een product of productgroep dat een activiteit van een bepaalde nuclide bevat dat onder de detectielimiet valt, is gerapporteerd. De mediaan en bereik van de detectielimieten is voor alle monsters berekend.

Van de monsters waarin de activiteit boven de detectielimiet valt, werden per product of productgroep een rekenkundig gemiddelde en de spreiding tussen de onderlinge monsters berekend. De spreiding wordt gekarakteriseerd met de standaard afwijking van de groep (ook wel de “n-methode” genoemd), een normale verdeling aannemend.

### 3 Resultaten en Discussie

#### 3.1 Bemonstering en detectielimieten

In totaal zijn 374 monsters veevoedergrondstoffen geanalyseerd, verdeeld over de volgende productgroepen: i) vet en olie (10%), ii) minerale mengsels (3%), iii) grondstoffen van dierlijke oorsprong inclusief vismeel (23%) en iv) grondstoffen van plantaardige oorsprong (64%); zie ook Figuur 1. Uitsplitsing van grondstoffen van plantaardige oorsprong naar gewas of gewasgroep en “olie en vet” is tevens weergegeven in Figuur 1. Daarnaast zijn 380 mengvoeders geanalyseerd (zie Figuur 1), verdeelt in mengvoeders voor herkauwers (49%), varkens (30%), pluimvee (19%) en vis (2%).



*Figuur 1. Geanalyseerde aantallen veevoedergrondstoffen (paneel A) en veevoedermengsels (paneel B) en procentuele verdeling van de productgroepen in de periode 2002-2004. Een verdere onderverdeling van de veevoedergrondstof productgroepen “olie en vet” en “plantaardige grondstoffen” is gemaakt in respectievelijk paneel C en D.*

De detectielimieten voor elk radionuclide per monster zijn uitgerekend volgens vergelijking { 1 }, pagina 2 en samengevat in Tabel 1. De mediane detectielimiet voor totaal radiocesium was 2,5 Bq/kg maar varieerde tussen de 0,4 en de 14 Bq/kg, afhankelijk van de matrix (korrelgrootte en densiteit), en ingewogen gewicht. Voor de overige artificiële radionucliden was de detectielimiet in dezelfde orde als voor totaal radiocesium, namelijk tussen de 0,7 en de 4,1 Bq/kg. Ook hier geldt dat de detectielimiet voor elk individueel monster varieerde afhankelijk van matrix en ingewogen gewicht (zie Tabel 1).

De detectielimiet voor  $^{40}\text{K}$  lag rond de 3,0 Bq/kg, wat voldoende laag is om het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in de monsters, tussen de 100 en 600 Bq/kg, accuraat te bepalen. Deze eis is nodig gezien de additionele analytisch-chemische (meet-technische) functie die  $^{40}\text{K}$  in dit monitoringprogramma heeft.

Detectielimieten voor de gevolgde dochters uit de natuurlijke vervalreeks van  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$  lagen tussen de 1,3 en 11,5 Bq/kg (zie Tabel 1).

Nuclide	Halfwaarde Tijd (jaren)	detectielimiet (Bq/kg)	
		Mediaan	Bereik
<i>Artificiële radionucliden</i>			
$^{54}\text{Mn}$	0,85	0,7	0,1-6
$^{57}\text{Co}$	0,74	1,1	0,1-4
$^{60}\text{Co}$	5,3	1,0	0,2-11
$^{103}\text{Ru}$	0,1	0,9	0,1-5
$^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$	1,0	4,1	0,9-28
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	0,7	1,0	0,2-7
$^{125}\text{Sb}$	2,5	3,4	0,8-27
$^{134}\text{Cs}$	2,1	1,3	0,3-6
$^{137}\text{Cs}$ - $^{137\text{m}}\text{Ba}$	30,2	1,2	0,1-8
<i>Totaal radiocesium</i>		2,5	0,4-14
<i>Natuurlijke radionucliden</i>			
$^{40}\text{K}$	1,3 $10^9$	3,0	1-44
<i>Dochters uit de thorium-232 vervalreeks</i>			
$^{208}\text{Tl}$		1,3	0,1-14
$^{212}\text{Pb}$		3,5	0,2-13
$^{212}\text{Bi}$		11,5	0,6-88
<i>Dochters uit de uraan-238 vervalreeks</i>			
$^{214}\text{Pb}$		4,5	0,3-19
$^{214}\text{Bi}$		6,7	1,1-70

Tabel 1. Detectielimieten van de onderzochte radionucliden in de geanalyseerde veevoerders en veevoedergrondstoffen.

### 3.2 Artificiële radionucliden

De concentratie van totaal radiocesium lag onder de detectielimiet voor alle veevoedergrondstof- en mengvoedermonsters (zie Tabel 2). Deze metingen suggeren dat in Nederland geproduceerde en verhandelde veevoerders voldoen aan de Europese eis voor humane voeding van 600 Bq/kg. Een meer gedetailleerd beeld betreffende potentiële normoverschrijdingen of significant aanwezige radiocesium concentraties, mogelijk leidend tot opstapeling in de humane voedselketen, kan met dit programma niet verkregen worden, aangezien niet specifiek gekeken is naar producten uit mogelijke risicogebieden (zoals in Europa de Oekraïne, Polen, Zweden of Ierse zee) of naar risicoproducten (zoals bessenpulp, paddenstoelenresten of zeewier).

Concentraties van andere artificiële radionucliden ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57,60}\text{Co}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  en  $^{125}\text{Sb}$ ) lagen onder de detectielimiet voor alle monsters (zie Tabel 2). Dit is te begrijpen gezien de half-waarde tijden van deze nucliden en de verstreken tijd na de laatste mondiaal relevante lozing of ongeval waarbij radionucliden in het milieu zijn gebracht. De voornaamste reden om deze nucliden mee te nemen in het monitoringprogramma was aansluiting op de bestaande monitoringgegevens en monitoring van mogelijke opstapeling in een aantal belangrijke producten, met name vis, als gevolg van gecontroleerde lozingen.

### 3.3 Natuurlijke radionucliden

#### 3.3.1 Kalium-40

Kalium-40 is in vrijwel alle producten van biologische oorsprong aantoonbaar (zie Tabel 2). Natuurlijk kalium bevat 30 Bq/g  $^{40}\text{K}$ . In vet en olie is kalium niet oplosbaar, en sporen kalium in deze grondstoffen zijn, indien aanwezig, afkomstig van vlees- of plantresten aanwezig in de geanalyseerde vetten en oliën die over het algemeen van industriële kwaliteit zijn (zie Tabel 2 en Figuu).

De aanwezigheid van  $^{40}\text{K}$  in minerale mengsels kan een natuurlijke oorsprong hebben, zoals in calciumfosfaten waar het gebruikte erts, zuiverheid en productieproces invloed hebben op het kalium gehalte. In complete minerale mengsels is kalium vaak als mineraal toegevoegd.

Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in plantaardige producten is sterk afhankelijk van het gewas (zie Figuur), hetgeen de grote spreiding binnen de productgroep verklaart (Figuu). Producten op basis van aardappel bevatten  $^{40}\text{K}$ -gehalten tussen de 78 en 225 Bq/kg, biet tussen de 140 en 454 Bq/kg, oliezaadpulp tussen 223 en 586 Bq/kg, palmpitschilfers tussen de 174 en 292 Bq/kg, citrus-pulp tussen de 118 en 371 Bq/kg, graan tussen de 150 en 300 Bq/kg, gras tussen de 389 en 946 Bq/kg, maïs tussen de 68 en 853 Bq/kg, soja tussen de 289 en 867 Bq/kg en tapioca tussen de 150 en 198 Bq/kg (zie Figuu en Figuur). In een klein aantal van de monsters uit deze groep was geen  $^{40}\text{K}$  aantoonbaar, hetgeen terug te voeren is naar het product zelf (zetmeel) of het productieproces waarin het product, eventueel als reststof, wordt geproduceerd.

In vismeel varieerde het  $^{40}\text{K}$ -gehalte tussen de 104 en 612 Bq/kg (Figuu). Vismeeel is een verzamelnaam voor vis, schaal en schelpdierproducten en –reststromen. De variatie aan producten verklaart de spreiding van het  $^{40}\text{K}$ -gehalte. In een aantal monsters was geen  $^{40}\text{K}$  aantoonbaar. Dit is terug te voeren op de samenstelling van deze monsters, die voornamelijk een reststroom uit de schaaldier verwerkende industrie bevatten. Het uitwendige skelet van schaaldieren is van nature arm aan kalium en dus ook aan  $^{40}\text{K}$ .

Tabel 2. Concentratie radionucliden in veevoedergrondstoffen en mengvoeders in Bq/kg over de periode 2002-2004. De standaard deviatie (s.d.) is berekend over de monsters met een gehalte boven de detectielimiet (D.L.). Het aantal monsters dat beneden de detectielimiet valt ( $\# < D.L.$ ) en het totaal aantal monsters ( $n$ ) van een bepaald product of productgroep is gegeven. De gemeten nucliden uit de  $^{232}\text{Th}$ - en  $^{238}\text{U}$ -verval serie ( $\Sigma(^{238}\text{U}, ^{232}\text{Th}$ -serie)) zijn  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  ( $^{232}\text{Th}$ -verval serie) en  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ( $^{238}\text{U}$ -verval serie). Radiocesium is gedefinieerd als de som van de activiteit aan  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$ . Indien er andere radionucliden, met name  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57,60}\text{Co}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$  en  $^{125}\text{Sb}$ , in het een product of productgroep voor kwam, is dit vermeld in de kolom "radionuclide, "-": geen ander radionuclide aantoonbaar.

Productgroep	Natuurlijk radionucliden		Artificiële radionucliden	
	$^{40}\text{K}$	$\Sigma(^{238}\text{U}, ^{232}\text{Th}\text{-serie})$	radiocesium	Overig (nuclide)
<b>Grondstoffen</b>				
Vet en olie	17 ± 9	<D.L.	<D.L.	<D.L.
dierlijk vet overig	18 ± 10	<D.L.	<D.L.	<D.L.
plantaardig	14 ± 4	<D.L.	<D.L.	<D.L.
pluimveevet	31 ± 12	<D.L.	<D.L.	<D.L.
rundervet	14 ± 4	<D.L.	<D.L.	<D.L.
varkensvet	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
visolie	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Minerale mengsels	99 ± 96	<D.L.	<D.L.	<D.L.
calciumfosfaten	83 ± 47	17 ± 20	<D.L.	<D.L.
overig	114 ± 157	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Dierlijke oorsprong	316 ± 110	<D.L.	<D.L.	<D.L.
melk	485	<D.L.	<D.L.	<D.L.
vismeel	314 ± 109	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Plantaardige Oorsprong	350 ± 238	<D.L.	<D.L.	<D.L.
aardappel	145 ± 96	<D.L.	<D.L.	<D.L.
biet	297 ± 157	<D.L.	<D.L.	<D.L.
citrus pulp	288 ± 88	<D.L.	<D.L.	<D.L.
graan	149 ± 148	<D.L.	<D.L.	<D.L.
gras	708 ± 148	<D.L.	<D.L.	<D.L.
mais	318 ± 212	<D.L.	<D.L.	<D.L.
oliezaadpulp	438 ± 109	<D.L.	<D.L.	<D.L.
overig	608 ± 612	<D.L.	<D.L.	<D.L.
palmpitschilfers	218 ± 32	<D.L.	<D.L.	<D.L.
soja	664 ± 113	<D.L.	<D.L.	<D.L.
tapioca	168 ± 61	<D.L.	<D.L.	<D.L.
<b>Mengvoeders</b>				
herkauwers	415 ± 109	<D.L.	<D.L.	<D.L.
pluimvee	260 ± 68	<D.L.	<D.L.	<D.L.
varkens	292 ± 71	<D.L.	<D.L.	<D.L.
vis	241 ± 153	<D.L.	<D.L.	<D.L.

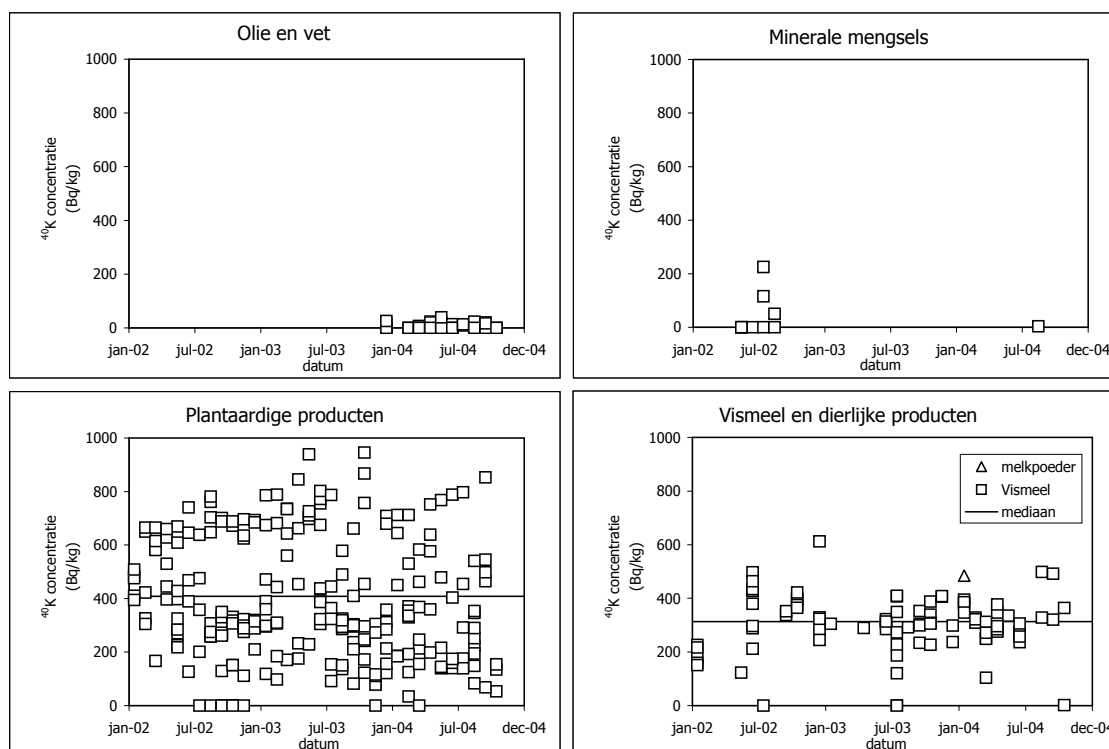
Een enkel monster melkpoeder is het enige andere dierlijke product dat binnen het monitoringprogramma gemeten is en bevatte 485 Bq/kg  $^{40}\text{K}$ , overeenkomstig met het natuurlijke  $^{40}\text{K}$ -gehalte in melk(poeder).

Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte in mengvoeders voor herkauwers lag tussen de 224 en 635 Bq/kg (zie Figuur en Tabel 2). Het  $^{40}\text{K}$ -gehalte is afhankelijk van de gebruikte grondstoffen (vergelijk Figuur) maar ligt voor de meeste mengvoeders voor herkauwers rond de 415 Bq/kg. Figuur suggereert een tweede groep mengvoeders met een gehalte rond de 600 Bq/kg, maar dit was niet te herleiden tot een bepaald type mengvoeder. In mengvoeders voor varkens lag het  $^{40}\text{K}$ -gehalte tussen de 192 en 456 Bq/kg (Figuur en Tabel 2). Uit de productomschrijving van de enkele mengvoeders voor varkens die arm zijn aan  $^{40}\text{K}$  is geen verklaring voor deze deficiëntie te vinden, met andere woorden, ze zijn gedocumenteerd als complete voeders. Mengvoeders voor pluimvee bevat tussen de 144 en 384 Bq/kg  $^{40}\text{K}$  (zie Figuur en

Tabel 2). Het monster arm aan  $^{40}\text{K}$  is een voeder voor kuikens tot 14 dagen, het enige monster van dit type voeder. Mengvoeders voor kweek- en siervis heeft een  $^{40}\text{K}$ -gehalte tussen de 122 en 492 Bq/kg (zie Figuur en Tabel 2). Het monster dat arm is aan  $^{40}\text{K}$  bevat voornamelijk zoöplankton bestaande uit kleine schaaldiertjes (crustacean), arm aan kalium.

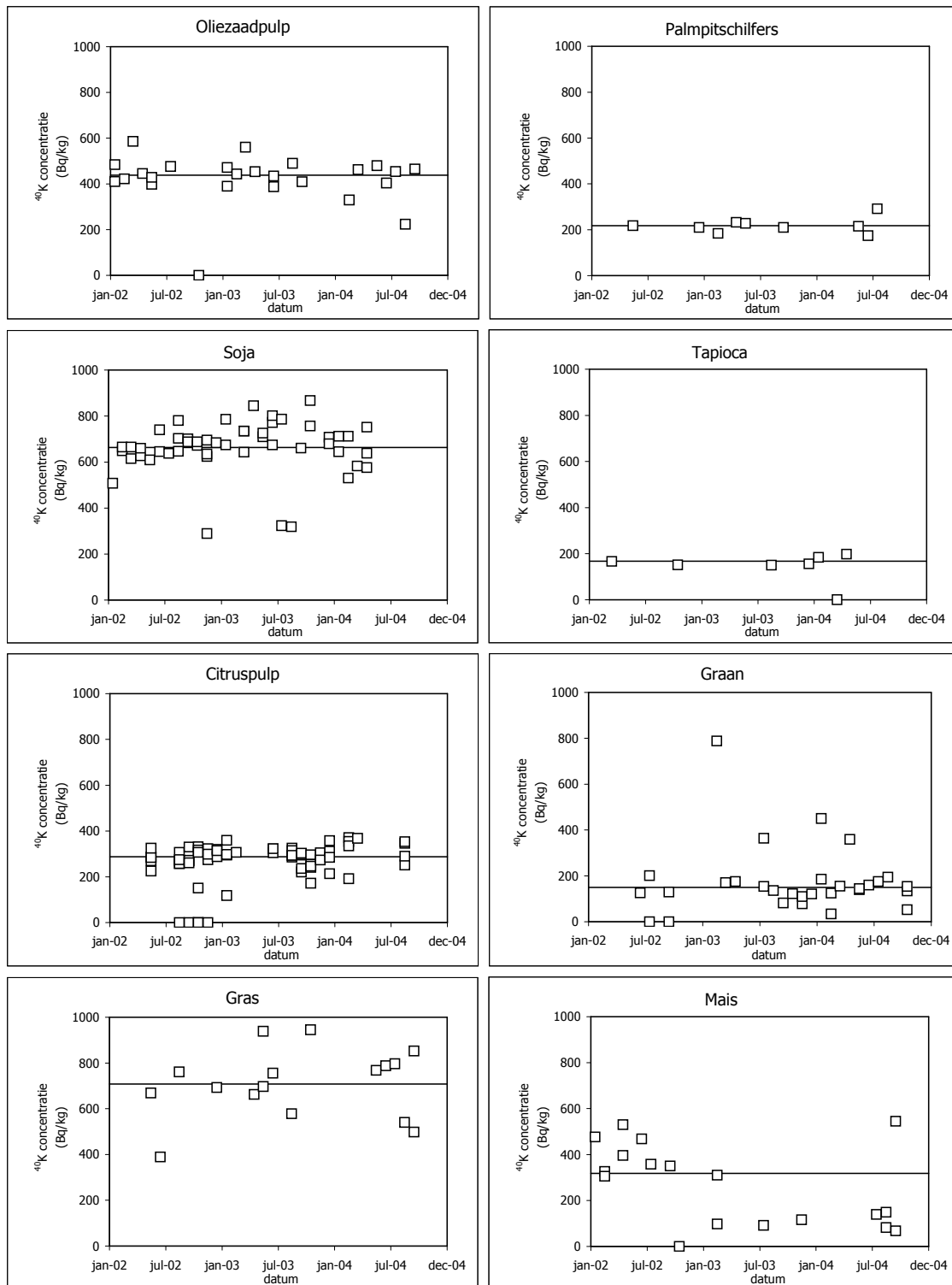
### 3.3.2 Radionucliden uit de vervalreeks van $^{238}\text{U}$ en $^{232}\text{Th}$ (actiniden).

Nucliden uit de natuurlijke uraan- en thorium-vervalreeks waren over het algemeen niet aantoonbaar. Enkel in de voederfosfaten (calciumfosfaten) konden deze actinidereeks nucliden aangetoond worden. Het productieproces en gebruikte erts kunnen een bron zijn voor de lichte verrijking. In tweederde van de monsters kon minimaal een van de dochters  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$  uit de  $^{232}\text{Th}$ -verval serie of  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  uit de  $^{238}\text{U}$ -verval serie aangetoond worden. De totale activiteit van deze nucliden varieerde van 13 tot 53 Bq/kg. In een tweetal complete veevoeders voor herkauwers op basis van gras en lucerne en in een aanvullend veevoedermengsel zijn lage concentraties aan bovengenoemde radionucliden uit de  $^{232}\text{Th}$ - en  $^{238}\text{U}$ -verval serie (voornamelijk  $^{212}\text{Bi}$ ) van respectievelijk 12, 17 en 77 Bq/kg aangetoond. Deze zijn mogelijk afkomstig uit fosfaatbemesting en toegevoegde minerale mengsels. In een enkel monster vismeel werd 5 Bq/kg aan radionucliden uit de  $^{232}\text{Th}$ - en  $^{238}\text{U}$ -verval serie gemeten (Tabel 2), mogelijk tengevolge van bioaccumulatie van radium-226.

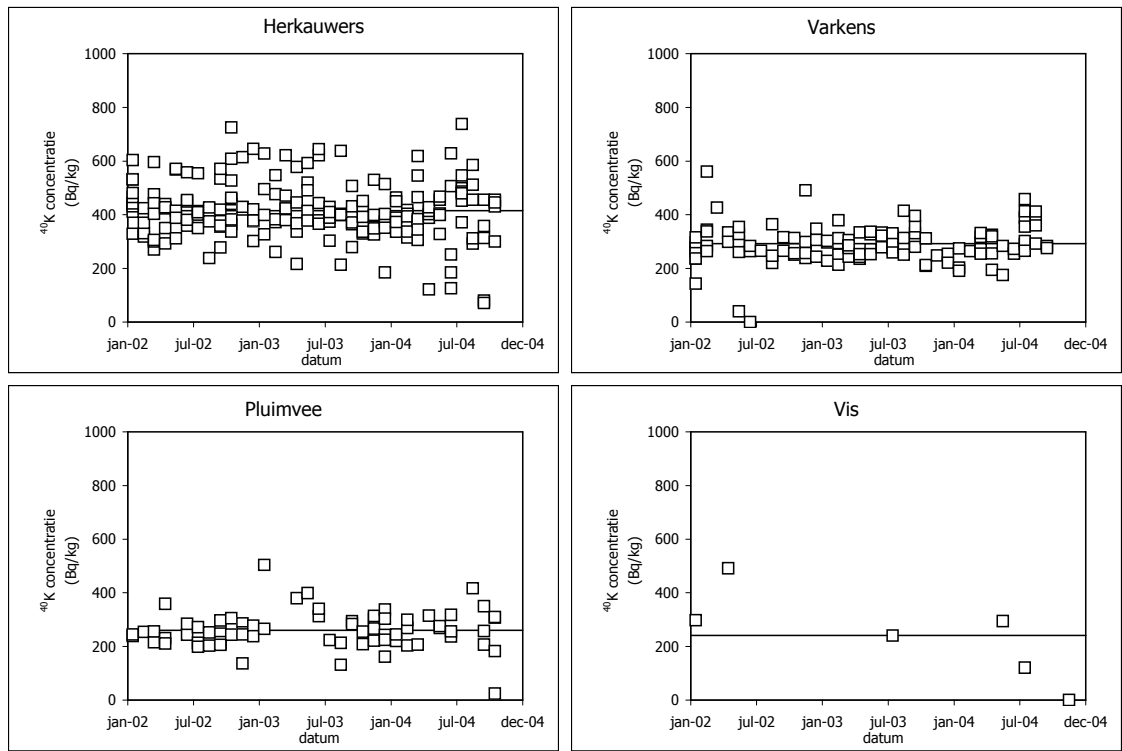


Figuur 2  $^{40}\text{K}$ -gehalten in de bemonsterde veevoedergrondstoffen in de periode 2002-2004





Figuur 3  $^{40}\text{K}$ -gehalten in de gemeten plantaardige producten in de periode 2002-2004



Figuur 4  $^{40}\text{K}$ -gehalten in de bemonsterde mengvoeders in de periode 2002-2004

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Deze studie laat zien dat de onderzochte monsters van in Nederland gebruikte veevoedergrondstoffen en –mengsels voldoen aan de Europese normen en richtlijnen voor radioactiviteit aangaande radiocesium en natuurlijk voorkomende radionucliden uit de uranium- en thoriumvervalreeks. Enkel in de voederfosfaten waren significante niveaus van natuurlijke radionucliden uit de uranium- en thoriumvervalreeks aantoonbaar. Daarnaast geeft deze studie inzicht in het voorkomen van  $^{40}\text{K}$ . De concentratie van  $^{40}\text{K}$  bedraagt 30 Bq/g kalium.

Aandachtspunten voor verdere studie zijn het monitoren van (reststromen van) risicoproducten en grondstoffen uit risicogebieden op radiocesium, radiostrontium en mogelijk andere artificiële radionucliden om inzicht te krijgen in de mogelijke (individuele) blootstelling en overschrijdingen. Verder onderbelicht in deze studie is mogelijke verrijking van met name minerale mengsels met radionucliden uit de uranium- en thoriumvervalreeks. De geanalyseerde aantallen binnen het huidige monitoringsprogramma zijn te laag om de effectiviteit van beleidsmaatregelen en veranderde productieprocessen in de fosfaaterts verwerkende industrie zichtbaar te maken. Ten slotte richtte deze studie zich op gamma emitterende radionucliden. Er zijn geen gegevens voorhanden over de  $^{14}\text{C}$  en  $^3\text{H}$  concentraties in veevoerders en veevoedergrondstoffen.  $^{14}\text{C}$  en  $^3\text{H}$  komen van nature voor, maar worden ook door de nucleaire industrie in de biosfeer gebracht. Kennis omtrent de (veranderende) achtergrondniveau's zijn van belang I) voor schatting van de collectieve maatschappelijke dosis zoals geadviseerd door de Europese unie en II) als beleidsgereedschap ingeval van een (ongewenste) lozing ter afschatting van de contaminatiegraad.