

546.49

546
13 12

EVALUATIERAPPORT KWIK IN HET NEDERLANDSE MILIEU



218742

COÖRDINATIE-COMMISSIE VOOR DE METINGEN
VAN RADIOACTIVITEIT EN XENOBIOTISCHE STOFFEN

Inhoud

blz.

Ten geleide

Verantwoording

SAMENVATTING EN CONCLUSIE	1
1. MILIEUCHEMIE, TOXICOLOGIE EN NORMSTELLING	10
Samenvatting	10
1.1 Inleiding	11
1.2 Analyse	11
1.3 Vormen van voorkomen en achtergrondgehalten	13
1.3.1 Atmosfeer	13
1.3.2 Water	13
1.3.3 Bodem	14
1.4 Transport, transformatie en accumulatie	15
1.4.1 Transport en transformaties	15
1.4.2 Accumulatie	17
1.5 Humane toxicologie	18
1.6 Nederlandse richtlijnen en normen	22
2. PRODUCTIE EN GEBRUIK VAN KWIK	25
Samenvatting	25
2.1 Inleiding	26
2.2 Kwikgebruik in Nederland	28
2.2.1 Invoer en uitvoer van kwik in Nederland	28
2.2.2 Kwikverbruik in Nederland	29
3. KWIKSTROMEN IN NEDERLAND	35
Samenvatting	35
3.1 Inleiding	36
3.2 Direkte kwikemissies	36
3.3 Verwerking en bestemming van kwikhoudende afvalstoffen	38
3.3.1 Huishoudelijk afval	38
3.3.2 Zuiveringsslib	40
3.3.3 Chemisch afval	42
3.3.4 Meststoffen	42
3.3.5 Overige afvalstoffen	43
3.4 Sedimentatie en baggerspecie	43
3.4.1 Sedimentatie	43
3.4.2 Baggerspecie	43
3.5 Overzicht kwikstromen in Nederland (1980)	44
4. ATMOSFEER	49
Samenvatting	49
4.1 Inleiding	50
4.2 Kwik in regenwater en de buitenlucht	51
4.3 Bespreking van de resultaten	55
4.4 Conclusies	57
5. OPPERVLAKTEWATER	59
Samenvatting	59
5.1 Inleiding	60
5.2 Water	61
5.2.1 Rijn	62

	blz.	
5.2.2	Maas	67
5.2.3	Sedimentatiegebieden Ketelmeer-IJsselmeer en Hollands Diep-Haringvliet	71
5.2.4	Westerschelde	73
5.2.5	Noordzee	81
5.2.6	Waddenzee	83
5.3	Sediment	86
5.3.1	Sedimentatie van kwik in Nederland	86
5.3.2	Kwikgehalten in sediment van zoetwater	88
5.3.3	Kwikgehalten in sediment van zout en brak water	95
5.4	Aquatiscche organismen	98
5.4.1	Het Joint Monitoring Programme	99
5.4.2	Het onderzoek naar de kwaliteit Nederlandse visserij- produkten	99
5.4.3	Overig onderzoek	101
5.5	Bespreking van de resultaten en conclusies	106
6.	BODEM	111
	Samenvatting	111
6.1	Inleiding	111
6.2	Gebieden in Nederland met verhoogde kwikgehalten in de bodem	114
6.2.1	Uiterwaarden	114
6.2.2	Havenslibpolders	116
6.2.3	Bloembollenstreek	117
6.2.4	Land- en tuinbouwgronden	118
6.2.5	Bespreking van de resultaten en conclusies	122
6.3	Gehalten van kwik in Nederlandse land- en tuinbouw- produkten	125
6.3.1	Kwikgehalten in gewassen	126
6.3.2	Relatie tussen het kwikgehalte in het gewas en de grond	128
6.3.3	Bespreking van de resultaten en conclusies	128
6.4	Kwik in grondwater	129
7.	LANDBOUWHUISDIEREN	133
	Samenvatting	133
7.1	Inleiding	134
7.2	Het LAC-signaleringsprogramma VREK	134
7.3	Overdracht van kwik van diervoeders naar dierlijke produkten	137
7.3.1	Opzet en resultaten van het overdrachtsonderzoek	137
7.3.2	Bespreking van de resultaten	142
7.4	Conclusies	143
8.	EXPOSITIE VAN DE MENS	145
	Samenvatting	145
8.1	Inleiding	146
8.2	Expositie via de lucht, het drinkwater en het voedsel	147
8.2.1	Expositie via de buitenlucht	147
8.2.2	Expositie via het drinkwater	148
8.2.3	Expositie via het voedsel	148
8.3	Kwikgehalte in bloed en haar	152
8.4	Conclusies	154
	LITERATUUR	156

Ten geleide

In Nederland worden - onder andere - door verschillende rijksinstituten op systematische wijze metingen verricht ter bewaking van de aanwezigheid van schadelijke stoffen in het biologische milieu. De meetprogramma's van deze instituten zijn in de eerste plaats afgestemd op de behoeften van het eigen ministerie en als zodanig op verschillende onderdelen van het milieu gericht. Tussen deze onderdelen (water, bodem, lucht, voedingsmiddelen en organismen) bestaat echter een nauwe onderlinge relatie, waarbij stoffen kunnen overgaan van het ene naar het andere compartiment.

Voor een doelmatige bewaking van de situatie dient daarom het milieu als geheel te worden bekeken en moeten de meetprogramma's ook onderling op elkaar worden afgesteld.

Ten einde te voorzien in deze behoefte en te komen tot een samenhangend overzicht van de verspreiding van stoffen door het gehele biologische milieu, is door de betrokken ministers (Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur, Landbouw en Visserij, Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en Verkeer en Waterstaat) op 1 november 1974 de Coördinatie-commissie voor de metingen van Radioactiviteit en Xenobiotische Stoffen (CCRX) ingesteld.

De commissie vervult haar taak door het verzamelen en jaarlijks rapporteren van de uitkomsten van de metingen die door de samenwerkende instituten (RIVM, RIKILT, RIVO, RIN, DBW/RIZA, KNMI en ITAL) in de CCRX worden ingebracht. Met ingang van 1982 heeft de commissie gekozen voor een beknopt jaarverslag waarin een beperkt aantal feitelijke gegevens op overzichtelijke wijze worden gepresenteerd. Hiermee wordt beoogd het jaarverslag toegankelijk te maken voor een breder publiek en het regelmatig opnieuw publiceren van nauwelijks veranderende beschouwingen te vermijden. Voor een diepergaande evaluatie van de beschikbare gegevens is gekozen voor rapportage in de vorm van overzichtsrapporten, waarin eens in de vier à vijf jaar de situatie met betrekking tot één van de stoffen uitvoerig wordt geanalyseerd.

Het voor U liggende rapport over kwik is het derde rapport in deze serie overzichtsrapporten. Eerdere rapporten zijn verschenen over cholinesterase remmende stoffen en cadmium.

Binnenkort zal eveneens een overzichtsrapport verschijnen over PCB's. In voorbereiding zijn rapporten over stikstofverbindingen, ozon, broom, polycyclische aromaten en koper.

Dr. H. Cohen

Verantwoording

De primaire verantwoordelijkheid voor het rapport ligt bij de CCRX. In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, directie Bodem, Water, Stoffen is het onderhavige rapport voorbereid op het Centrum voor Milieukunde van de Rijksuniversiteit Leiden door W.G.H. van der Naald en A.K.D. Liem met medewerking van Mevr. M. van Koten-Hertogs en onder directe begeleiding van G. Huppes en W.T. de Groot.

Vanuit de CCRX is het project begeleid door J.A. van Zorge, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (projectcoördinator), W.A. Bruggeman, Dienst Binnenwateren/Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater, A. Bresser, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne en W.J.M. Sprong, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Voor de totstandkoming van dit rapport hebben een groot aantal instituten informatie en gegevens verstrekt. Te noemen zijn o.a.: CBS (Mevr. Gorter), CDI (Dhr. Baars), CIVO-TNO (Dhr. Muys), Hoogheemraadschap Rijnland (Dhr. Bakker), IB (Dhr. Van Goor, Dhr. Van Driel), IVP-TNO (Dhr. Luten), IVVO (Dhr. Vreman), RIKILT (Dhr. Vos), RIVM-LAE (Dhr. Meyer), RIVM-RID (Dhr. Minderhoud), RIVO (Dhr. Pieters), DBW/RIZA (Dhr. Bruggeman, Dhr. Baaij) en de Ministeries van Landbouw en Visserij (Mevr. De Haas, directie Voedings- en Kwaliteitsaangelegenheden), VROM (Mevr. V.d. Most, emissieregistratie) en WVC (Dhr. Staarink, hoofdinspectie Levensmiddelen).

Exemplaren van dit rapport zijn, voor zover beschikbaar, verkrijgbaar bij het secretariaat van de CCRX, postbus 450, 2260 MB Leidschendam.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Dit rapport geeft een overzicht van de kwikbelasting van en de gehalten in het Nederlandse milieu en van de expositie van de mens. Het algemene beeld is, dat de spectaculaire daling van de kwikbelasting in de jaren zeventig tot stilstand is gekomen. Met name het toenemend gebruik van alkaline batterijen, die circa 1% kwik bevatten is momenteel een ontwikkeling die de nodige aandacht vraagt. De daling van de kwikgehalten in sedimenten ijlt na op de daling van het gehalte in het water. Het gehalte in zoetwatervis daalt in de jaren tachtig nog maar nauwelijks. In sommige wateren fungeert het sediment waarschijnlijk als diffuse kwikbron. Normen worden incidenteel zowel in het water als in zoetwatervis nog overschreden. Door een hoge zoetwatervisconsumptie kan de ADI incidenteel nog overschreden worden. De gemiddelde opname ligt ruim een faktor 4 onder de ADI-waarde.

In de hoofdstukken 1 t/m 3 wordt achtergrondinformatie gegeven over het milieugedrag, de toxicologie, de normstelling, de produktie en het gebruik van kwik en de kwikstromen in Nederland waardoor kwik in het milieu terecht komt.

In hoofdstuk 4 t/m 7 wordt een overzicht gegeven van de kwikgehalten in respectievelijk de lucht, het water (water, sediment en aquatische organismen), de bodem (bodem, landbouwgewassen en grondwater) en in landbouwhuisdieren. In hoofdstuk 8 wordt de expositie van de mens besproken. Elk hoofdstuk is voorzien van een korte samenvatting.

A. Belasting en trends in de belasting van het Nederlandse milieu

Het kwikverbruik is van circa 100 ton in 1970 gedaald tot circa 37 ton in 1980. De grootste daling van het kwikverbruik heeft in de chlooralkali-industrie, de verfindustrie, de landbouw en bij de produktie van organische kwikverbindingen plaatsgevonden. Na 1980 is er nog een licht dalende trend in o.m. het kwikverbruik van de chlooralkali-industrie en in meet- en controle-instrumenten (o.a. kwikthermometers). Het kwikverbruik door het gebruik van batterijen is van ca. 8 ton in 1980 toegenomen tot ca. 15 ton in 1984 (grote spreiding in de schatting, (vnl. alkaline batterijen).

De geschatte totale emissie van kwik naar het milieu was in 1984 groter dan in 1980 door de toename van het batterijenverbruik (toename belasting bodem en lucht).

De directe emissies zijn afgenomen door een afname van de industriële emissies.

De kwikbelasting van de lucht, het water en de bodem is in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1. Kwikbelasting van het Nederlandse milieu in 1980 en 1984.

Kwikstroom	Kwikbelasting in 1980 (ton)				1984
	lucht	water	bodem	totaal	totaal
direkte emissie	3-4,5	1-1,5		4-6	3-4
huishoudelijk afval	4,5		8	13	19
zuiveringsslib			1	1	0,75
bulkafvalstoffen			0,05	0,05	?
meststoffen			1	1	?
totaal	7,5-9	1-1,5	10	19-21	24-25

De kwikvracht van de Rijn en de Maas is van circa 100 ton in 1973 afgenomen tot circa 20 ton in 1980 en 10 ton in 1984. Van de door de Rijn en de Maas aangevoerde hoeveelheid kwik sedimenteert ongeveer de helft in Nederland, voornamelijk in het Ketelmeer-IJsselmeer, het Hollands Diep-Haringvliet en de Rotterdamse havens. Daarnaast sedimenteert met Noordzeeslib in de Rotterdamse havens nog circa 7,5 ton kwik per jaar. Dit slib heeft een lager kwikgehalte dan het rivierslib. De belasting door sedimentatie van rivier- en Noordzeeslib is in de periode 1980-1984 met circa 5 ton afgenomen door de daling van de kwikvracht van de Rijn en de Maas.

De hoeveelheid kwik die door baggerwerkzaamheden verwijderd wordt bedraagt circa 19 ton per jaar. In 1980 werd hiervan nog 8 ton op het land gestort. In 1984 werd er in principe geen baggerspecie meer op het land gestort.

Door baggerwerkzaamheden werd in 1980 ongeveer evenveel kwik verwijderd als er sedimenteerde. Gedeeltelijk worden er ook oudere sediment-

lagen verwijderd. Door de baggerwerkzaamheden kan de waterkwaliteit nadelig beïnvloed worden omdat bodemmateriaal geresuspendeerd wordt, en andere (meer verontreinigde sedimentlagen) aan de oppervlakte kunnen komen.

B. Kwikgehalten in het Nederlandse milieu

In tabel 2 zijn de gemiddelde kwikgehalten, de spreiding in de gemiddelden en de in Nederland geldende normen en de normoverschrijding weergegeven.

Voor zover er normen gesteld zijn worden die alleen in het aquatisch milieu en in de bodem overschreden.

Voor de buitenlucht en regenwater zijn geen normen m.b.t. kwik gesteld. Het kwikgehalte in regenwater overschrijdt op 3 van de 6 meetlokaties wel incidenteel de norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater ($0,5 \mu\text{g}/\text{l}$), en op 1 lokatie gemiddeld de norm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater ($0,3 \mu\text{g}/\text{l}$).

Voor land- en tuinbouwprodukten en landbouwhuisdieren zijn (richt)normen gesteld. De richtnorm voor landbouwhuisdieren is in 1982 verlaagd (zie tabel 2). In de onderzoeksprogramma's is geen overschrijding van de richtnorm geconstateerd. Voor landbouwhuisdieren zijn bovendien aktiegrenzen gesteld die incidenteel wel overschreden worden. Alleen in de varkensnier is een licht dalende trend sinds 1981 waargenomen. Uit overdrachtsonderzoek met runderen blijkt dat er overdracht van kwik uit het voer naar de lever, de melk en vooral de nier plaatsvindt. Het dalend kwikgehalte in de varkensnier is mogelijk een indicatie voor een dalende trend in de belasting via het voer.

In de bodem wordt de B-waarde* uit de leidraad bodemsanering ($2,0 \text{ mg}/\text{kg}$) overschreden in land- en tuinbouwgronden en havenslibpolders (opgespoten tussen 1964 en 1975), en de C-waarde ($10 \text{ mg}/\text{kg}$) in de uiterwaarden van met name de Rijn. De hogere kwikgehalten in land- en tuinbouwgronden zijn veroorzaakt door o.m. sterke bemesting (glas-cultuur), vroeger gebruik van bestrijdingsmiddelen, gebruik havenslib-

* A-waarde referentiewaarde

B-waarde toetsing voor nader onderzoek

C-waarde toetsing voor saneringsonderzoek

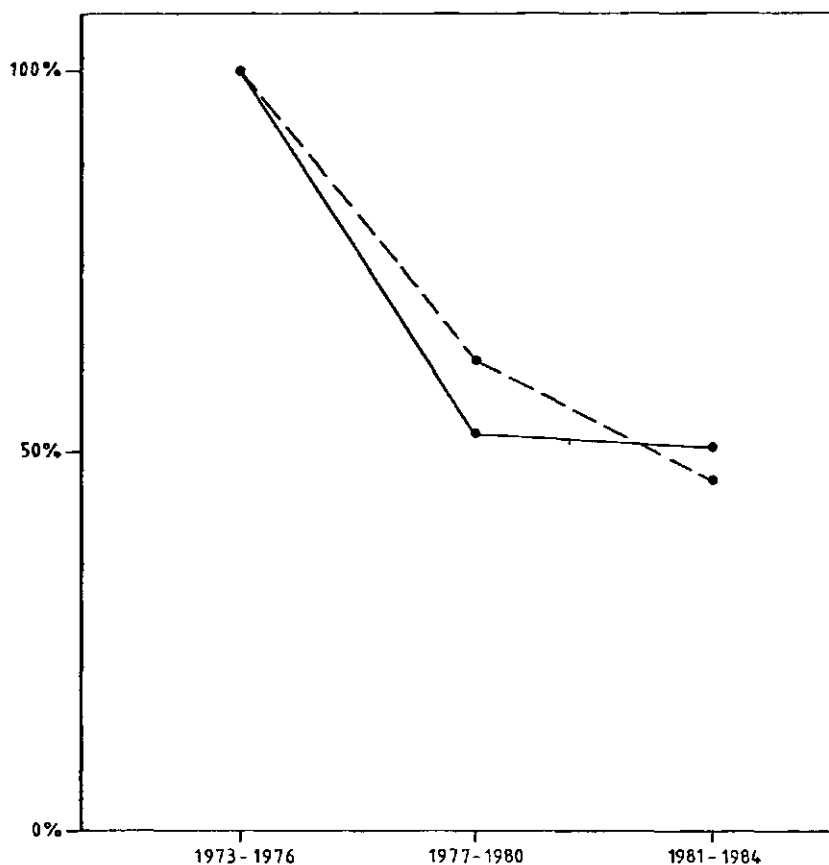
grond, etc. De hoge gehalten in uiterwaarden en havenslibpolders zijn een direct gevolg van het hoge kwikgehalte tot het begin van de 70-er jaren van vooral de Rijn. De gemiddelde waarde voor natuurgebieden geldt als natuurlijke achtergrondconcentratie in Nederland. Er bestaat nagenoeg geen correlatie tussen het kwikgehalte in de bodem en in gewassen. De opname van kwik door gewassen vindt waarschijnlijk plaats na atmosferische depositie op de bovengrondse delen van het gewas. In het grondwatermeetnet is geen overschrijding van de A-waarde (0,2 µg/l) geconstateerd. De gemiddelde waarden liggen hier ver onder. In een volkstuin die voorheen als bloembollengrond gebruikt werd, is wel een overschrijding van de A-waarde geconstateerd, evenals in percolatiewater van vuilstortplaatsen.

De norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater werd in de periode 1980-1984 incidenteel overschreden in de Maas (in 1980 en 1981), de IJssel (1982) en op twee lokaties in de Waddenzee (in 1981). Ook in de niet-Rijkswateren werd de norm nog incidenteel overschreden. In de (Rijks)wateren nam het kwikgehalte in de periode 1980-1984 verder af. Het kwikgehalte van de Noordzee wordt pas sinds 1979 routinematig bepaald. In de periode 1979-1983 is geen trend aan te geven. Het kwikgehalte van de zwevende stof van de Maas en de Rijn is sinds 1973 sterk gedaald. Deze dalende trend blijkt ook uit het kwikgehalte van het afgezette sediment. Het kwikgehalte van het sediment van de Rijn, de Maas, de sedimentatiebekkens Ketelmeer-IJsselmeer en Hollands Diep-Haringvliet, en de Waddenzee neemt in de periode 77/79-83 af. In het IJsselmeer, het Haringvliet en de Waddenzee is de daling minder sterk dan in de Rijn. Voor de Afsluitdijk was het kwikgehalte van het sediment in 1983 hoger dan in 1977, wat veroorzaakt wordt door een naijleffect. In absolute zin is het kwikgehalte op sommige plaatsen wel nog hoog vergeleken met de A-, B- en C-waarde voor bodemonderzoek (gecorrigeerd voor standaardsediment). Het kwikgehalte van de klasse 2 en 3 baggerspecie neemt door de daling van het kwikgehalte van de zwevende stof ook af.

Zowel in visserijproducten uit zoutwater als uit zoetwater neemt het kwikgehalte af. De afname in het kwikgehalte van zoutwatervis is een indicatie dat ook het kwikgehalte van het Noordzeewater afneemt. De trend in het kwikgehalte van zoetwatervis is in belangrijke mate

afhankelijk van de vangstplaats. De toename van het kwikgehalte van met name snoekbaars met de lengte of de leeftijd van de vis geeft een indicatie over de mate van verontreiniging (kwalitatief) van het water. (Uit de kwantitatieve waterkwaliteitsgegevens kan in het algemeen de bio-beschikbaarheid van kwik niet afgeleid worden). Uit onderzoek dat volgens deze methode is uitgevoerd blijkt dat het sediment van o.a. het IJsselmeer waarschijnlijk als diffuse bron fungeert. De norm voor visserijprodukten wordt in zoetwatervis nog regelmatig overschreden, vooral in snoek, baars en snoekbaars. De kwikgehalten in zoutwatervis zijn veel lager dan in zoetwatervis (geen normoverschrijdingen). In figuur 1, 2 en 3 zijn de trends in het kwikgehalte van het oppervlaktewater, het sediment en in aquatische organismen grafisch weergegeven.

Fig. 1 Procentuele afname kwikgehalte Nederlandse visserijprodukten 1973-1976 = 100.



Legende:

- zoetwatervis (saal en snoekbaars uit IJsselmeer en Hollands Diep)
- - - - - zoetwatervis (tong, kabeljauw en haring), mosselen en garnalen

Fig. 2 De kwikvracht van de grote rivieren in ton/jaar totaal Hg

Legende :

- Rijn
- - - Westerschelde
- Maas

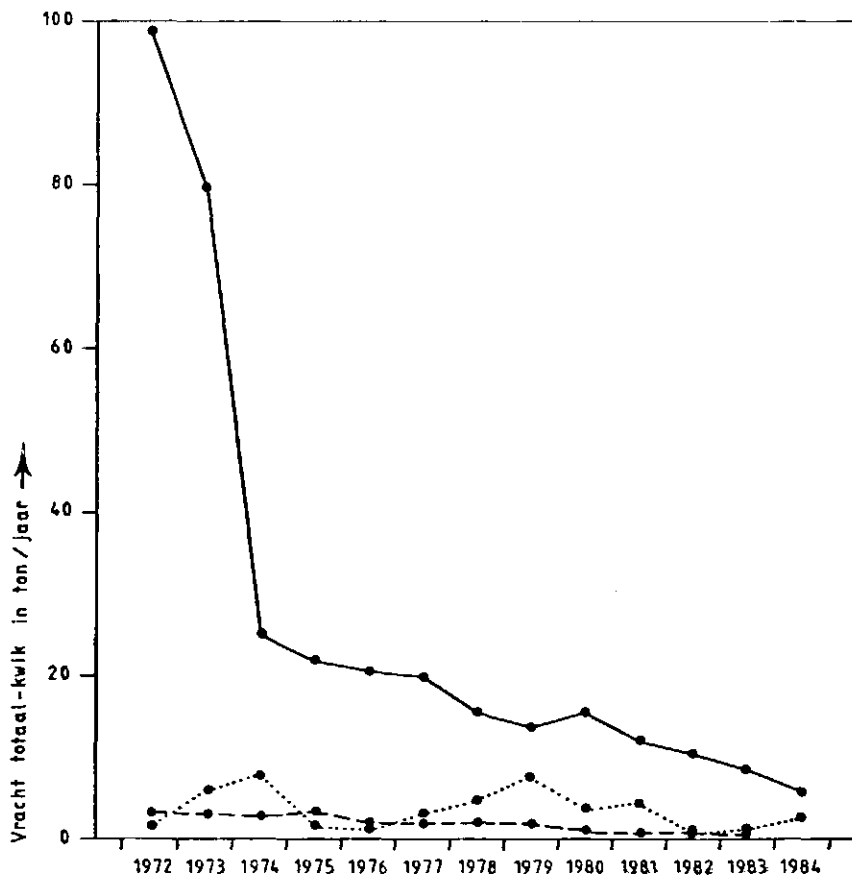
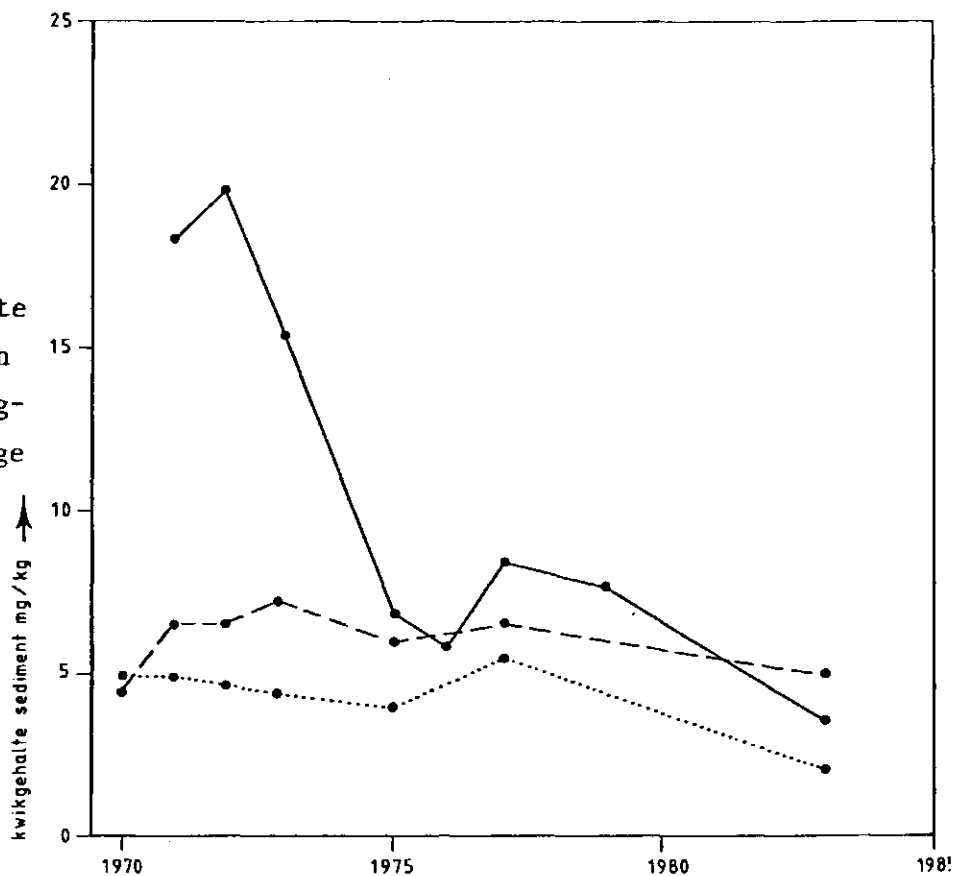


Fig. 3 Gemiddeld kwikgehalte van het sediment van Rijn, Maas en Haringvliet, in mg/kg droge stof

Legende :

- Rijn
- - - Haringvliet
- Maas



Tabel 2 Kwikgehalten in het Nederlandse milieu. Samenvatting gemiddelden, spreiding in de gemiddelden, normen, normoverschrijdingen en trends

Omschrijving	Gemiddelde	spreiding gem.	norm	normoverschrijding	trend	opmerking
concentratie buitenlucht regenwater	ca. 10 µg/l	5,4-18,5 0,06-0,51	> 0,5 µg/l	1		1974, geen recentere gegevens, tabel 4.3 1978-1982; RID-VEWIN tabel 4.1; vaak onder detectiegrens (0,1 µg/l; uit landelijk meetnet regenwaterkwaliteit sinds 1983) idem; overschatting natte-, onderschatting droge depositie
depositie	g/ha jaar	0,6 0,44-1,25				
water - zoet	µg/l	0,03-0,31	0,5	+	afname	1980-1984, RIZA, t. 5.2 t/m 5.5; 5.8 1980-1983; IMP; t. 5.9 (excl. Westerschelde)
water - zout	µg/l	0,01-0,12	0,5	-	afname	1983, MIVEOS, t. 5.18 WL-inventarisatie; t. 5.15
sediment - zoetwater	mg/kg d.s.	0,1 -6,2 < 0,5 -3,5	> 16 mg/kg	2		idem, t. 5.15 (zoute wateren excl. havens) 1980-1984; RIKILT; t. 5.22 (aal en snoek- baars uit IJsselmeer en Hollands Diep)
vis	mg/kg d.s. p. mg/kg p.	0,18-0,68 0,03-0,19	1,0 1,0	+	afname	idem, t. 5.22 (tong, kabeljauw, haring uit Rijmond, Texel, IJmuiden)
Bodem - natuurgebied	mg/kg d.s.	0,12	0,5(A) ⁵ ; 2,0(B); 10,0 (C)	≤ A		1979-1981; t. 6.1
uiterwaarden		2-12		> C		1960-1980; t. 6.2a, Rijn, Maas, Schelde
havenslibpolders		0,1-10,43		> C		1973, 1977; t. 6.2a
bloembollengrond		3,4-8,3		> B < C		1973-1978, t. 6.3
landbouwgrond		0,13-0,3 0,084-0,23		> A > B < C		1973, 1983, 1984; t. 6.4a 1977-1979, o.a. RIKILT/IB t. 6.5 (excl. glascultuur)
glascultuur		0,36		> B < C		idem, t. 6.5 glascultuur
grondwater	µg/l	0,020 0,018 0,3	0,2(A) 0,5(B)	- - +		1982; RID; t. 6.14 (8-10 m diepte) idem, 23-25 m diepte 1984; TAUM; voormalige bloembollengrond in Hillegom (1 bepaling) t. 6.4a 1976; IVA, par. 3.3.1
percolatiewater stortplaatsen		0,005-0,4		> A < B		
land- en tuinbouwproducten glasproducten	mg/kg p.	0,0012	0,03	-		1977-1979, o.a. RIKILT/IB, t. 6.1 (sla, tomaat, komkommer)
veldcondities		0,0032	0,03	-		idem, t. 6.11 (spinazie, waspeen)
landbouwgewassen		0,003 0,0059 0,0012	0,02 0,03 0,01	- - -		idem, t. 6.11 (aardappel) idem, t. 6.11 (tarwe, gerst, haver) idem, t. 6.11 (appel)
Landbouwhuisdieren	mg/kg p.		tot na 1982 1982			
vlees		0,0032 ³	0,1 0,05	-	geen trend	1978-1983, o.a. RIKILT/CIVO-TNO, t. 7.2
nier		0,0068 ³	0,4 0,1	-	afname sinds 1981 ⁷	idem
lever		0,003 ³	0,2 0,05	-	geen trend	idem
kippe-ei		0,005 ³	0,1 0,03	-		1978-1980

1 basiskwaliteit oppervlaktewater

2 C-waarde leidraad bodemsanering gecorrigeerd voor standaardslib

3 mediaanwaarden

4 gemiddelde mediaanwaarden

5 A-, B-, C-waarde leidraad bodemsanering

6 afhankelijk van monsterlokatie

7 afname in varkensnier

8 d.s. = droge stof; p. = produkt

C. Expositie van de mens

De aanvaardbare opname van kwik door de mens bedraagt 300 µg/week (43 µg/dag (ADI) waarvan niet meer dan 200 µg/week (28 µg/dag) als methyلكwik.

De gemiddelde opname via de ademhaling, het drinkwater en het voedsel in Nederland is per persoon kleiner dan 65 µg/week. Een incidentele overschrijding van de ADI is in dagmenu's geconstateerd (92 µg). In het algemeen zal een hoog kwikgehalte in één van de componenten van het voedselpakket geen overschrijding van de ADI tot gevolg hebben. Bij een afwijkend consumptiepatroon is een overschrijding van de ADI wel mogelijk. Dit geldt met name voor een hoge zoetwatervisconsumptie. Bij een hoge zoetwatervisconsumptie wordt de ADI-waarde voor methyلكwik eerder overschreden dan voor totaalkwik. De ADI-waarde geldt in principe voor volwassen personen.

Vrouwen moeten tijdens (en voor) een zwangerschap als verhoogde risicogroep beschouwd worden omdat methyلكwik teratogeen is en het prenatale leven naar schatting 2-5 maal zo gevoelig is voor methyلكwikintoxicatie. In een onderzoek met 82 personen uit 1974 werd bij 1 persoon een kwikgehalte in het haar gevonden van 13,2 µg/g. Teratogene effecten kunnen al optreden bij 10-20 µg/g in het haar van de moeder. Het hoge kwikgehalte werd in verband gebracht met een hoge (zoetwater) visconsumptie. Bij deze persoon werd ook een hoog kwikgehalte in het bloed gevonden (40,5 µg/l). Een gehalte van 20 µg/l in het bloed wordt aanvaardbaar geacht. Uit dit onderzoek bleek dat de waarde van 20 µg/l al bij een regelmatige visconsumptie overschreden werd (1 maal per week).

Sinds 1974 is het kwikgehalte in vis afgenomen, maar in vergelijking met andere produkten is het nog steeds hoog. Het kan dan ook niet uitgesloten worden dat door een hoge visconsumptie de aanvaardbare waarden (ADI, kwikgehalte in bloed) overschreden kunnen worden.

Recentelijk is er in de literatuur melding van gemaakt dat er aanzienlijke hoeveelheden kwik uit amalgaamvullingen kunnen vrijkomen. In uitgeademde lucht werden gemiddelde kwikgehalten van 0,85 tot 11,7 µg/m³ gevonden met een maximum van 85,5 µg/m³. De MAC-waarde (50 µg/m³) wordt hiermee incidenteel ruim overschreden. Over de bloot-

stelling van de mens door kwik uit amalgaamvullingen is weinig bekend. Er zijn geen gevallen bekend van intoxicatie met metallisch kwik uit vullingen. Verder onderzoek naar mogelijke effecten is wel gewenst. Bij de keuze van controlegroepen bij epidemiologisch onderzoek zal voorlopig met een bijdrage aan de kwikopname uit amalgaamvullingen rekening moeten worden gehouden.

Hoofdstuk 1 MILIEUCHEMIE, TOXICOLOGIE EN NORMSTELLING

Samenvatting

Kwik komt in het milieu voornamelijk voor als metallisch kwik en als anorganische kwik(II)verbindingen. Als achtergrondgehalten worden in de literatuur 2 ng/m^3 voor de atmosfeer, $1-100 \text{ ng/l}$ voor water (afhankelijk van het type water) en $50 \text{ } \mu\text{g/kg}$ voor de bodem gegeven. Het lange afstand transport vindt voornamelijk via de atmosfeer plaats. In de atmosfeer wordt metallisch kwik waarschijnlijk omgezet in anorganische kwik(II)verbindingen en methyلكwik, die door natte depositie naar het aardoppervlak getransporteerd kunnen worden. De verblijftijd van kwik in de atmosfeer bedraagt ca. 5,5-700 dagen, in de bodem ca. 1000 jaar, in oceanen ca. 2000 jaar en in sedimenten enkele miljoenen jaren.

Hoewel methyلكwik kwantitatief geen belangrijke rol speelt in het milieuge drag van kwik, is het zowel vanuit de eco- als de humane toxicologie een belangrijke verbinding. Methyلكwik kan zowel door chemische als door micro-biologische methylering gevormd worden en in voornamelijk aquatische organismen accumuleren waardoor het in voedselketens terecht komt. Zowel in verontreinigde als in niet verontreinigde gebieden bestaat het kwik in vissen voor ca. 90% uit methyلكwik. Kwikvergiftigingsepidemieën in het verleden (o.a. in Japan en Irak) hebben er toe geleid dat er veel onderzoek naar de toxicologische werking van kwik is gedaan.

Door de WHO/FAO is in 1973 een wekelijkse opname van $300 \text{ } \mu\text{g}$ kwik per persoon, waarvan niet meer dan $200 \text{ } \mu\text{g}$ als methyلكwik, als aanvaardbaar gesteld. Deze hoeveelheden gelden voor volwassen personen. Van methyلكwik is het bekend dat het prenatale leven enkele malen gevoeliger is, en dat het gemakkelijk door de placenta getransporteerd wordt. De MAC-waarde voor alkylkwikverbindingen bedraagt $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, voor de overige kwikverbindingen $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

In Nederland zijn normen opgesteld voor o.a. het kwikgehalte in voedingsmiddelen en in het oppervlaktewater. Bovendien zijn voor industriële lozingen grenswaarden gesteld, of in voorbereiding. Sinds 1976 wordt kwik door de lidstaten van de EG beschouwd als zwarte-lijst stof.

1.1 Inleiding

Kwik kan in drie oxydatie-toestanden voorkomen, namelijk als metallisch (Hg^0), mercurio (Hg_2^{2+}) en mercuri kwik (Hg^{2+}). Zowel door chemische als (micro)biologische oxydatie en reductie kunnen deze drie vormen in elkaar worden omgezet.

In het milieu komt kwik voornamelijk voor als metallisch kwik en anorganische mercuri kwikverbindingen (kwik(II)chloriden, -hydroxiden, -oxyden, en -sulfiden), terwijl voor de eco- en humane toxicologie ook de organische mercuri kwikverbinding methyلكwik van belang is.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste vormen, transportroutes en transformaties van kwik in het milieu en de toxicologische eigenschappen van metallisch kwik, methyلكwik en anorganische mercuri kwikverbindingen.

De monsternamen en analyse van kwik in het milieu is lang een probleem geweest omdat kwik in vergelijking met de meeste andere zware metalen in erg lage concentraties voorkomt, veel kwikverbindingen goed adsorberen (zowel aan deeltjes als aan de oppervlakte van laboratoriummateriaal (b.v. glas)) en veel kwikverbindingen vluchtig zijn (o.a. metallisch kwik)(1). In paragraaf 1.2 wordt de analyse van kwik in milieumonsters kort besproken. In paragraaf 1.6 wordt een overzicht gegeven van de Nederlandse normen en richtlijnen met betrekking tot kwik.

1.2 Analyse

Kwik komt in het milieu in diverse vormen voor. Tijdens en na de monsternamen kan het bestaande evenwicht verstoord worden waardoor een verschuiving in de relatieve hoeveelheden van de verschillende vormen kan optreden. Hierdoor is kwantitatief onderzoek naar de speciatie van kwik in het milieu moeilijk (4). Bij de bepaling van kwik in biologisch materiaal moet het kwik eerst ontsloten worden. Hiervoor worden diverse oxydatieve agentia gebruikt. De meest gebruikte analysemethoden voor kwik zijn de atomaire absorptie spectrofotometrie (AAS) en de neutronen activeringsanalyse (NAA).

Bij de atomaire absorptie spectrofotometrie wordt het kwik eerst geoxydeerd tot metallisch kwik. Door de introductie van de koude damp

techniek in de jaren zestig is de AAS (koude damp AAS) een snelle en gevoelige methode geworden waarmee kwik in alle typen monsters geanalyseerd kan worden. Een alternatief voor de koude damp techniek is de vlamloze oxydatie met behulp van grafiet. Hiermee wordt een lagere detektielgrens gehaald. Een detektietechniek die de laatste jaren vaak in plaats van de atomaire absorptie spectrofotometrie gebruikt wordt berust op de amalgamering van het metallisch kwik op een dun gouden plaatje (2).

Bij de neutronen aktiveringsanalyse hoeft het monster niet voorbereid te worden. Het is een methode met een erg lage detektielgrens (minder dan 0,5 µg/kg (3) maar neemt wel veel tijd in beslag.

Voor de bepaling van organische kwikverbindingen zijn dunne-laag en gaschromatografische technieken ontwikkeld of worden technieken gebruikt waarbij eventueel aanwezige kwik-ionen gescheiden kunnen worden. Voor een overzicht van analysetechnieken wordt verwezen naar de literatuur (ref. 1,2,3).

De reproduceerbaarheid (en daarmee de nauwkeurigheid) van de bepalingen is in het algemeen afhankelijk van de gebruikte monsternamen-, monsterbehandelings- en analysetechniek. Bij de bepaling van kwik in biologisch materiaal is de fractie kwik die ontsloten en uiteindelijk geanalyseerd wordt bovendien afhankelijk van het bij het ontsluiten gebruikte agens.

In dit rapport worden de gebruikte technieken wel aangegeven, maar bij de interpretatie van de analysegegevens is hiermee geen rekening gehouden. Voorzover mogelijk wordt ook de detektielgrens aangegeven. Bepalingen die in de buurt van de detektielgrens zijn uitgevoerd zijn in het algemeen onnauwkeurig. Dit is met name het geval bij de bepalingen van kwik in Nederland in het regenwater en in de gefiltreerde fractie van het kwik in oppervlaktewater (gedefinieerd als de fractie opgelost kwik) (hoofdstuk 4 en 5). De bepaling van kwik in regenwater is o.a. om deze reden in 1982 gestaakt (hoofdstuk 4). Het verloop van het gehalte opgelost kwik in het oppervlaktewater wordt ten dele bepaald door de detektielgrens die in de loop van de jaren steeds lager is geworden (zie hoofdstuk 5).

1.3 Vormen van voorkomen en achtergrondgehalten

1.3.1 Atmosfeer

In de atmosfeer komt kwik voornamelijk als metallisch kwik, anorganische kwik(II)verbindingen en methyلكwik voor. Van het totaalgehalte is slechts circa 5% particulier gebonden (5). In tabel 1 zijn gemiddelde kwikgehalten in de lucht boven een aantal gebieden weergegeven. De achtergrondconcentratie in de lagere troposfeer van het noordelijk halfrond wordt geschat op 2 ng/m³ en van het zuidelijk halfrond op 1 ng/m³ (2).

Tabel 1.1 Kwikgehalten in de atmosfeer boven een aantal gebieden.

	concentratie (ng/l)	ref.
oceanen	< 1	4,6
niet-industrie en stedelijke gebieden	1 - 10	6,7
industriegebieden	10 - 1000	6
koper-, kwik- en edelmetaalminen	tot 20.000	4

Het totaal kwikgehalte neemt af bij toenemende hoogte. De totale hoeveelheid kwik in de atmosfeer wordt geschat op 850 ton (5).

1.3.2 Water

In water komt kwik voornamelijk voor als metallisch kwik en anorganische kwik(II)verbindingen (kwik(II)chloriden, -hydroxyden, -oxyden en -sulfiden). De chemische vorm is afhankelijk van de redoxpotentiaal, de pH en de chlorideconcentratie. Onder zuurstofrijke omstandigheden komt kwik voornamelijk als oplosbare kwik(II)verbindingen voor, bij matig zuurstofgehalte en reducerende omstandigheden als het slecht oplosbare metallisch kwik en kwiksulfiden (4).

Kwik kan in water tot 95% particulier-gebonden voorkomen, afhankelijk van het organisch koolstof-gehalte en de diameter van het sediment, en de chemische vorm van het kwik. Met name bij de overgang van zoet naar zout water (estuaria) kan mobilisatie van particulier-gebonden kwik optreden. De mobilisatie wordt veroorzaakt door afbraak van het orga-

nisch materiaal van het sediment. De afbraakprodukten die hierbij ontstaan vormen oplosbare organo-kwik complexen met het kwik in het sediment (8). In tabel 1.2 zijn de achtergrondgehalten voor een aantal typen water vermeld.

Tabel 1.2 Achtergrondgehalten van een aantal typen water.

type water	Hg conc. (ng/l)	Ref.
Oceaan	3	2
Kustwater	5-10	2
Estuaria	≤ 50	4
Rivieren en meren	10-50	2,4
Regenwater		
Oceaan	1	4
Kust	10	4
Continenten	> 50	4
Interstitieel sedimentwater	100	4
Glaciaal water	10	4
Grondwater	50	4
Drinkwater	< 25	2

1.3.3 Bodem

In de bodem komt kwik voornamelijk voor als metallisch kwik en de kwik(II) verbindingen $\text{Hg}(\text{Cl})_2$, $\text{Hg}(\text{OH})_2$, HgOCl_4^- en HgCl_3^- (9).

In de bovenste 20 cm van de bodem (toplaag) is het gehalte het hoogst, waarna het snel kan afnemen. Bij een lage pH en een hoge concentratie chloride-ionen kan kwik door vorming van chloride-complexen in diepere bodemlagen doorsijpelen. Gemiddelde kwikgehalten in de toplaag van de bodem variëren van 20 tot 625 $\mu\text{g}/\text{kg}$ droge stof terwijl een gehalte van 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.s. als gemiddelde achtergrondconcentratie gezien kan worden (7).

Omdat metallisch kwik snel verdampst wordt de afname in de bodemconcentratie bepaald door de snelheid waarmee metallisch kwik gevormd wordt. Dit is afhankelijk van het kwikgehalte, klei- en humusgehalte, microbiologische en biochemische activiteit en de beluchting (9).

1.4 Transport, transformaties en accumulatie

1.4.1 Transport en transformaties

Het lange afstand transport van kwik vindt voornamelijk via de atmosfeer plaats (6,7,10). Diffusie en convectorie van gasvormig kwik wordt snel genoeg verondersteld voor een homogene atmosferische distributie, terwijl de distributie van particulier-gebonden kwik afhankelijk is van de deeltjesgrootte (7). Schattingen van de verblijftijd van kwik in de atmosfeer variëren van 5,5 tot 700 dagen (2,6).

Volgens een recente studie is de verblijftijd van kwik ca. 100-700 dagen en heeft een niet-geïdentificeerde kwikverbinding (kleine fractie van het totaal) een verblijftijd van enkele weken (2). De verblijftijd van metallisch kwik wordt op minimaal 100 dagen geschat (11). De schattingen van de gemiddelde verblijftijd van kwik in de atmosfeer lopen zo sterk uiteen omdat er nog onvoldoende kennis is over de speciatie van kwik in de atmosfeer en over de transportmechanismen van de atmosfeer naar het aardoppervlakte (5).

Het transport van kwik van de atmosfeer naar het aardoppervlak vindt voornamelijk door natte depositie plaats (5,10,12). Metallisch kwik wordt in de atmosfeer waarschijnlijk omgezet in anorganische kwik(II)-verbindingen en methyalkwik. Deze verbindingen zijn beter in water oplosbaar dan metallisch kwik en hebben bovendien een kleinere lucht-water distributieconstante waardoor ze sneller kunnen uitregenen. Natte depositie van metallisch kwik speelt vrijwel geen rol in het transport van kwik vanuit de atmosfeer naar het aardoppervlak (11,12,13).

Transport van kwik van het aardoppervlak naar de atmosfeer vindt voornamelijk door verdamping (ontgassen) plaats. Voor oceanen en de poolgebieden is de flux van het aardoppervlak naar de atmosfeer door verdamping berekend op resp. 49 en 4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ jaar en voor de bodem op 130 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ jaar. Het transport van kwik van het aardoppervlak naar de atmosfeer vindt voornamelijk in de vorm van metallisch kwik plaats (2).

Omdat zowel de verdampingssnelheid (14) als de lucht-water distributieconstante (13) van metallisch kwik groot zijn is de vorming en het in oplossing gaan van metallisch kwik een belangrijke stap in het transport van kwik naar de atmosfeer.

De kwikcyclus kan dan als volgt worden beschreven (zie figuur 1.1). Water-oplosbare atmosferische kwikverbindingen worden door uitregenen naar het aardoppervlak getransporteerd. Na reductie (chemisch, biologisch) tot metallisch kwik kan het kwik door verdamping terug naar de atmosfeer getransporteerd worden. In de atmosfeer kan metallisch kwik weer geoxydeerd of gemethyleerd worden tot water-oplosbare verbindingen die weer kunnen uitregenen. De verblijftijd in de bodem wordt geschat op ca. 1000 jaar, in oceanen op ca. 2000 jaar en in sediment op miljoenen jaren (2,6). Sediment wordt dan ook beschouwd als "sink" voor kwik.

Onder natuurlijke omstandigheden kan kwik zowel biologisch als chemisch gemethyleerd worden (15,16,17). Chemische methylering van kwik (II)ionen kan plaatsvinden in aanwezigheid van een geschikte methyl-donor, zoals tin- en loodalkylverbindingen, of als deze biologisch gevormd kunnen worden. Met name trimethyllood is een effectieve methyl-donor. Methylkwik kan als methyl-donor fungeren voor de methylering van edele metalen (17).

Micro-organismen zijn in staat om zowel onder aerobe als anaerobe omstandigheden uit kwik(II)ionen methylkwik en dimethylkwik te vormen. Bij lage pH wordt voornamelijk methylkwik en bij hogere pH voornamelijk dimethylkwik gevormd.

In de biologische methyleringsreacties kan een onderscheid worden gemaakt in enzymatische (de meeste biologische methyleringsreacties) en niet-enzymatische (met behulp van methylcobalamine) reacties (15, 16). De enzymatische methylering is afhankelijk van de metabole activiteit van de organismen, de totale kwik-concentratie en de beschikbaarheid van anorganisch kwik. Dit laatste is weer afhankelijk van de redoxpotentiaal, pH, aanwezigheid van sulfiden en andere complexvormers (17).

Door de bovengenoemde processen kan de methylkwikconcentratie per regio met dezelfde mate van kwikverontreiniging verschillen. Zo is de methylkwikconcentratie in eutrofe meren vaak lager dan in oligotrofe meren. De lagere concentratie in eutrofe meren kan worden verklaard

uit een hogere pH (voornamelijk vorming dimethyلكwik dat verdampt), reducerend vermogen van sediment zodat kwiksulfiden ontstaan en een verhoogde sedimentatie door de aanwezigheid van complex-vormende stoffen. Oligotrofe meren hebben vaak een lagere pH, zodat voornamelijk methyلكwik gevormd wordt. Bovendien is de bio-beschikbaarheid groter omdat het sediment oxyderend is en weinig complex-vormend materiaal bezit (17).

1.4.2 Accumulatie

Methyلكwik is een toxische lipofiele verbinding en na opname in een organisme stabiel. Andere organische kwikverbindingen zijn instabiel en degraderen sneller (16,18). Vanuit eco-toxicologisch oogpunt is vooral de vorming en aanwezigheid van methyلكwik in aquatische systemen van belang. De bioconcentratiefactor van methyلكwik in vissen kan tot een faktor 10^4 - 10^5 bedragen (18). Hoewel de methyلكwikconcentratie in het water meestal beneden de detectiegrens ligt (4) bestaat het kwikgehalte in vissen gemiddeld voor 80-90% uit methyلكwik (18,19). In andere waterorganismen is het methyلكwikpercentage gemiddeld lager (50-80%) (18). Methyلكwik wordt zowel door vissen als door invertebraten snel opgenomen en heeft een lange retentietijd. Omdat de opname-snelheid veel groter is dan de eliminatiesnelheid en de methyلكwikconcentratie in het water laag is kan methyلكwik gedurende de gehele levenscyclus van aquatische organismen accumuleren (zie ook hoofdstuk 5). Waterorganismen kunnen kwik zowel via het voedsel als het water opnemen (18,20). Demethylering vindt in vissen waarschijnlijk nauwelijks plaats (18), terwijl methylering nooit is aangetoond (16,18).

In verontreinigde gebieden zijn kwikgehalten in vissen van 20 mg/kg gemeten (Zweden), terwijl in niet-verontreinigde gebieden het kwikgehalte in de orde grootte van 1 µg/kg is (19). Hoge methyلكwikgehalten zijn ook aangetroffen in weefsels en veren van visetende vogels.

1.5 Humane toxicologie

De mens kan op verschillende manieren worden blootgesteld aan kwik. Behalve via het voedsel, het drinkwater en de buitenlucht kan blootstelling aan kwik het gevolg zijn van het werken met of het gebruiken

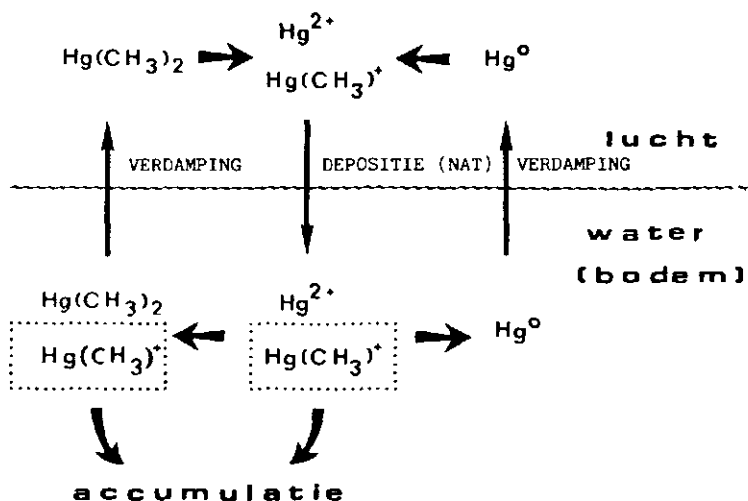


Fig. 1.1 Kwikcyclus.

N.B. Met Hg^{2+} worden anorganische kwik(II)verbindingen bedoeld.

Accumulatie vindt voornamelijk in aquatische organismen (vissen) plaats.

van kwik of kwikbevattende produkten (beroepsmatige en incidentele of accidentele blootstelling).

Begin van de jaren zestig werd het duidelijk dat het werken met kwik niet alleen kan leiden tot een verhoogde blootstelling aan kwik op de werkplaats (voornamelijk blootstelling aan metallisch kwik), maar ook indirect door verontreiniging van het milieu. In Minamata en Niigata (Japan) werden door de consumptie van met methylkwik verontreinigde vis honderden mensen vergiftigd, waarvan enkele tientallen met dodelijke afloop. Deze verontreinigingen werden veroorzaakt door industriële lozingen op het oppervlaktewater van alkykwikverbindingen (10). Ook het gebruik van alkykwikfungiciden heeft geleid tot massale vergiftigingsepidemiën. De grootste epidemie vond in Irak plaats waar in de winter van 1971-1972 meer dan 6000 mensen werden vergiftigd na de consumptie van met alkykwikfungicide behandeld zaaizaad. Deze epidemie heeft aan meer dan 500 mensen het leven gekost. De epidemie werd veroorzaakt doordat het behandeld zaaizaad, dat niet voor consumptie bestemd was, werd gebruikt voor brood (10).

Deze en andere voorvallen hebben ertoe geleid dat gedurende de laatste decennia uitgebreid onderzoek is verricht naar de humaan toxicologische werking van methyلكwik, metallisch kwik en anorganische kwik(II)-verbindingen. In tabel 1.3 is een groot aantal toxicologische gegevens opgenomen.

De door kwik veroorzaakte pathologische effecten in cellen en weefsels kunnen van orgaan tot orgaan verschillen, afhankelijk van factoren als expositieduur, metabolisme in het orgaan, effectieve toxische dosis in het orgaan, etc. In het algemeen worden door lage doses reversibele effecten en door chronische expositie aan hoge doses irreversibele effecten veroorzaakt (21). De gevoeligheid van een orgaan is niet alleen afhankelijk van het soort weefsel, maar ook van het stadium van ontwikkeling van het weefsel, met name bij methyلكwikintoxicatie.

Het prenatale leven is enkele malen gevoeliger voor methyلكwikintoxicatie dan een volwassen persoon. (In de literatuur wordt gesproken van 3x zo gevoelig (2) en van 2-5x zo gevoelig (22).) Details van het intoxicatiemechanisme van de verschillende kwikverbindingen op organen en weefsels zijn nog onvoldoende bekend. Het orgaan waar het eerst de concentratie bereikt wordt waarbij functionele veranderingen optreden is het centraal zenuwstelsel bij intoxicatie met methyلكwik en metallisch kwik en de nier bij intoxicatie met kwik(II)ionen. De nier speelt mogelijk ook een beschermende rol. De inductie van een metaalbindend eiwit in de nier bij verhoogde kwikconcentraties wijst in die richting. Mutagene effecten van methyلكwik bij mensen zijn niet uitgesloten (23).

Tabel 1.3 Humaan-toxicologische gegevens van metallisch kwik, methylkwik en kwik(II)ionen.

Humane Toxicologie	
Metallisch kwik (gasvorming)	Methylkwik
<p>Opname</p> <p>Voor 100% via insademing, in geringe mate via de huid, nauwelijks absorptie in het maagdarm-kanaal. 80% van de ingeademde damp wordt door de long geabsorbeerd en vastgehouden</p>	<p>Anorganische kwik(II)verbindingen (Hg²⁺)</p> <p>15% van orale toediening langzaam via maag-darmkanaal geabsorbeerd. Bij kinderen kan dit ± 50% zijn ook is absorptie via huid mogelijk.</p>
<p>distributie en transport</p> <p>Via diffusie in het bloed naar alle lichaamsweefsels. In 24 uur volledige diffusie, conc. erythrocyten/plasma = 2:1. Transport door bloed - hersenen barrière en placenta</p>	<p>Via bloedstroom. Conc. erythrocyten/plasma 1:1 in plasma gebonden aan eiwit. Slechts voor klein gedeelte door de barrières heen</p>
<p>accumulatie</p> <p>(als Hg²⁺) in: centrale zenuwstelsel, hersenen, lever, beenderen, nier en foetus.</p>	<p>o.a.: in de cellen van slijmvliezen van maag-darmkanaal, nier (90%).</p>
<p>"target orgaan"</p> <p>Geruime tijd na expositie bevindt 90% van de lichaamsbelasting zich in het nierepitheel</p>	<p>Nier</p>
<p>excretie</p> <p>In gelijke hoeveelheden via faeces en urine als mercurizout. Klein gedeelte uitgedemd (duur expositie van belang)</p>	<p>In gelijke hoeveelheden door faeces en urine.</p>
<p>eliminatie</p> <p>Gaat even snel als distributie (m.u.v. hersenen) gemiddelde waarden:</p> <p>hele lichaam - 50 dagen hersen - 20 dg/jaren bloed - 3/30 dagen</p>	<p>Eliminatie uit hersenen is langzaam:</p> <p>hele lichaam - 42 dagen hersen - kan jaren zijn bloed - 26 dagen</p>
<p>biotransformatie</p> <p>Uit in vitroproeven blijkt: Hg⁰ snel Hg²⁺ geoxydeerd door H₂O₂-catalase complex in rode bloedcellen, lever en nier. Lage conc. ethanol inhibiteren.</p>	<p>Hg²⁺ wordt in lever en nierweefsels gereduceerd tot Hg⁰. Mechanisme is nog niet opgehelderd, wel bij bacteriën (26). Glutathion reductase kan erbij betrokken zijn.</p>
<p>biochemie</p> <p>Ionisch kwik heeft grote affiniteit voor SH-groepen van eiwitten in membranen en enzymen. Hg damp is uiterst lipofiel. In o.a. de nier kan kwikdampinhalatie aanleiding geven tot de inductie van een zware metalen bindend eiwit: metallo-thioneine (MT) (27)</p>	<p>HgCl₂ slaat alle eiwitten waar het mee in contact komt neer.</p>

Metallisch kwik (gasvorming)	Methylkwik	Anorganische kwik(II)verbindingen (Hg ²⁺)
<p>Toxische effecten Acuut - (hoge dosis, korte expositie)</p> <p>Alg. klachten als vermoeidheid, gebrek aan eetlust etc.</p> <p>ernstiger: longoedeem pneumonitis</p> <p>Chronisch - (lage dosis - lange termijn-expositie)</p> <p>aandoeningen CZS (meestal reversibel)</p> <p>erythisme, tremor, psychiatrische symptomen, beschadigingen primaire tubuli van de nier.</p> <p>Geen mutagene, teratogene of carcinogene effecten aangetoond.</p>	<p>Acuut - shock, hersenlaesie, mucosa, beschadiging maag-darmkanaal</p> <p>Chronisch - ataxia vernaauwing gezichtsveld doofheid</p> <p>irreversibele effecten, "Minnemata ziekte" teratogeen - praeinatale stadium is het meest gevoelige. Irreversibele aandoeningen van CZS.</p> <p>Mutagene - genetische effecten waargenomen in Drosophila en plantencellen. Dominant</p> <p>Lethaal test: + bij ratten, - bij muizen (23)</p>	<p>Acuut - werken zeer corrosief, dood mogelijk door nierbeschadiging en systematische shock, huidirritatie (allergien) (tandartspraktijk).</p> <p>Chronisch - weinig informatie</p> <p>Bij kinderen: acrodynia (pink's disease) t.g.v. toepassing van kwikhoudende medicamenten. (is nu verboden.)</p>
<p>detoxificatie</p> <ul style="list-style-type: none"> - door chelerende agentia zoals: dimer-caprol en d-penicillamine, ze geven verhoogde kwikexcretie in de urine - metallothioneïne (zie boven) <p>- Seleniumzouten - 5 ppm aan het dieet toegevoegd Se werkt efficiënt tegen chronische methylkwikvergiftiging bij ratten. Ook interakties van Hg en Se in acute en chronische studies met anorg. Hg verbindingen waargenomen. Na chronische exposities wordt een complex gevormd waarin Hg en Se in 1:1 moleculaire verhouding aanwezig zijn. Mechanisme onbekend (28).</p>	<p>Dimercaprol kan juist verhoging van kwikopname in hersenen bewerkstelligen.</p>	<p>Dimercaprol (BAL)</p>
<p>diagnostiek: biologische indicator van absorptie</p> <p>Voor acute intoxicaties: bloed</p> <p>Voor chronische intoxicaties: urine</p>	<p>Bloed- en haarbepalingen (29,30)</p>	
<p>dosis-effect-relaties</p>	<p>concentratie in urine effect</p> <p>kwikgehalte in bloed haar</p>	<p>Geen gegevens over dosis-effectrelaties in mensen beschikbaar.</p>
<p>geen expositie < 20 µg Hg/l</p> <p>chronisch 50-100 µg Hg/l milde proteïnuria</p> <p>chronisch > 300 µg Hg/l psychomotorische effecten</p>	<p>lage visconsumptie 3 µg Hg/l</p> <p>hoge visconsumptie 50 µg Hg/l</p> <p>milde effect. 200 µg Hg/l</p> <p>ernstige effecten 500-1000 µg/l</p> <p>125-500 µg/g</p>	<p>3 µg Hg/g</p> <p>50 µg Hg/g</p> <p>50 µg Hg/g</p> <p>125-500 µg/g</p>
	<p>teratogene effecten al bij 10-20 µg/l in het haar van de moeder.</p>	

Ondanks de beschikbare informatie over opname, biotransformatie en excretie zijn er nog veel meer gegevens nodig om tot een verantwoorde risico-evaluatie van de blootstelling aan kwik te komen. De aanvaardbare wekelijkse opname van kwik door de mens is in 1973 door de WHO/FAO gesteld op 300 microgram per week per persoon. Hiervan mag niet meer dan 200 µg in de vorm van methylkwik worden opgenomen (10). Een kwikgehalte van 20 µg/l in het bloed wordt aanvaardbaar geacht. De MAC-waarde bedraagt in Nederland 10 µg/m³ voor alkylkwikverbindingen en 50 µg/m³ voor de overige kwikverbindingen. Door een WHO-werkgroep is in 1980 een MAC-waarde van 25 µg/m³ aanbevolen (31). Het beroepsmatig werken met methylkwik door vrouwen die in de leeftijd zijn dat ze kinderen willen krijgen, wordt door de WHO afgeraden omdat het prenatale leven erg gevoelig voor methylkwik is (10). In hoofdstuk 8 wordt de blootstelling van de mens door de opname van kwik via het voedsel, het drinkwater en de lucht besproken. Vanuit toxicologisch oogpunt is vooral de zoetwatervisconsumptie van belang (hoge methylkwikgehalten). Teratogene effecten kunnen al optreden bij een totaal kwikgehalte in het haar van 10-20 µg/g (2, zie tabel 1.3). In een onderzoek in 1974 naar de relatie tussen de visconsumptie en het kwikgehalte in bloed en haar van de Nederlandse bevolking werd bij 4 personen een kwikgehalte in het haar gevonden waarbij mogelijk teratogene effecten kunnen optreden. Bij 3 personen kon het gehalte verklaard worden uit het gebruik van shampoo (exogene opname). Bij 1 persoon werd het hoge gehalte veroorzaakt door de opname van methylkwik door een hoge visconsumptie (w.o. zoetwatervis) (Gehalte in bloed 40,5 µg/l, gehalte in haar 13,2 µg/g) (30) (zie ook hoofdstuk 8).

1.6 Nederlandse richtlijnen en normen

In Europa wordt kwik tot de zogenaamde "zwarte lijst stoffen" gerekend (Verdrag van Oslo (1972), Verdrag van Parijs (1975) en de kaderrichtlijn van de EEG (76/464/EEG) uit 1976). Zwarte lijst stoffen zijn stoffen die op grond van giftigheid, slechte afbreekbaarheid en de neiging zich op te hopen in voedselketens niet in het milieu behoren terecht te komen. In referentie 32 wordt uitgebreid ingegaan op de internationale richtlijnen en verdragen en op de Nederlandse wetgeving en normstelling met betrekking tot kwik. In tabel 1.4 is een overzicht gegeven van de Nederlandse richtlijnen en normen (32,33).

Tabel 1.4 Nederlandse richtlijnen en normen met betrekking tot kwik.

aanvaardbare opname door de mens via het voedsel	als totaal-kwik	300 µg per persoon per week (=43 µg per persoon per dag)
	als methyلكwik	200 µg per persoon per week (=28 µg per persoon per dag)
MAC-waarde	alkylkwik	1 ng/g lucht 10 µg/m ³
	organisch en anorganisch kwik m.u.v. alkylkwik	50 µg/m ³
gehalte aan kwik in bloed		20 ng/g bloed
ontwerp-normen voor voedingsmiddelen	graanprodukten	0,03 mg/kg
	aardappelen	0,02 mg/kg
	diverse groenten	0,03 mg/kg
	champignons	0,03 mg/kg
	vruchten	0,01 mg/kg
	vlees incl. pluimvee	0,05 mg/kg
	runder, varkens- en kippelever	0,05 mg/kg
	runder- en varkensnier	0,1 mg/kg
	ei	0,03 mg/kg
	melk en melkprodukten (op basis van melk)	0,01 mg/kg
	vis, schaal- en schelpdieren	1,0 mg/kg
	diervoedingsmiddelen	vismeel
overige diervoeders		0,1 mg/kg
zuiveringsslib voor toepassing in de landbouw		5 mg/kg
basiskwaliteit oppervlaktewater		0,5 µg/l
drinkwater	kwaliteitsnorm oppervlaktewater bestemd voor bereiding drinkwater	0,3 µg/l
	oppervlaktewater als grondstof voor drinkwater	
	Klasse I	0,3 µg/l
	Klasse II	1 µg/l
	Klasse III	1 µg/l
Drinkwater		1 µg/l
Chemisch afval, minimumconcentratie		50 mg/kg

grenswaarden in industrieel afvalwater	chlooralkali-industrie (sinds 1-7-1983)	0,5 g per ton geïnstalleerde chloorproductiecapaciteit
	andere bedrijfstakken (gebruik en produktie kwikhoudende katalysatoren, produktie organische en anorganische kwikverbindingen en van batterijen, produktie non-ferro-metalen, verwerking toxische afvalstoffen). Vanaf 1-7-1987	0,1 mg/l
	Vanaf 1-7-1990	0,05 mg/l

toetsingswaarden voor onderzoek en sanering bij verontreiniging van water en bodem

	Grond en slib	Grond- en oppervlaktewater
	mg/kg droge stof	µg/l
Referentiewaarde (A-waarde)	0,5	0,2
Toetsingswaarde voor nader onderzoek (B-waarde)	2	0,5
Toetsingswaarde voor sanering of onderzoek daartoe (C-waarde)	10	2

cosmetica	fenylkwikverbindingen in oogcosmetica en kontaktlenzenvloeistof	70 µg/g
	fenylkwikverbindingen in shampoo en crèmes met non ionogene emulgator	30 µg/g

Hoofdstuk 2 PRODUKTIE EN GEBRUIK VAN KWIK

Samenvatting

Tot 1900 was het gebruik van kwik en kwikerts beperkt tot de chemie, amalgameren, medicijnen en decoratieve toepassingen. In de twintigste eeuw zijn daar een groot aantal toepassingen bijgekomen, o.a. als katalysator, warmtegeleider, in de kwik-electrolysecel (chloor-alkali-industrie) en als bactericides en fungicides (landbouw, verf, plastics etc.).

De mondiale produktie bereikte in 1971 een hoogtepunt van 10.600 ton, waarna de produktie daalde tot ca. 6000 ton in 1978. Behalve door de produktie en het gebruik van kwik komt kwik in het milieu door het gebruik van fossiele brandstoffen en bij de ertsverwerking. Tenslotte zijn er nog een aantal natuurlijke kwikbronnen waarvan het uitspoelen en eroderen van kwikbevattende gesteenten en vulkanen de belangrijkste zijn.

De totale mondiale emissie in 1972 wordt geschat op ca. 50.000-60.000 ton, waarvan 18.000 ton door antropogene emissies en 30.000-40.000 ton door natuurlijke emissies. De antropogene emissies veroorzaken vooral lokale verontreiniging. Er zijn tot nu toe geen aanwijzingen dat de antropogene emissies tot een mondiaal kwikprobleem zullen leiden. De Europese emissie bedroeg in 1972 ca. 3300 ton, waarvan 22% op het oppervlaktewater werd geloosd. Van deze wateremissie was 74% afkomstig van de chloor-alkali-industrie. Om de verontreiniging van met name het oppervlaktewater tegen te gaan zijn vanaf het begin van de jaren zeventig zowel nationale als internationale maatregelen getroffen. Sinds 1976 staat kwik bij de lidstaten van de EG op de zwarte lijst. De kwikemissie op het oppervlaktewater door de chloor-alkali-industrie is sinds 1972 teruggedrongen tot een niveau dat vergelijkbaar is met andere industrietakken (In Nederland van 10-15 gram kwik per ton chloorproductiecapaciteit in 1970 tot 0,4 g/ton chloorproductiecapaciteit in 1982).

Het kwikverbruik in Nederland bedroeg in 1970 ca. 100 ton, in 1974 ca. 65 en in 1980 37 ton. Tussen 1970 en 1974 vond de grootste afname in de chloor-alkali-industrie, de verfindustrie en de produktie van organische kwikverbindingen plaats. Tussen 1974 en 1980 in de chlooral-

kali-industrie, de landbouw en de produktie van organische kwikverbindingen.

Na 1980 zijn de kwikverliezen in de chloor-alkali-industrie verder afgenomen, en in 1983 zijn twee van de vier kwikelectrolyse bedrijven gesloten. Het gebruik van kwik in batterijen (vooral alkaline batterijen) neemt de laatste jaren sterk toe. In Europa is het kwikgebruik in batterijen toegenomen van 213 ton in 1980 tot naar schatting 550 ton in 1985, en in Nederland van 8 ton in 1980 tot 12-18 ton in 1984. Hierdoor zal het kwikverbruik in 1984 waarschijnlijk hoger zijn geweest dan in 1980.

2.1 Inleiding

Het gebruik van kwik en kwikerts (cinnaber) dateert van voor onze jaartelling. Het oudste geregistreerde gebruik van kwik wordt door Aristoteles gemeld (384-322 voor Chr.), terwijl in Egyptische graven van 1600-1500 voor Chr. kwik is gevonden (3).

Tot 1900 was het gebruik van kwik en kwikerts beperkt tot de chemie, amalgameren, medicijnen en decoratieve toepassingen. Door de eigenschappen van kwik en kwikverbindingen zijn daar in de 20ste eeuw een groot aantal toepassingen bijgekomen, met name industriële en agrarische.

Eigenschappen van kwik zijn (34):

1. Kwik is vloeibaar bij kamertemperatuur, heeft een hoog elektrisch geleidingsvermogen en kan gemakkelijk legeringen met andere metalen vormen. Door deze eigenschappen vindt kwik toepassing in elektrische apparatuur en de kwik-electrolyse cel (chloor-alkali-industrie);
2. Kwik heeft een goed warmtegeleidingsvermogen waardoor het in de industrie toegepast wordt als warmtegeleider;
3. Kwik is een vloeistof met een hoge thermische expansie waardoor het in thermometers e.d. toegepast kan worden;
4. Kwik-acetyleen verbindingen hebben een goed katalyserend vermogen;
5. Veel kwikverbindingen zijn erg toxisch, waardoor ze gebruikt kunnen worden als bactericides en fungicides in een groot aantal toepassingen (landbouw, verf, farmacie, plastics, etc.).

De mondiale kwikproduktie bereikte in 1971 een hoogtepunt van 10.600 ton (22), waarna de produktie daalde tot ca. 6000 ton in 1978 (35).

Potentiële bronnen van milieuverontreiniging met kwik of kwikverbindingen zijn alle processen waarbij kwik wordt gebruikt en alle producten waarin kwik verwerkt is. Dit wordt het intentioneel gebruik genoemd.

Daarnaast wordt kwik in het milieu gebracht door het gebruik van fossiele brandstoffen en door de ertsverwerkende industrie. In deze gevallen is het kwik als verontreiniging aanwezig en wordt daarom het niet-intentionele gebruik genoemd. De belangrijkste intentionele en niet-intentionele bronnen zijn in tabel 2.2 weergegeven.

De totale mondiale belasting van het milieu door deze bronnen werd in 1972 geschat op 18.000 ton per jaar, waarvan ca. 9.000 ton door het intentioneel en ca. 9000 ton door het niet-intentioneel gebruik (7). Tenslotte zijn er nog een aantal natuurlijke bronnen, waarvan vulkanen en het uitspoelen en eroderen van kwikbevattende gesteenten de belangrijkste zijn. De belasting door natuurlijke bronnen wordt geschat op 30.000-40.000 ton per jaar (5,7).

De bijdrage van de antropogene emissie op de totale kwikemissie wordt op ca. 30% geschat. De antropogene kwikemissie kan lokale milieuproblemen veroorzaken. Er zijn geen aanwijzingen dat de antropogene kwikemissie tot een milieuprobleem op mondiaal niveau zal leiden (6).

De antropogene kwikemissie in Europa bedroeg in 1972 ca. 3300 ton (1700 intentioneel en 1600 niet-intentioneel gebruik) (7). De emissies naar de lucht, water en de bodem bedroegen resp. 65%, 22% en 13%. De wateremissie was voor 74% afkomstig van de chloor-alkali-industrie. Omdat de milieuproblemen die door het gebruik van kwik veroorzaakt werden meestal het direkte gevolg van lozingen op het oppervlaktewater waren, zijn vanaf het begin van de jaren zeventig in de westerse landen, zowel internationale als nationale maatregelen getroffen om de kwikemissies op vooral het oppervlaktewater drastisch te beperken. Sinds 1976 wordt kwik in Europa tot de zogenaamde zwarte lijst stoffen gerekend.

De OECD heeft in 1973 de bij de OECD aangesloten lidstaten een aantal maatregelen geadviseerd om de antropogene kwikemissies te beperken en in enkele gevallen te stoppen. Uit een inventarisatie onder de aangesloten lidstaten in 1982 blijkt dat sinds 1973 het gebruik en de emissie van kwik door de chloor-alkali industrie tot een niveau is teruggebracht dat vergelijkbaar is met het gebruik en de emissie van kwik door andere industrietakken. Door de slechte respons op de inventarisatie van de andere industrietakken zijn trends in het gebruik en de emissie van kwik door die industrietakken moeilijk aan te geven (36). Een industrietak waar een duidelijke toename wordt geconstateerd is de batterij-industrie. In 1980 werd door de Europese primaire batterij-industrie 213 ton kwik gebruikt. Uit marktonderzoek wordt een Europees gebruik van 550 ton in 1985 verwacht (37).

2.2 Kwikgebruik in Nederland

2.2.1 Invoer en uitvoer van kwik in Nederland

In tabel 2.1 zijn de Nederlandse import- en exportgegevens van kwik en kwikverbindingen vermeld. De hoge uitvoer van metallisch kwik in 1984 is waarschijnlijk het gevolg van de sluiting van twee chloor-alkali bedrijven eind 1983 (38).

De Nederlandse afzet (= het kwikverbruik in Nederland) kan niet gelijkgesteld worden aan het verschil tussen in- en uitvoer. Behalve voorraadmutaties vindt er nog import van kwikbevattende gerede artikelen uit het buitenland plaats en uitvoer van in Nederland geproduceerde artikelen. Ook worden er kleine hoeveelheden anorganische kwik(II)zouten en kwikbevattende fungiciden geïmporteerd.

De geïmporteerde organische kwikverbindingen bestaan voor een deel uit geformuleerde producten, zodat de invoer op basis van de hoeveelheid kwik iets lager is dan de getabelleerde hoeveelheid. De uitgevoerde hoeveelheid organische kwikverbindingen bestaat voor een deel uit gerede artikelen die slechts een klein percentage actieve stof bevatten en uit geformuleerde producten. De uitvoer van organische kwikverbindingen op basis van de hoeveelheid kwik is daarom veel lager dan de getabelleerde waarde.

Tabel 2.1 Produktie, invoer en uitvoer van kwik en kwikverbindingen
(in tonnen).

	1970	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
METALLISCH KWIK												
Produktie*			0,18	0,68	0,64	0,60	0,43	0,29	0,10	-	-	-
Invoer			93	104	40	85	120	205	157	131	344	157
Uitvoer			42	79	60	62	101	189	149	113	418	377
Invoer - uitvoer	54	60	51	25	-20	23	19	16	8	18	-74	-220
KWIKOXYDE												
Invoer			62	32	22	33	23	31	29	63	47	65
Uitvoer			-	-	-	-	-	-	-	2	2	-
Invoer - uitvoer	72	90	62	32	22	33	23	31	29	61	45	65
ORGANISCHE KWIKVERBINDINGEN**												
Invoer	2	48	26	41	72	63	52	69	38	12	11	6
Uitvoer	375	44	272	321	268	278	238	363	341	507	452	474

Bron: 1970, 1974 : ref. 39

1975 t/m 1982: ref. 32

1983, 1984 : ref. 38

* Wordt gewonnen bij de aardgaswinning

** De uitvoer heeft gedeeltelijk betrekking op gerede producten met maar een klein percentage actieve stof.

In 1980 bedroeg de totale hoeveelheid geïmporteerd kwik circa 107 ton, namelijk 16 ton metallisch kwik, 11 ton in gerede artikelen en circa 80 ton kwikoxyde en organische kwikverbindingen. Deze laatste verbindingen werden na formulering vrijwel geheel uitgevoerd. Door voorraadmutaties werd van de 16 ton geïmporteerd metallisch kwik maar ongeveer 15 ton gebruikt. Hiervan werd weer circa 1 ton in gerede artikelen uitgevoerd. De totale afzet in Nederland bedroeg in 1980 circa 25 ton (14 ton van het geïmporteerde metallisch kwik en circa 11 ton in ingevoerde gerede artikelen) (32).

2.2.2 Kwikverbruik in Nederland

Van het kwikverbruik in Nederland is in 1970 (40), 1974 (39) en 1980 (32) een balans opgesteld. Onder het kwikverbruik wordt de in Nederland afgezette hoeveelheid kwik verstaan.

In tabel 2.2 zijn de resultaten van deze studies weergegeven.

Tabel 2.2 Kwikverbruik in Nederland in 1970 (ref. 40), 1974 (ref. 39) en 1980 (ref. 32)(verbruik in tonnen).

BRON	1970	1974	1980
tandheelkunde	4	4,5	7
chloor-alkal.	20-34	6,1	4
landbouw	2,5-3,6	3	0,5
pulp en papier	0,2	0,2	
verf	23	0,8	
farmacie en cosmetica	1,7	0,2	
laboratoria	2,5	5	1
katalysatoren		0,5	
electr. app. en controle inst.	16	15-20	11,8
overigen	2,5		0,3
Productie organische kwikverbindingen	9	4	
aardgas	2,5	14,6	11,5
olie	10	6	0,6
kolen	2	1,2	
ertsverwerking			0,5
Totaal	96-111	61-66	37

Het verbruik van kwik in Nederland is van ca. 100 ton in 1970 teruggebracht tot ca. 37 ton in 1980. De grootste afname tussen 1970 en 1974 vond in de chloor-alkali-industrie plaats. Het kwikverbruik daalde van 100-150 g kwik per ton geproduceerd chloor in 1970 tot 25 g in 1974 (29). In 1980 was het kwikverbruik tot ongeveer 10 g per ton geproduceerd chloor gedaald (32). In 1983 zijn twee van de vier chloor-alkali-bedrijven die van een kwik-electrolyse cel gebruik maakten gesloten, zodat het totale verbruik in 1984 verder gedaald is. In tabel 2.3 zijn de kwikverliezen van de Nederlandse chloor-alkali-industrie sinds 1970 weergegeven.

Het kwikverbruik in de verfindustrie is in 1970 waarschijnlijk veel te hoog geschat. Het geregistreerde verbruik bedroeg in 1970 6,2 ton (39). Dit betekent nog altijd dat het kwikverbruik door de verfindustrie tussen 1970 en 1974 sterk gedaald is. Voor de binnenlandse afzet worden in Nederland geen kwikhoudende verven meer geproduceerd. Er vindt wel nog import van kwikhoudende verven plaats (32). Het verbruik door laboratoria is voor 1974 ruw geschat op basis van een toename in

Tabel 2.3 Kwikverliezen van de Nederlandse chloor-alkali-industrie
(ref. 32).

	1970		1974		1979		1980		1982	
	kg	g/ton chloor- produktie- capaciteit	kg	g/ton chloor- produktie- capaciteit	kg	g/ton chloor- produktie- capaciteit	kg	g/ton chloor- produktie- capaciteit	kg	g/ton chloor- produktie- capaciteit
Ventilatielucht	-	5-10	-	10	2 166	5,8	2 838	7,6	1 630	4,4
Water	-	10-15	-	13	628	1,7	539	1,5	150	0,4
Waterstof + proceslucht	-	25-50	-	-	554	1,5	465	1,3	470	1,3
Loog	-	10-20	-	-	227	0,6	195	0,5	150	0,4
Vast afval	-	10-20	-	-	-	-	-	-	150	0,4
Totaal	34 000	100-115	6 100	25	3 575	9,6	4 037	10,9	2 550	6,9

het aantal standaardwater-analyses. In 1980 werd 0,2 ton voor de standaardwater analyses verbruikt.

In 1974 waren door geheimhouding van produktie- en afzetgegevens geen gegevens beschikbaar over het kwikverbruik in elektrische apparatuur en controle-instrumenten. De getabelleerde waarde is afgeleid uit de import en verbruiksgegevens in de overige categorieën.

In 1980 is voorzover mogelijk wel gebruik gemaakt van beschikbare gegevens. Het grootste deel werd in batterijen verbruikt (8 ton), een deel in meetapparatuur (2,5 ton) en elektrische apparaten (1,3 ton).

Ten opzichte van 1980 neemt het gebruik van batterijen toe. In 1980 werd het kwikverbruik door het gebruik van batterijen geschat op circa 8 ton, in 1983 op circa 10 ton (32). Op basis van verkoopcijfers van batterijen in 1982 wordt het kwikverbruik in 1982 geschat op 8,5-12 ton (42). Het grootste deel van het kwikverbruik door het gebruik van batterijen is afkomstig van de alkaline batterij, namelijk circa 80% (32,42). Alleen al door een toename van de verkoop van alkaline batterijen van 16 - 25 miljoen stuks in 1982 naar 25 - 40 miljoen stuks in 1984 stijgt het kwikverbruik door het gebruik van batterijen tot 12 - 18 ton in 1984 (42).

De afname in het kwikverbruik in de landbouw is vooral het gevolg van wettelijke bepalingen (bestrijdingsmiddelenwet). In 1974 werden kwikhoudende bestrijdingsmiddelen nog toegepast in de fruitteelt, bloembollenteelt en zaaigran- en knolontsmetting. Sinds 1980 is het verbruik alleen nog toegestaan voor de ontsmetting van pootaardappelen en zaaizaad van granen en vlaszaad. Tot 1983 werden kwikverbindingen

bovendien op zeer kleine schaal gebruikt voor de behandeling van boomwonden (32).

De toename in het kwikverbruik in de tandheelkunde is voornamelijk het gevolg van een verschillende interpretatie van de gegevens. Ongeveer een kwart van het verbruikte kwik blijft over bij de aanmaak van het amalgaam. In 1970 en 1974 is men ervan uitgegaan dat dit werd teruggeleverd aan de leverancier, in 1980 is dit deel bij het verbruik gerekend, terwijl er wel 1,5-2 ton voor hergebruik werd teruggeleverd.

Het verbruik van kwik bij de produktie van organische kwikverbindingen in 1970 en 1974 heeft betrekking op lozingen met het afvalwater van twee producenten van organische kwikverbindingen. In 1976 is één van deze producenten gestopt met de produktie van organische kwikverbindingen. Voor 1980 werd geen opgave van de kwikemissie bij de produktie van organische kwikverbindingen gedaan. Voor de produktie van organische kwikverbindingen wordt voornamelijk het geïmporteerde kwikoxyde gebruikt (32,39).

De afname in het kwikverbruik door het gebruik van kolen en olie tussen 1970 en 1974 enerzijds en 1980 anderzijds wordt voor een groot deel veroorzaakt door een verschillende interpretatie van het kolen- en oliegebruik en het gehanteerde kwikgehalte in met name olie. Voor 1974 is het kwikgehalte in aardolie geschat op 0,1 ppm en voor 1980 op 0,004 ppm. Daarnaast werd voor 1970 en 1974 uitgegaan van de totaal aangevoerde hoeveelheid olie, terwijl voor 1980 alleen dat deel van de aangevoerde olie dat voor transport, verwarming en energieopwekking werd gebruikt in rekening werd gebracht. Deze hoeveelheid bedroeg ongeveer de helft van de bij de raffinaderijen aangevoerde hoeveelheid olie.

Bij het kolenverbruik werd in 1970 en 1974 van een kwikgehalte van 0,2-0,5 ppm uitgegaan, in 1980 van 0,25 ppm. In 1980 werd het deel van de kolen dat voor de cokesfabrikage gebruikt werd, niet meegerekend (60%). Door deze verschillende interpretatie van het kolen- en oliegebruik, en door het hanteren van verschillende kwikgehalten ontstaat tussen 1974 en 1980 een verschil in het kwikverbruik van ongeveer 6 ton. Het verschil in met name het kwikgehalte van olie kan veroorzaakt worden doordat het gehalte van 0,1 ppm (1974) gebaseerd is op

buitenlandse literatuurgegevens, terwijl het gehalte van 0,004 ppm, (1980) gebaseerd is op door een Nederlands olieverwerkend bedrijf verstrekte gegevens over in Nederland geïmporteerde olie en het gehalte dat door de emissieregistratie voor stookolie wordt gehanteerd (32). Het kwikgehalte van ruwe olie hangt af van de plaats van herkomst (3).

Het kwikverbruik door aardgas wordt grotendeels bepaald door het kwikgehalte van het ruwe aardgas bij de aardgaswinning in Groningen en Noord-Drenthe ($180 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$). Voor de distributie wordt het aardgas gedroogd en gezuiverd, waarmee ongeveer $168 \mu\text{g kwik}/\text{Nm}^3$ uit het gas verwijderd wordt (vnl. chemisch afval). Tijdens de distributie blijft een deel van het resterende kwik in het buizenstelsel achter. Tijdens onderhoudswerkzaamheden aan het distributienet wordt dit kwik verwijderd (wordt hergebruikt). Het kwikverbruik is berekend uit het kwikgehalte van het ruwe gas bij de winning in Groningen en Noord-Drenthe en de daar gewonnen hoeveelheid gas. In 1974 is bovendien de uit het distributienet verwijderde hoeveelheid kwik bij het verbruik gerekend. Het kwikverbruik door de ertsverwerkende industrie is voor 1980 bepaald uit de kwikverliezen met het afvalwater. Gegevens over de lucht-emissie konden door geheimhouding niet worden verstrekt. Door het RIZA wordt de luchtemissie op 0,8 ton/jaar geschat (41).

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat tussen 1970 en 1974 een sterke afname in het kwikverbruik in Nederland heeft plaatsgevonden, met name in de chloor-alkali en de verfindustrie en bij de produktie van organische kwikverbindingen. Tussen 1974 en 1980 heeft deze daling zich in verminderde mate voortgezet, met name in de chloor-alkali-industrie en in de landbouw.

Het verbruik door laboratoria en in elektrische apparaten en controle-instrumenten in 1974 en 1980 worden op verschillende manieren geschat, zodat aan de afname in deze sectoren geen absolute waarde gehecht kan worden. Het is moeilijk een reële schatting te geven van het niet-intentioneel kwikverbruik. De afname in het kwikverbruik door het gebruik van kolen en olie is vooral het gevolg van de interpretatie van de gegevens.

Sinds 1980 is het kwikverbruik door de chloor-alkali-industrie verder gedaald. Daar staat een sterke toename van het kwikverbruik door het gebruik van batterijen tegenover. Het kwikverbruik is door het gebruik van batterijen in 1984 met 4-10 ton ten opzichte van 1980 gestegen. Hierdoor zal het totale verbruik in 1984 waarschijnlijk hoger zijn geweest dan in 1980. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de hoeveelheden kwik die uiteindelijk in het milieu terecht komen.

Hoofdstuk 3 KWIKSTROMEN IN NEDERLAND

Samenvatting

De grootste kwikstromen zijn het huishoudelijk afval (in 1980 13 ton, in 1984 19 ton), het rivier- en Noordzeeslib (in 1980 20 ton, in 1984 15 ton) en de baggerspecie (in 1980 en 1984 circa 19 ton). In 1980 werd ca. 40 ton kwik in het Nederlandse milieu gebracht (excl. de Noordzee), nl. ca. 20 ton door het kwikverbruik en 20 ton door sedimentatie van rivier- en Noordzeeslib. Door baggerwerkzaamheden werd ca. 19 ton kwik aan het water onttrokken, waarvan 8 ton op het land en 11 ton in de Noordzee gestort werd.

De belasting van de bodem bedroeg in 1980 ca. 18 ton, waarvan ca. 16 ton gestort werd (baggerspecie 8 ton en huisvuil 8 ton). In 1984 werd geen baggerspecie meer op het land gestort. De hoeveelheid kwik die met het huisvuil wordt gestort is sinds 1980 gestegen tot ca. 11 ton. De totale bodememissie zal in 1984 lager zijn geweest. De belasting van de agrarische bodem bedroeg in 1980 ca. 1,7 ton (vnl. in meststoffen). Kwik heeft in de bodem een lange verblijftijd zodat storten de gebruiksfunctie van de bodem kan beperken. Bovendien kan het grondwater onder stortlokaties verontreinigd worden.

De belasting van het oppervlaktewater bedroeg in 1980 ca. 20 ton, waarvan 1-1,5 ton door directe emissies (industriëel en diffuus), de rest door sedimentatie van rivier- en Noordzeeslib. De directe emissies zullen door een afname van de industriële emissies in 1984 ca. 0,4 ton lager zijn geweest. Het kwikgehalte van het rivierslib is sinds 1971 gedaald. Hierdoor verbetert de kwaliteit van het afgezette rivierslib.

Sinds 1980 is de sedimentatie van kwik in rivier- en Noordzeeslib met ongeveer 5 ton afgenomen tot ca. 15 ton in 1984. Door baggerwerkzaamheden wordt jaarlijks ca. 19 ton kwik uit de havens en de vaargeulen verwijderd. Hierbij worden ook oudere, meer verontreinigde, sedimentlagen verwijderd.

Baggerwerkzaamheden kunnen de waterkwaliteit nadelig beïnvloeden omdat bodemmateriaal in suspensie kan worden gebracht, en oudere meer verontreinigde sedimentlagen aan de oppervlakte kunnen komen. Het kwikgehalte van de klasse 2 en 3 specie (matig verontreinigd) is sinds 1977 afgenomen van 4 mg/kg d.s. naar 2 mg/kg d.s.

De luchtemissie bedroeg in 1980 ca. 7,5-9 ton. Hiervan was 50-60% afkomstig van de vuilverbranding. Door de stijging van het kwik in huishoudelijk afval is de luchtemissie met ca. 1,5 ton toegenomen. Daar staat een vermindering van de industriële emissie tegenover. De totale emissie zal in 1984 groter zijn geweest.

3.1 Inleiding

Het Nederlandse milieu wordt met kwik belast door directe kwikemissies, door het gebruik en de verwerking van bulk- en afvalstoffen waarin kwik als verontreiniging aanwezig is en door het kwik dat met de grensoverschrijdende rivieren wordt meegevoerd.

In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van de produktie en het gebruik van kwik. Een deel van het gebruikte kwik wordt direkt geëmitteerd en een deel komt in het afval terecht. Na de verwerking van het afval kan het kwik uiteindelijk in het milieu terecht komen.

In hoofdstuk 5 wordt de kwikvracht van de grensoverschrijdende rivieren besproken. Een deel van de meegevoerde kwikvracht sedimenteert in Nederland. Daarnaast vindt er voornamelijk in de havens en de Waddenzee sedimentatie van Noordzeeslib plaats. Bij het op diepte houden van havens en vaargeulen wordt sediment weggebaggerd dat uiteindelijk een bestemming op het land (tot voor kort) of in de Noordzee krijgt.

In dit hoofdstuk worden de verschillende kwikstromen in Nederland besproken. Als basisjaar geldt 1980, omdat van dat jaar de meeste gegevens beschikbaar zijn.

3.2 Direkte kwikemissies

Volgens het CBS (32) bedroeg de kwikemissie met het huishoudelijke en industriële afvalwater in 1981 ca. 2,1 ton. Hiervan werd 1,5 ton op het oppervlaktewater geloosd en kwam 0,6 ton in het zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties terecht. Van de 1,5 ton die geloosd werd, werd 1,4 ton op het zoete water (resp. 0,8 en 0,6 ton op Rijkswateren en niet-Rijkswateren) en 0,1 ton op het zoute water geloosd (43).

De luchtemissie bedroeg volgens het CBS in 1980 4,6 ton (excl. vuilverbranding), waarvan 0,8 ton geëmitteerd werd door het gebruik van fossiele brandstoffen.

Sinds 1974 worden de lucht-, water- en bodememissies door de emissieregistratie bijgehouden. De resultaten van de emissieregistratie tussen 1974 en 1980 (1e ronde) en na 1980 (2e ronde) staan in tabel 3.1 vermeld (44).

Tabel 3.1 Geregistreerde lucht-, water- en bodememissie in kg.

		1e ronde	2e ronde
		1974-1980	1980-1985
luchtemissie	metallisch kwik	3427	2866
	org./anorg.	< 1	0
wateremissie	metallisch kwik	1267	1405
	kwik(II)ionen	1418	1467
	kwikverb. anorg./org.	5	4
	kwik(II)nitraat	7	0
bodememissie	ethylkwikbromide	15	-

bron: ref. 44.

Volgens de emissieregistratie bedroeg de wateremissie (oppervlaktewater en gemeenteriool) tussen 1974 en 1980 ca. 2,7 ton/jaar en na 1980 2,9 ton/jaar. Ongeveer de helft werd als metallisch kwik en de helft als kwik(II)ionen geloosd. (In de provincie Groningen vindt een emissie van ca. 1,3 ton kwik(II)ionen/jaar plaats die niet aan bepaalde industriële of niet-industriële activiteiten gerelateerd kan worden.)

De luchtemissie bedroeg tussen 1974 en 1980 3,4 ton/jaar en na 1980 2,9 ton/jaar (excl. vuilverbrandingsinstallaties).

Volgens een schatting van het RIZA bedroeg de totale kwikemissie met het afvalwater in de periode 1979-1981 ca. 2,2-3,2 ton/jaar (80). Hiervan was 0,8 ton/jaar afkomstig van industriële lozingen, de rest van diffuse lozingen op het openbare riool (0,3 ton door huishoudens, 1-2 ton door tandheelkundige centra en 0,1 ton door laboratoria).

De luchtemissie wordt door het RIZA op ca. 3 ton/jaar geschat.

In het concept IMP-water 1985-1989 wordt de industriële kwiklozing op het oppervlaktewater in 1980 op 0,7 ton geschat, waarvan 0,5 ton op het Rijkswater. De emissie door diffuse bronnen wordt op 1,2 ton geschat (0,7 ton door huishoudens en 0,5 ton door natte depositie). De belasting van het oppervlaktewater (na zuivering) wordt op 0,6 ton geschat (45).

Volgens de verschillende schattingen bedraagt de totale kwiklozing op het oppervlaktewater ca. 1,9-3,2 ton per jaar (1980) waarvan een deel (ca. 0,6-0,8 ton (45,43)) op de Rijkswateren (excl. de Noordzee) geloosd wordt (45,42), een deel (0,6 ton (43)) op de niet-Rijkswateren en een deel (0,6 ton (32)) in het zuiveringsslib van openbare rioolwaterzuiveringsinrichtingen achterblijft. De directe emissie op het oppervlaktewater bedraagt dus ca. 1,2-1,4 ton. De industriële lozingen worden op 0,7-0,8 ton geschat. De rest is afkomstig van diffuse bronnen (huishoudens, tandartsen, laboratoria, natte depositie). Voor 1985-1990 wordt een verdere afname van de industriële lozingen tot 0,3 ton/jaar verwacht. Het grootste deel zal dan van de kunstmestindustrie afkomstig zijn (ca. 50%) (45).

De luchtemissie (excl. vuilverbranding) wordt op 2,9-4,6 ton per jaar geschat (1980). Het grootste deel is afkomstig van de chloor-alkali industrie (ca. 60%) (32,44). Omdat de productiecapaciteit van de chloor-alkali-industrie in 1983 afgenomen is zal de luchtemissie na 1983 lager zijn geweest.

3.3 Verwerking en bestemming van kwikhoudende afvalstoffen

3.3.1 Huishoudelijk afval

In 1980 werd ca. 5 miljoen ton huishoudelijk afval geproduceerd waarin ca. 13 ton kwik zat (tabel 3.2) (32).

Tabel 3.2 Bronnen van kwik in huishoudelijk afval, 1980.

	Hoeveelheid (tonnen)
Tandheelkunde	ca. 2
Medische apparaten incl. koortsthermometers	1
Elektrische apparaten	ca. 1
Thermometers en barometers	0,5
Overige meet- en regelapparatuur	0,5
Batterijen	ca. 8
Totaal	ca. 13

Bron: ref. 32.

Het grootste deel van het kwik was afkomstig van batterijen, nl. 8 ton. Door de stijging van het kwikverbruik in batterijen ten opzichte van 1980 met ca. 2 ton in 1982/1983 en ca. 7 ton in 1984 (zie hoofdstuk 2) is de hoeveelheid kwik die in het huishoudelijk afval terecht komt gestegen. In 1982 zal ca. 15 ton, en in 1984 ca. 19 ton kwik in het huishoudelijk afval zijn terechtgekomen. (Van de kwikoxyde batterijen wordt 0,7 ton kwik ingezameld. De bijdragen aan het kwik in het huishoudelijk afval van de overige bronnen zal iets afgenomen zijn (thermometers e.d.) (32).)

Het huishoudelijk afval wordt gestort, verbrand of gecomposteerd. In 1980 werd 56% gestort, 6% gecomposteerd en 38% verbrand (32). In 1982 resp. 45%, 18%, en 37% (42). (Het naar de composteerbedrijven afgevoerde afval wordt gedeeltelijk gecomposteerd. Het niet in de composteringsinstallatie verwerkte afval wordt gestort of verbrand. Van het gecomposteerde afval blijft een deel achter dat als reststof wordt gestort.)

Storten

Op de stortplaats kan kwik met het percolatiewater in het grondwater terechtkomen. Van met name kwikoxyde batterijen is aangetoond dat ze corroderen (46). Het hoogste kwikgehalte dat ooit in percolatiewater van een vuilstort gemeten werd (en in laboratoriumexperimenten met

kolomproeven) bedraagt 64 µg/l (47). In percolatiewater van Nederlandse stortplaatsen is een reeks gehalten gevonden variërend van 0,005-0,4 µg/l, en eenmaal een gehalte < 2 µg/l (166, 167).

De hoeveelheid kwik die door het storten van huishoudelijk afval op stortplaatsen terechtkomt bedroeg in 1980 7,3 ton en in 1982 6,0 ton (uitgaande van ca. 15 ton kwik in het huisvuil in 1982).

Verbranden

Naar schatting 90% van het kwik in het huishoudelijk afval dat verbrand wordt, wordt direkt in de lucht geëmitteerd (32,44). Dit betekent voor 1980 een kwikemissie van ca. 4,5 ton, voor 1982 van ca. 5 ton en in 1984 zal de emissie meer dan 6 ton hebben bedragen. Voor de afvalverbranding is een normstelling in voorbereiding. De maximale toegestane emissie grenswaarde voor droge rookgassen onder normale omstandigheden met een zuurstofgehalte van 11% zal waarschijnlijk op 0,1 mg/Nm³ gesteld worden (24-uurswaarde) (70). De hoeveelheid kwik in de slak en de afgevangen vliegias bedraagt ca. 0,3 ton (kwikgehalten van resp. 540 en 10 mg/ton) (44). Het slak en de vliegias worden toegepast in bouwmaterialen of gestort.

Composteren

Het gemiddelde kwikgehalte van compost bedraagt ca. 2 mg/kg droge stof. Bij een productie van ca. 80.000 ton/jaar is dat een hoeveelheid kwik van 0,2 ton (44).

3.3.2 Zuiveringsslib

In tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de hoeveelheid slib, het kwikgehalte, de totale hoeveelheid kwik en de bestemming van het zuiveringsslib (uitgedrukt als percentage van de geproduceerde hoeveelheid) over de periode 1976-1983. De gegevens hebben betrekking op zuiveringsslib dat zowel uit openbare als uit particuliere inrichtingen afkomstig is, behalve de gegevens van 1981. Deze gegevens hebben alleen op het slib uit de openbare inrichtingen betrekking. De hoeveelheid slib uit de openbare inrichtingen zal in de toekomst niet verder meer toenemen, behalve wanneer op grote schaal defosfatering gaat plaatsvinden (48).

Tabel 3.3 Overzicht van de afvoer en de bestemming van zuiveringsslib
in de periode 1976-1983.

Jaar	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1983**
Totale hoeveelheid slib ** (x 10 ³ ton d.s.)	183	202	201	230	256	129	250
gemiddeld Hg-gehalte (mg.kg ⁻¹ d.s.)	9	6	5	4	4	3	3
totale hoeveelheid Hg (ton)	1,65	1,21	1,00	0,92	1,02	0,60	0,75
BESTEMMING (procenten)							
1. Landbouw	33,8	27,1	34,1	38,7	31,3	29,4	±30,3
2. Tussenhandel (o.a. zwarte grond)	12,2	15,3	12,0	19,5	10,7		
3. Overige groen (plantsoenen sportvelden)	8,9	9,6	3,7	2,3	14,3		±30
4. Storten	21,6	24,8	28,5	22,6	31,3		±25
5. Verbranden	21,2	2,4	2,8	2,2	1,1		± 2
6. Oppervlaktewater	21,2	15,3	12,7	11,0	8,7		±10
7. Rest	2,3	5,5	5,2	3,7	3,6		

Bron: 1976-1980 (49,50)
1981 (32)
1983 (48);

* zowel uit openbare als uit particuliere inrichtingen behalve 1981
(alleen openbare inrichtingen)

** schattingen gebaseerd op cijfers van (48) en (49).

Uit tabel 3.3 blijkt een toename van de afgevoerde hoeveelheid slib en een afname in het kwikgehalte en de totale hoeveelheid kwik in het zuiveringsslib. Door verschillen in de samenstelling kunnen de hoeveelheden kwik die naar de verschillende bestemmingen worden afgevoerd niet rechtstreeks uit het gemiddelde kwikgehalte van het totale slib berekend worden. Het gemiddelde kwikgehalte van het in 1976-1980 in de landbouw afgezette slib blijkt, met uitzondering van 1979, hoger geweest te zijn dan die van het totaal afgevoerde slib (49). In tabel 3.4 zijn de hoeveelheden kwik die met het zuiveringsslib in de bodem terecht komen en die als meststof worden afgezet, weergegeven.

Tabel 3.4 Bijdragen van zuiveringsslib uit openbare en particuliere inrichtingen aan de kwikbelasting van de totale Nederlandse bodem en de totale agrarische bodem. Hoeveelheden kwik in tonnen per jaar.

Jaar	totale Nederlandse bodem	totale agrarische bodem
1976	1,26	0,81
1977	0,93	0,49
1978	0,79	0,41
1979	0,77	0,27
1980	0,89	0,40
1981	ca. 0,6	0,13
1982	ca. 0,6	0,14
1983	ca. 0,6	0,14

Bron: (ref 49,50,51,52,53).

Door het in werking treden van de richtlijn voor de afzet van vloeibaar zuiveringsslib ten behoeve van het gebruik op bouw- en grasland van de Unie van Waterschappen in 1980 is de hoeveelheid slib die na 1980 in de landbouw is afgezet duidelijk verminderd. De richtlijn is in 1984 voor o.a. Hg aangescherpt zodat verwacht mag worden dat de afzet naar de landbouw verder zal dalen (54).

3.3.3 Chemisch afval

De hoeveelheid kwik in chemisch afval bedroeg in 1980 ca. 10 ton, waarvan 0,3 ton afkomstig was van de pootaardappelontsmetting, 0,2 ton van laboratoria en 9,7 ton van de aardgaswinning (32). Het chemisch afval wordt in het buitenland verwerkt zodat hierdoor geen bijdrage aan de kwikbelasting van het Nederlandse milieu wordt geleverd.

3.3.4 Meststoffen

Dierlijke mest bevat diverse metalen doordat deze als verontreiniging in het veevoeder voorkomen. Runderdrijfmest bevat ca. 0,1 mg kwik/kg d.s. en varkensdrijfmest ca. 0,05 mg kwik/kg d.s. (55). In 1977 werd de belasting van de agrarische bodem door het gebruik van kunstmest en dierlijke mest geschat op 1 ton per jaar (dierlijke mest 0,5 ton/jaar en kunstmest 0,5 ton/jaar) (56).

3.3.5 Overige afvalstoffen

Vliegashoudende afvalstoffen van elektriciteitscentrales en fosforzuurgips (afvalgips fosfaat bereiding) bevatten resp. 85 en 13 mg kwik/ton. Bij productiehoeveelheden van resp. 0,3 en 2 miljoen ton per jaar is dat een hoeveelheid kwik van ca. 50 kg die uiteindelijk in bouwmaterialen gebruikt wordt of gestort wordt (44).

3.4 Sedimentatie en baggerspecie

3.4.1 Sedimentatie

De hoeveelheid kwik die door de grensoverschrijdende rivieren wordt aangevoerd is van ruim 100 ton in 1971 afgenomen tot ca. 10 ton in 1984. Het met de rivieren meegevoerde kwik sedimenteert voor een deel in de Nederlandse oppervlaktewateren en wordt voor een deel direct naar de Noordzee afgevoerd. In hoofdstuk 5 is een schatting gemaakt van de hoeveelheid kwik die in Nederland sedimenteert. Van het met de Rijn en de Maas meegevoerde kwik sedimenteert ongeveer de helft, voornamelijk in het Hollands Diep-Haringvliet, de Nieuwe Maas en de havens. In 1980 werd ca. 20 ton kwik door de Rijn en de Maas aangevoerd, zodat naar schatting ca. 10 ton sedimenteerde. In 1984 werd 10 ton aangevoerd, waarvan ca. 5 ton kwik sedimenteerde. Het kwik dat met de Westerschelde wordt meegevoerd, wordt vrijwel geheel (kwantitatief) afgevoerd naar de Noordzee. Daarnaast sedimenteert er jaarlijks nog een hoeveelheid zeeslib, voornamelijk in de havens en de Waddenzee. In de Rotterdamse havens sedimenteert jaarlijks ca. 5 miljoen ton zeeslib (57). Met een kwikgehalte van ca. 1,5 mg/kg (hoofdstuk 5), betekent dit een sedimentatie van ca. 7,5 ton kwik per jaar. In de Waddenzee sedimenteert met het Noordzeeslib ca. 0,7-2,1 ton kwik per jaar (58). De totale hoeveelheid kwik die in 1980 sedimenteerde bedraagt dus ca. 18-20 ton en in 1984 13-15 ton.

3.4.2 Baggerspecie

In 1977 werd ca. 19 miljoen m³ specie gebaggerd (nat gewicht) met in totaal ca. 19 ton kwik. Bij de verwerking hiervan werd ca. 11,6 ton kwik in de Noordzee (gemiddeld kwikgehalte baggerspecie van 1,6 mg/kg d.s.) en 7,8 ton kwik op het land (gemiddeld kwikgehalte 4 mg/kg d.s.)

gestort (57). In 1980 bedroeg de hoeveelheid baggerspecie ca. 18 miljoen m³ en in 1984 23 miljoen m³ (natgewicht). In 1980 werd nog ca. 4 miljoen m³ op het land gestort. In 1984 was ca. 13 miljoen m³ specie licht verontreinigd en kon in zee worden gestort. Voor de resterende 10 miljoen m³ matig verontreinigd baggerspecie (klasse 2 en 3 met een gemiddeld kwikgehalte van ca. 2 mg/kg d.s.) zijn geen bergingslokaties op het land meer aanwezig. In de afgelopen jaren is gezocht naar een verantwoorde bergingslokatie in zee waar de komende 10-15 jaar de specie kan worden geborgen. Het slufferplan staat hierbij het meest in de belangstelling. Om de baggerspecie gecontroleerd te kunnen storten wordt hierin voorgesteld een kunstmatig schiereiland aan de Maasvlakte te bouwen, bestaande uit een ringvormige dijk van zand waarbinnen het terrein kan worden opgevuld met havenslib (59). De kwaliteit van het havenslib met betrekking tot kwik is sinds 1977 verbeterd. In 1977 was het gemiddelde kwikgehalte van de klasse 2 en 3 specie 4 mg/kg d.s. in 1981 en 1984 2 mg/kg d.s. (57, 59).

In 1980 werd naar schatting 8 ton kwik met de baggerspecie op het land gestort (4 miljoen m³ met een droge stofgehalte van 500 kg per m³) (gebaseerd op gegevens 1977 (57)) en een kwikgehalte van 2 mg/kg d.s. (gebaseerd op 1981/1984 (59)).

De totale hoeveelheid kwik in de baggerspecie zal in 1980 en 1984 ongeveer even groot zijn geweest als in 1977, nl. 19 ton. (In 1980 14 miljoen m³ lichtverontreinigd (droge stofgehalte 500 kg/m³, kwikgehalte 1,6 mg/kg d.s.) en 4 miljoen m³ matig verontreinigd (kwikgehalte 2 mg/kg d.s.) en in 1984 13 miljoen m³ lichtverontreinigd en 10 miljoen m³ matig verontreinigde specie).

3.5 Overzicht kwikstromen in Nederland (1980)

In deze paragraaf wordt een kwantitatieve schatting gegeven van de kwikstromen in Nederland. Hierbij wordt geen differentiatie in de compartimenten water, bodem en lucht in subcompartimenten aangebracht. Alleen voor de bodem wordt een onderscheid gemaakt in de totale Nederlandse bodem en de agrarische bodem. Met name voor het compartiment water ontstaat hierdoor een enigszins vertekend beeld. De aangevoerde hoeveelheid kwik wordt berekend op jaarbasis (1980), terwijl de met de baggerspecie afgevoerde hoeveelheid kwik voor een deel uit eerdere

jaren afkomstig is (baggeren oude sedimentlagen). Het begrip 'belasting' heeft in deze context dan ook alleen een kwantitatieve betekenis (een hoeveelheid die aan de bestaande hoeveelheid wordt toegevoegd) zonder dat daar een kwalitatief waardeoordeel aan verbonden kan worden. De wisselwerking die er tussen de compartimenten bestaat (depositie, erosie, verdamping) wordt buiten beschouwing gelaten.

Het kwik dat in het huishoudelijk afval en het zuiveringsslib terecht komt en de hoeveelheid die direkt geëmitteerd wordt, is een rechtstreeks gevolg van het gebruik van kwik. De belasting van het Nederlandse milieu door het gebruik van kwik is in tabel 3.5 weergegeven.

Tabel 3.5 Belasting van het Nederlandse milieu door het kwikverbruik in 1980.

	bodem [*]	water	lucht	totaal
direkte emissie		1,2-1,4	2,9-4,6	4,1-6,1
huishoudelijk afval:				
storten	7,3			7,3
verbranden	0,3		4,5	4,8
compost	0,2(0,2)			0,8 ^{**}
zuiveringsslib:				
landbouw	0,4(0,4)			0,4
overig bodem	0,5			0,5
verbranden			0,01	0,01
lozing ^{***}		(0,09)		(0,09)
Totale belasting	8,7(0,6)	1,2-1,4	7,4-9,1	18-20

* Tussen haakjes belasting agrarische bodem.

** Een deel van het bij de composteringsinrichtingen aangevoerde afval wordt gestort of verbrand.

*** Het zuiveringsslib dat op het water wordt geloosd wordt op de Noordzee geloosd. De belasting van de Noordzee is niet bij de belasting van het water inbegrepen.

N.B.

Het verschil tussen het kwikverbruik (37 ton, hoofdstuk 2) en de hoeveelheid kwik die uiteindelijk in het milieu terecht komt (18-20 ton) kan gedeeltelijk verklaard worden uit de hoeveelheid kwik die als chemisch afval behandeld wordt (10 ton) of wordt hergebruikt (2,5-3 ton; 1,5-2 ton tandheelkunde, 0,3 ton aardgaswinning, 0,8 ton meet-apparatuur (32)). Door het tandheelkundig verbruik komt bovendien ca. 1 ton op begraafplaatsen terecht (32). Van het kwik dat bij de aardgaswinning verbruikt wordt, komt 0,9 ton per jaar in het condensaat terecht dat naar raffinaderijen wordt afgevoerd. Het gas dat aan de gasunie wordt afgeleverd bevat per jaar 1 ton kwik en de uiteindelijke emissie bedraagt per jaar 0,1-0,2 ton (32). De rest (0,8-0,9 ton) blijft waarschijnlijk in het distributiesysteem achter.

De kwikbelasting van het Nederlandse milieu in 1980 is in tabel 3.6 weergegeven.

Tabel 3.6 Kwikbelasting van het Nederlandse milieu in 1980 en trends in de belasting na 1980 (- = afname, + = toename).

	kwikbelasting in 1980 (ton)			1984	
	bodem	water	lucht	totaal	totaal
kwikverbruik*:					
direkte emissie		1,2-1,4(-)	2,9-4,6(-)	4,1-6,0	3-4
afval	7,8(0,2)(++)		4,5 (++)	12,9	19
zuiveringsslib	0,9(0,4)(-)		0,01	1	0,75
Sedimentatie:					
rivierslib	0,5 (-)**	10(-)		10	5
Noordzeeslib		8-10		8-10	8-10
meststoffen**	1,0(1,0)			1,0	?
overig afval	?			0,05	?
(sub)totaal	10 (1,6)(+)	19,2-21,4(--)	7,4-9,1(+)	37-41	36-39
baggerspecie:					
gebaggerd		-19		-19	-19
afgevoerd naar land	8(--)			8	
totaal (kwantitatief)	18 (1,6)(-)	0-2,5(--)	7,4-9,1(+)	26-30	17-20

* zie tabel 3.5.

** uiterwaarden, zie hoofdstuk 5

** schatting 1977 (55).

In 1980 kwamen ca. 40 ton kwik in het Nederlandse milieu terecht, de helft door het kwikverbruik en de helft door sedimentatie van rivier- en Noordzeeslib. Met de baggerspecie werd een hoeveelheid van ca. 10 ton afgevoerd (naar de Noordzee), zodat er in totaal ca. 30 ton kwik in Nederland accumuleerde (excl. de Noordzee).

De belasting van de bodem bedroeg ca. 18 ton, waarvan 1,6 ton diffuus over de agrarische bodem werd verspreid (in meststoffen). De rest is vrijwel geheel als puntemissies te beschouwen. Sinds 1980 is de hoeveelheid kwik die met het zuiveringsslib op de agrarische bodem werd gebracht gedaald met ca. 0,25 ton (of dit gepaard gaat met een stijging door het gebruik van andere meststoffen is niet bekend).

Momenteel wordt baggerspecie niet meer op het land gestort zodat de totale bodememissie hierdoor met ca. 8 ton afneemt. Daar staat een stijging tegenover van de hoeveelheid kwik dat met het huishoudelijk afval gestort wordt. De totale hoeveelheid kwik in het huishoudelijk afval is met ca. 7 ton gestegen (1984), waarvan ongeveer de helft gestort zal zijn. De totale bodememissie is dus wel afgenomen.

Over de milieuhygiënische effecten van kwik op stortlocaties en in meststoffen is weinig bekend. Er zijn aanwijzingen dat gewassen het kwik niet via de wortels uit de bodem, maar na depositie via de bladeren opnemen (zie hoofdstuk 6). Op stortlocaties is verontreiniging van het grondwater mogelijk. Bovendien krijgt de bodem een beperkte gebruiksfunctie. (De verblijftijd van kwik in de bodem is erg groot (Hoofdstuk 1).)

De belasting van het water bedroeg in 1980 ca. 20 ton. Door baggerwerkzaamheden werd een hoeveelheid van dezelfde grootte-orde verwijderd. Kwantitatief was de belasting (accumulatie) laag (0-2,5 ton). Door directe emissies (industriële en diffuse bronnen) werd in 1980 ca. 1,2-1,4 ton op het water geloosd. In 1985 zal de directe emissie verder gedaald zijn met ca. 0,4 ton (industriële emissies). De belasting van het water door sedimentatie van rivier- en Noordzeeslib bedroeg in 1980 ca. 20 ton. De kwikvracht van de Rijn en de Maas is in 1984 met ongeveer 10 ton ten opzichte van 1980 afgenomen, zodat de hoeveelheid kwik die in 1984 sedimenteerde met ca. 5 ton is afgenomen. Ten opzichte van 1971 is de kwikvracht van de grensoverschrijdende rivieren met ca. 90% afgenomen.

Omdat het kwikgehalte van de afgezette sedimentlagen afneemt, neemt de kwaliteit van de onderwaterbodems met betrekking tot kwik toe (zie ook hoofdstuk 5). De afname van de kwikvracht heeft ook een verbetering van de kwaliteit van het gebaggerde (rivier)slib (klasse 2 en 3 specie) tot gevolg.

Hoewel door het baggeren een grote hoeveelheid kwik verwijderd wordt kunnen baggerwerkzaamheden de kwaliteit van het water nadelig beïnvloeden. Bodemmateriaal kan in suspensie worden gebracht en meer verontreinigde andere sedimentlagen kunnen aan de oppervlakte komen. De kwaliteit van het oppervlaktewater, het sediment en aquatische organismen hangen nauw met elkaar samen (zie hoofdstuk 5).

De luchtemissie bedroeg in 1980 ca. 7,5-9 ton. Het grootste deel (50-60%) was afkomstig van de vuilverbranding. In 1984 zal de kwikemissie door de vuilverbranding met minimaal 1,5 ton zijn toegenomen. Daar staat een daling van de industriële emissies door de sluiting van 2 chloor-alkali-bedrijven in 1983 tegenover. De totale luchtemissie zal in 1984 groter zijn geweest.

Atmosferisch kwik is van belang in verband met de directe expositie van de mens via de ademhaling en de depositie op de bodem en het oppervlaktewater. De directe expositie van de mens door atmosferisch kwik is erg laag (zie hoofdstuk 4 en 8). De opname van kwik door gewassen vindt waarschijnlijk na depositie op de gewassen plaats (hoofdstuk 6). In buitenlandse literatuur wordt een statistische correlatie gemeld tussen de atmosferisch kwikdepositie en het methylkwikgehalte van vissen in meren (en de verzuring van het milieu) (hoofdstuk 4).

Hoofdstuk 4 ATMOSFEER

Samenvatting

De bepaling van het kwikgehalte in de buitenlucht en in regenwater is in Nederland niet (meer) opgenomen in een monitoringprogramma. Tussen 1978 en 1982 werd het kwikgehalte in regenwater op een 6-tal lokaties bepaald. Met de monstername-methode (open-trechter) werd de natte depositie plus een deel van de droge depositie (situatie-afhankelijk) bepaald. De kwikconcentratie in het regenwater lag vaak onder de detektielgrens (0,1 µg/l) zodat de resultaten onnauwkeurig zijn. Het kwikgehalte in regenwater bedroeg in de periode 1978-1982 op de monsterlokaties gemiddeld 0,06 tot 0,51 µg/l. Op de lokaties Biesbosch, Heemskerk en Epe werd de norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater (0,5 µg/l) incidenteel overschreden (maximumgehalten resp. 2,0; 2,3 en 40 µg/l). Op de lokatie Epe werd de norm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater (0,3 µg/l) gemiddeld ruim overschreden (gem. 0,51 µg/l).

De gemiddelde depositie bedroeg ca. 0,6 g/ha jaar. Hieruit kan een belasting van de bodem van 2,0 ton/jaar (agrarische bodem 1,2 ton/jaar) en van het oppervlaktewater van 0,2 ton/jaar berekend worden (onderschatting totale depositie).

Het kwikgehalte in de buitenlucht wordt in Nederland niet systematisch bepaald. Bij een onderzoek naar het kwikgehalte in de buitenlucht in Noord-Holland in 1974 werd een gemiddeld gehalte van ca. 10 µg/m³ lucht gevonden. Recentere gegevens ontbreken. Hieruit kan een opname van de mens via de ademhaling van 160 ng per persoon per dag berekend worden.

De ruimtelijke spreiding van de kwikgehalten in korstmossen en moszakjes kan erg groot zijn (faktor 60). Hoge gehalten zijn het gevolg van de aanwezigheid van een puntbron. De geografische verdeling van de gehalten geven een indruk van de concentratieverschillen in de atmosfeer. Met name in de provincie Zeeland en bij Epe zijn verhoogde gehalten in korstmossen gevonden.

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het kwikgehalte in de buitenlucht en in regenwater (als maat voor de natte depositie) besproken. Het kwikgehalte in de buitenlucht is onder andere van belang voor de expositie via de ademhaling. Het kwikgehalte in regenwater kan als maat dienen voor de natte depositie en daarmee voor de atmosferische belasting van de bodem en het oppervlaktewater. Regenwater is na de Rijn de belangrijkste zoetwaterbron voor Nederland (60) zodat de kwaliteit van het regenwater van belang is voor het grondwater en de drinkwatervoorziening.

De gemiddelde neerslag in Nederland bedraagt ongeveer 750 mm (ca. $30 \cdot 10^9$ m³/jaar) waarvan na verdamping een waterschijf van 300-350 mm overblijft. Van deze zogenaamde nuttige neerslag wordt intensief gebruik gemaakt voor de openbare watervoorziening (61).

In 1978 is door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) en de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) een op de drinkwaterbronnen gericht meetnet Regenwater opgezet. Het doel van dit meetnet was het verschaffen van inzicht in de belasting van het aardoppervlak met atmosferische verontreinigingen. Het monitoring netwerk bestond uit 27 meetstations waarvan op 6 meetstations totaal kwikgehalte bepalingen werden uitgevoerd. Sinds 1 januari 1983 bestaat er onder de gezamenlijke verantwoordelijkheid van het KNMI, RIV en RID één Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (LMR). In opdracht van de Directie Lucht van het Ministerie van VROM worden maandelijks op 21 lokaties kwaliteitsbepalingen uitgevoerd. Omdat de kwikgehalten in de periode 1-7-1978 tot 31-12-1982 in vergelijking met de detectiegrens laag waren en er twijfels over de methode van monsterneming bestaan, is de kwikbepaling niet in het LMR opgenomen (62).

Van 1975 tot 1978 werd door het RID op een aantal lokaties regenwaterkwaliteitsbepalingen uitgevoerd. In 1977 werd op de lokaties Middelburg, Zierikzee, Dordrecht en Epe een kwikgehalte $< 0,1$ µg/l gemeten en op de lokatie Spijkenisse een gehalte van $0,1$ µg/l (60).

In Nederland wordt geen systematisch onderzoek uitgevoerd naar het kwikgehalte in de buitenlucht. Om een indruk te krijgen van de kwikgehalten in de buitenlucht in Nederland zijn in dit rapport de resultaten opgenomen van een onderzoek dat uitgevoerd is in Noord-Holland in 1974 (63). Het doel van dit onderzoek was om een indruk te krijgen van de totaal-kwikgehalten in de buitenlucht in een geïndustrialiseerd gebied (IJmond-gebied) en dit te vergelijken met de gehalten op een tweetal lokaties op het platteland en in Amsterdam. Recentere gegevens ontbreken.

Door het Interuniversitaire Reactor Instituut (IRI) is met behulp van korstmossen een kwalitatief overzicht gemaakt van de verdeling van kwik in de atmosfeer boven Nederland (64) en boven de Kempen (65). De relatie tussen het kwikgehalte in de lucht, de kwikdepositie en de kwikgehalten in korstmossen is nog niet kwantitatief opgehelderd, zodat uit dit onderzoek geen conclusies met betrekking tot de kwikgehalten in de lucht en de kwikdepositie getrokken kunnen worden.

4.2 Kwik in regenwater en de buitenlucht

In het RID-VEWIN regenwatermeetnet zijn de meetlokaties gekozen op grond van de geografische spreiding en de representatieve variatie in de aard (landelijk, stedelijk, industrieel). Kwik werd slechts op 6 lokaties bepaald.

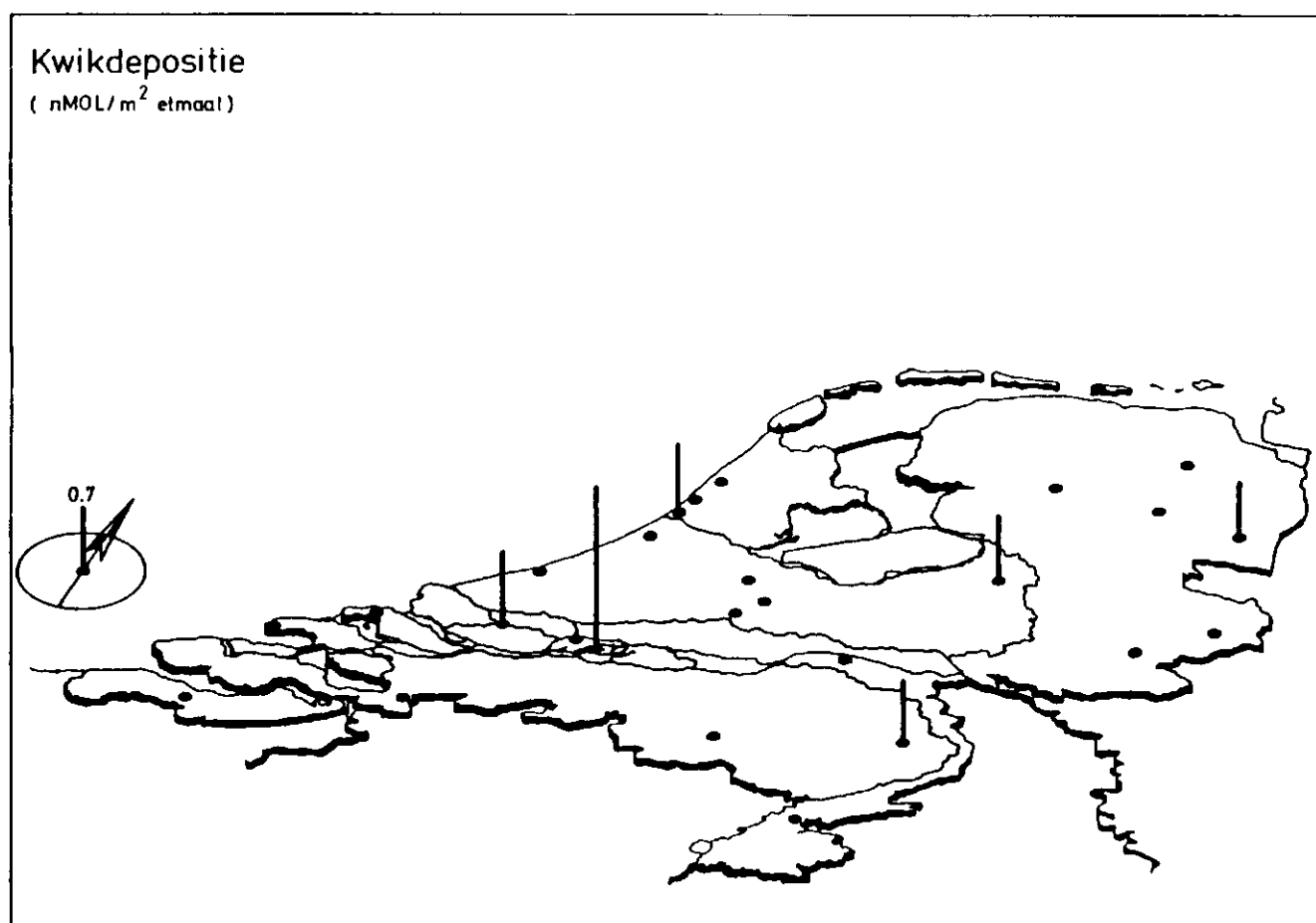
De gegevens zijn als (biweight) gemiddelde concentratie en depositie over de periode 1-7-1978 tot 1-1-1983 gerapporteerd (61). Als neerslagvanger is een vulcatheentrichter (oppervlakte van 400 cm²) gebruikt. Het opvangoppervlak bevond zich op 1,5 m boven het maaiveld. De opvangfles werd dagelijks geleegd in een verzamelvat (opgeslagen bij 4°C). Door het RID zijn de monsters 2x per maand met koude damp atomaire absorptie spectrofotometrie (AAS) geanalyseerd (detectiegrens 0,1 µg/l).

Met deze methode (de "open-trechter"-methode) wordt de natte depositie plus een onbekend en situatie-afhankelijk deel van de droge depositie bepaald. Het netto resultaat is een overschatting van de natte depositie en een onderschatting van de totale depositie (nat + droog).

Tabel 4.1 Kwikconcentratie in regenwater en de natte depositie (1978-1982) (62)

	concentratie $\mu\text{g/l}$		depositie g/ha jaar	
	gem.	spreiding	gem.	spreiding
Heemskerk	0,08	0,05-2,3	0,51	0,007-24,0
Berenplaat	0,06	0,05-0,3	0,57	0,007-1,8
Biesbosch	0,13	0,05-2,0	1,25	0,007-17,6
Epe	0,51	0,05-40	0,49	0,08-340
Emmen	0,06	0,05-0,2	0,44	0,007-1,4
Breehei	0,06	0,05-0,2	0,47	0,03-2,1

Figuur 4.1 Kwikdepositie (nat) 1978-1982.

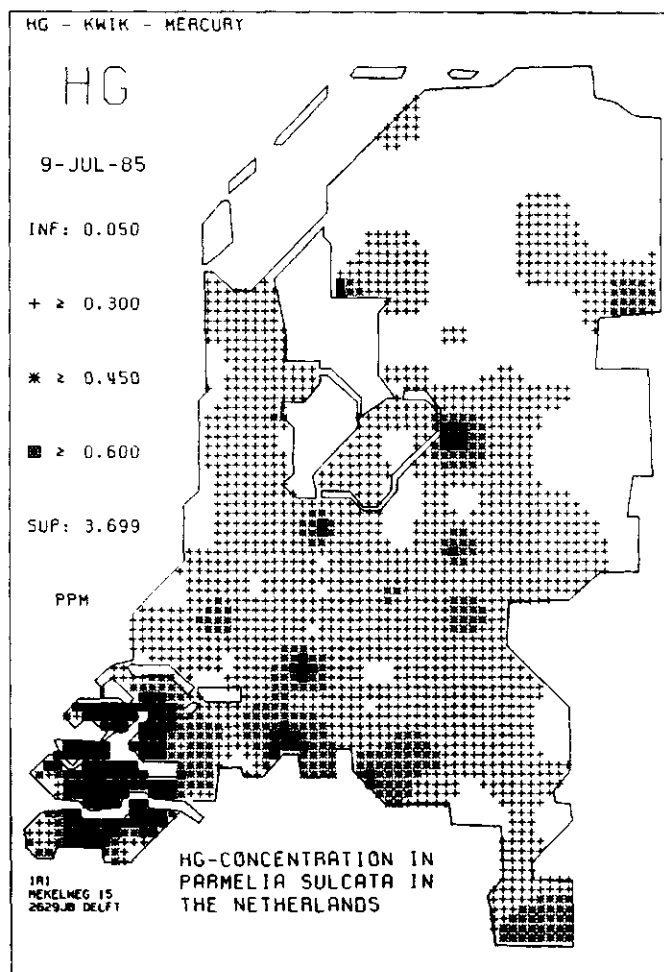


Bron: ref. 62

De resultaten van dit onderzoek staan in tabel 4.1 vermeld en zijn in figuur 4.1 grafisch weergegeven. De gemiddelde gehalten in het regenwater liggen in het algemeen onder de detectiegrens en kwik kon slechts in een klein aantal monsters worden aangetoond. De uit de concentratie berekende depositie is over het algemeen kleiner dan 1 nmol/m² etmaal. Omgerekend naar metallisch kwik ligt de depositie rond de 0,5 g/ha jaar, met een uitzondering voor de Biesbosch, waarvoor de depositie ca. 1,25 g/ha jaar bedraagt. De gemiddelde depositie over alle meetlokaties bedraagt ca. 0,6 g/ha jaar.

Het gehalte aan zware metalen in korstmossen en mossen geeft een indicatie van de gehalten van deze elementen in natte en droge depositie. In figuur 4.2 is een geografische concentratieplot van het kwikgehalte in korstmos (*Parmelia Sulcata*) in Nederland weergegeven. Van de blanco delen zijn geen gegevens beschikbaar door het ontbreken van monsters, of omdat het kwikgehalte beneden de detektiegrens lag. De monsters zijn geanalyseerd met neutronen-aktiveringsanalyse.

Figuur 4.2 Geografische verdeling van kwikgehalten in korstmossen.



Bron: ref. 64.

Uit figuur 4.2 blijkt dat het kwikgehalte op een aantal lokaties in Nederland duidelijk verhoogd is, met name in Zeeland en bij Epe. In de Kempen is door het IRI een onderzoek met korstmossen (*Lecanora Coni-zaeoides*) en met moszakjes uitgevoerd, waarbij grote ruimtelijke verschillen werden geconstateerd (65). In korstmossen werd een gemiddeld gehalte van 0,98 ppm gevonden met een spreiding van 0,20-13 ppm. Het hoge gehalte (13 ppm, gemeten bij Westerhoven) kon niet in verband worden gebracht met bepaalde activiteiten. Ook werd geen correlatie gevonden met ruimtelijke verschillen in de gehalten aan andere metalen in korstmossen. De hogere kwikgehalten worden waarschijnlijk veroorzaakt door puntemissies. In het onderzoek met moszakjes in de Kempen zijn eveneens grote ruimtelijke verschillen in het kwikgehalte gevonden. In tabel 4.2 is de opnamesnelheid van kwik in moszakjes op een viertal lokaties gegeven.

Tabel 4.2 Opnamesnelheid van kwik in moszakjes op een viertal lokaties in de Kempen (beginconcentratie 0,22 mg/kg MOS).

Lokatie	Budel	Overpelt	Maarheeze	Dalem
expositietijd (dagen)	18	92	92	92
opnamesnelheid (ppm/dag)	0,019	0,16	0,006	0,003

Bron: ref. 65.

Uit onderzoek met moszakjes in Zweden en Finland blijkt dat het kwikgehalte in de directe omgeving van een puntbron tot een faktor 100 maal zo hoog kan zijn (66,67).

Bij het onderzoek naar de totaal-kwikgehalten in de buitenlucht zijn met behulp van een actiefkoolfilter totaal-kwikgehaltebepalingen uitgevoerd. De monsters zijn door het Reactor Centrum Nederland met behulp van neutronenactiveringsanalyse geanalyseerd. In tabel 4.3 zijn de lokaties, de monsterperiode, het aantal monsters (n), de gemiddelde concentratie en de spreiding weergegeven.

Tabel 4.3 Kwikgehalten in de buitenlucht op een aantal lokaties in Noord-Holland in 1974 (63).

Lokatie	Periode	n	gem. kwik- gehalte (ng/m ³)	spreiding
IJmuiden	6/2-9/10	19	6,7	1,1-35,0
Beverwijk	17/1-17/7	3	7,2	2,6-15,2
Heemskerk	16/1-7/8	11	6,0	1,8-13,6
Wijk aan Zee	25/4-16/10	5	7,3	4,1-12,0
Amsterdam	14/12-15/12	3	5,4	3,5-7,0
Schagen	3/6-19/6	5	11,1	6,2-16,6
Schermerhorn	31/5-17/6	5	18,5	8,8-31,6

De gemiddelde luchtconcentratie in het IJmond-gebied bedroeg ongeveer 7 ng/m³ en op de referentiepunten ca. 15 ng/m³ lucht. De hogere gehalten op de referentiepunten is mogelijk een gevolg van seizoensinvloeden. De kwikgehaltebepalingen die in de zomermaanden zijn uitgevoerd zijn in het algemeen hoger. Uit dit onderzoek kunnen door het beperkte aantal meetpunten geen algemene conclusies getrokken worden. Bovendien zijn de seizoensinvloeden moeilijk te interpreteren en zijn de metingen in 1974 uitgevoerd, zodat ze niet zonder meer voor de huidige situatie gebruikt kunnen worden. De concentraties zijn van de orde-grootte van de gehalten die voor stedelijke gebieden gevonden worden en zijn gemiddeld 3 tot 8 maal zo hoog als de gemiddelde achtergrondconcentratie in de lagere troposfeer van het noordelijk halfrond (2 ng/m³; zie hoofdstuk 2). Over de relatie tussen het kwikgehalte in de buitenlucht en de depositie is onvoldoende bekend om de resultaten van de kwikbepalingen in regenwater en in de buitenlucht met elkaar te kunnen vergelijken (zie hoofdstuk 2).

4.3 Bespreking van de resultaten

De kwikconcentratie in regenwater varieert van gemiddeld 0,06 tot 0,51 µg/l. In de literatuur worden kwikgehalten in neerslag (sneeuw, regen) van 0,005 tot 2,2 µg/l in landelijke gebieden en 0,002 tot 3,8 µg/l in stedelijke gebieden vermeld (68).

Hoewel de gevonden gehalten in het algemeen laag zijn in vergelijking met de detectiegrens wordt de norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater van 0,5 µg/l op de meetlokaties Biesbosch, Heemskerk en Epe in sommige monsters ruim overschreden (maximum gehalte van resp. 2,0, 2,3 en 40 µg/l). De gemiddelde concentratie op de lokatie Epe ligt ruim boven de kwaliteitsnorm oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater (0,3 µg/l).

De atmosferische belasting van de Nederlandse bodem en het oppervlaktewater is bij een gemiddelde depositie van 0,6 g/ha jaar in tabel 4.4 weergegeven.

Tabel 4.4 Belasting Nederlandse bodem en oppervlaktewater met atmosferische kwik (overschatting belasting door natte depositie, onderschatting belasting door totale depositie).

	Oppervlakte (56)	Depositie (ton/jaar)
Nederlandse bodem	3,33 . 10 ⁶ ha	2,0
Grasland	1,3 . 10 ⁶ ha	0,8
Bouwland	0,7 . 10 ⁶ ha	0,4
Oppervlaktewater	0,34 . 10 ⁶ ha *	0,2

* ref. 69.

De gemiddelde jaarlijkse atmosferische bijdrage aan de kwikgehalten in de bovenste 20 cm van de bodem bedraagt ca. 0,3 mg/m³ grond ofwel ca. 0,2 µg/kg d.s. (de gemiddelde concentratie van de bodem is ca. 0,2 mg/kg d.s., zie hoofdstuk 6). Hierbij is geen rekening gehouden met het effect van vegetatie op de atmosferische depositie en wordt aangenomen dat het kwik volledig in de bovenste 20 cm van de bodem accumuleert, dus niet uitspoelt, verdampt of door gewassen wordt opgenomen.

De jaarlijkse belasting van het oppervlaktewater door atmosferische depositie bedraagt ongeveer 0,2 ton. Uit onderzoek blijkt dat het methyalkwikgehalte in vissen wordt beïnvloed door atmosferische kwikdepositie en zure regen. Tussen de atmosferische kwikdepositie, de zuurgraad van meren en verhoogde methyalkwikgehalten in vis is een statistische correlatie gevonden (2).

De direkte expositie van de mens door atmosferisch kwik kan uit het kwikgehalte in de buitenlucht worden berekend. Neemt men een dagelijkse ademhalingsvolume van 20 m^3 lucht aan (gebaseerd op een volwassen persoon) en een absorptie van 80% van het ingeademde kwik (2) dan kan bij een kwikgehalte van 10 ng/m^3 een opname door de ademhaling van $160 \text{ ng/persoon dag}$ berekend worden.

In Nederland is geen norm voor het kwikgehalte in de buitenlucht gesteld. Uitgaande van de directe expositie via de ademhaling wordt door de EPA $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ nog als acceptabel beschouwd (2).

Uit onderzoek met moszakjes naar de atmosferische kwikdepositie rond chloor-alkalibedrijven in Zweden en Finland (66,67) is gebleken dat in de directe omgeving van de puntbron slechts een klein deel van de geëmitteerde hoeveelheid kwik neerslaat ($< 10\%$) en dat het grootste deel neerslaat op een afstand van 20 tot 200 km (60%). Bij een jaarlijkse emissie van 400 kg werd in Finland een depositie van gemiddeld 12 g/ha jaar berekend voor een afstand van 0-1 km van de bron, $2,6 \text{ g/ha}$ jaar van 1 tot 5 km, $0,29 \text{ g/ha}$ jaar van 5-20 km en $0,16 \text{ g/ha}$ jaar van 20 tot 100 km terwijl de achtergronddepositie ongeveer $0,08 \text{ g/ha}$ jaar bedroeg (67). Hieruit blijkt dat zelfs een lage emissie uit een puntbron over een grote afstand een verhoogde depositie tot gevolg kan hebben.

4.4 Conclusies

De bepaling van het kwikgehalte in de buitenlucht en in regenwater is in Nederland niet (meer) opgenomen in een monitoringprogramma. De kwikgehalten in regenwater zijn laag in vergelijking met de detectiegrens en daardoor is de kwikbepaling moeilijk op te nemen in het Landelijk Meetnet Regenwater. Over de periode medio 1978 tot eind 1982 zijn in het RID-VEWIN regenwatermeetnet echter gehalten gevonden die incidenteel de norm voor oppervlaktewater ($0,5 \text{ } \mu\text{g/l}$) (ruim) overschreden, terwijl op 1 meetlocatie de norm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater ($0,3 \text{ } \mu\text{g/l}$) systematisch werd overschreden. Uit de gegevens van het RID-VEWIN kan een gemiddelde depositie van $0,6 \text{ g/ha}$ jaar berekend worden.

De kwikconcentratie in de buitenlucht in Noord-Holland was in 1974 van de orde grootte van het gehalte dat in de literatuur voor stedelijke gebieden wordt gegeven (ca. 10 ng/m³). Recentere gegevens ontbreken zodat een trend in het kwikgehalte van de buitenlucht niet kan worden gegeven. Omdat over de speciatie van kwik en het gedrag in de atmosfeer nog maar weinig bekend is kan geen relatie tussen de concentratie in de buitenlucht en in regenwater gegeven worden.

Het kwikgehalte in korstmossen en mossen vertoont grote ruimtelijke verschillen. De hoge gehalten worden waarschijnlijk veroorzaakt door kwikemissies uit puntbronnen. Bij een onderzoek in de Kempen kon geen relatie gevonden worden tussen hoge kwikgehalten en hoge gehalten aan andere zware metalen of met bepaalde activiteiten. Uit buitenlands onderzoek met moszakjes blijkt dat de depositie over een grote afstand van een puntbron hoger is dan de achtergronddepositie.

De belasting van de Nederlandse bodem bedraagt bij een depositie van 0,6 g/ha jaar ca. 2 ton/jaar en van het oppervlaktewater ca. 0,2 ton/jaar (door de gebruikte monsternamemethode is dit een overschatting van de natte depositie en een onderschatting van de totale depositie). Er is een (statistisch) verband gevonden tussen atmosferische kwikdepositie, zure regen en verhoogde methylkwikgehalten in vissen in meren.

De directe expositie van de mens door de ademhaling is vrij laag. Op basis van het eerder genoemde kwikgehalte in buitenlucht (10 ng/m³) bedraagt de opname van een volwassen persoon ongeveer 160 ng per dag.

Hoofdstuk 5 OPPERVLAKTEWATER

Samenvatting

Het kwikgehalte van de grensoverschrijdende rivieren is sinds het begin van de jaren zeventig sterk afgenomen. In de Rijn was het kwikgehalte bij Lobith in 1973 gemiddeld ca. 3 µg/l, in 1984 nog maar ca. 0,1 µg/l. Ook in de Maas en de Westerschelde is het kwikgehalte gemiddeld gedaald tot ca. 0,5-0,15 µg/l. De totale kwikvracht van de grensoverschrijdende rivieren is van ca. 100 ton in 1970 afgenomen tot ca. 10 ton in 1984, een afname van 90%. Sinds 1980 is de norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater van 0,5 µg/l slechts een enkele keer overschreden. In 1980 in de Maas bij Eijsden en Lith, in 1981 bij Eijsden en op twee lokaties in de Waddenzee en in 1982 in de Hollandse IJssel. De norm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater (0,3 µg/l) wordt in de periode 1980-1984 in de Rijn en de Maas wel nog regelmatig overschreden. Ook in de niet-rijkswateren werd de norm een enkele keer overschreden.

Zowel de zwevende stofvracht als het kwikgehalte van de zwevende stof van de Rijn is sinds het begin van de jaren zeventig afgenomen. Het kwikgehalte van de zwevende stof is afgenomen van 27 mg/kg in 1973 tot 2 mg/kg in 1984. Ongeveer 60-80% van het kwikgehalte in de rivieren is particulier-gebonden. Naar schatting de helft van de aangevoerde hoeveelheid kwik sedimenteert in Nederland, met name in het Ketelmeer, het Hollands Diep, het Haringvliet, de Nieuwe Maas en de havens. Bovendien sedimenteert in de havens ongeveer 7,5 ton kwik per jaar met het binnenstromende Noordzeeslib. Door de sterke afname van met name de kwikvracht van de Rijn en het kwikgehalte van het met de Rijn meegevoerde zwevende stof, neemt over het algemeen ook het kwikgehalte van het sediment af. De sterkste afname heeft in het sediment van de Rijn plaatsgevonden, namelijk van ca. 20 mg/kg in 1972 tot ca. 3,5 mg/kg in 1983. De afname in het Ketelmeer is vergelijkbaar met dat van de Rijn. Het kwikgehalte van het Maassediment was in de jaren zeventig ca. 4-5 mg/kg maar neemt nu af tot ca. 2 mg/kg in 1983. Het kwikgehalte van het sediment van het Hollands Diep schommelde in de jaren zeventig sterk (van ca. 5-11 mg/kg), maar neemt nu definitief af (ca. 2,5 mg/kg in 1983). In het IJsselmeer en het Haringvliet neemt het

kwikgehalte van het sediment slechts langzaam af. Voor de Afsluitdijk is het kwikgehalte in 1983 zelfs iets hoger dan in 1977, wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een naijleffect. In 1983 was het kwikgehalte van het IJsselmeer-sediment bij de Afsluitdijk 1,5 mg/kg en van het Haringvlietsediment 4 mg/kg. Voor het sediment is nog geen norm met betrekking tot kwik opgesteld. De C-waarde uit de leidraad bodemsanering (10 mg/kg) wordt een aantal keren overschreden, met name in de Rotterdamse havens. Omgerekend naar standaardslib wordt de gecorrigeerde C-waarde (16 mg/kg; 50% < 16 µm) slechts op twee locaties overschreden.

Het kwikgehalte in zoutwatervis, zoetwatervis, mosselen en garnalen is sinds 1973 met ongeveer de helft gedaald. De daling in het kwikgehalte van zoetwatervis heeft voornamelijk in de jaren zeventig plaatsgevonden. Bij de gesignaleerde daling moet worden aangetekend dat de gehalten in de beginjaren zeventig niet met dezelfde onderzoekstechnieken zijn verkregen als de gehalten in latere jaren. Voor zoutwatervis hebben de monsters met name betrekking op de Nederlandse kustwateren. Met opzet is bemonsterd in het Nederlandse kustwater om een zo ongunstig mogelijk beeld van de verontreinigingssituatie in de Noordzee te verkrijgen.

De norm van 1 mg/kg wordt in zoetwatervis, met name in baars en snoekbaars, in zowel Rijkswateren als in niet-Rijkswateren nog overschreden. Waarschijnlijk fungeert het sediment in een aantal wateren, waaronder het IJsselmeer, als diffuse kwikbron. De relatie tussen het kwikgehalte in snoekbaars en de lengte of leeftijd van de vis geeft een indicatie van de mate van kwikverontreiniging van het water.

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de kwaliteit met betrekking tot kwik van de Nederlandse oppervlaktewateren besproken. Omdat de kwaliteit van water, sediment en aquatische organismen nauw met elkaar samenhangen worden naast het water ook het sediment en de aquatische organismen besproken.

De waterkwaliteit wordt door het RIZA bepaald en in kwartaalverslagen gerapporteerd. De in dit rapport opgenomen gegevens zijn gedeeltelijk eerder door het RIZA in de vorm van overzichtsverslagen gepubliceerd

(ref. 71-77). De gegevens over de sedimentkwaliteit zijn grotendeels eerder door het Waterloopkundig Laboratorium verzameld en gepubliceerd of worden nog gepubliceerd. De gegevens van aquatische organismen zijn gedeeltelijk in LAC-jaarverslagen (onderzoek visserijproducten) en gedeeltelijk in de eerder genoemde RIZA-rapporten en projectverslagen gepubliceerd.

5.2 Water

Bij de bepaling van het kwikgehalte in de Nederlandse oppervlaktewateren door het RIZA wordt het totaal kwikgehalte bepaald en het gehalte na filtratie over een membraanfilter met diameter 0,45 μm (gedefinieerd als de fractie opgelost kwik). Er wordt geen onderzoek naar de chemische speciatie van kwik gedaan. De analyses worden uitgevoerd met behulp van vlamloze atomaire absorptie spectrofotometrie. Tot 1975 was de detectiegrens 0,1 $\mu\text{g/l}$, tussen 1975 en 1980 0,05 $\mu\text{g/l}$ en na 1980 0,01 $\mu\text{g/l}$ (75). Met name het gehalte opgelost kwik ligt rond de detectiegrens, zodat de bepalingen onnauwkeurig zijn. Als norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewateren geldt een absoluut gehalte van 0,5 $\mu\text{g/l}$.

Naast het totaal kwikgehalte en het gehalte opgelost kwik wordt het gehalte aan zwevende stof bepaald. Hieruit kan voor de afzonderlijke bepalingen het kwikgehalte van de zwevende stof en het bindingspercentage berekend worden. Voor de rivieren kan uit de jaargemiddelde afvoer en het gemiddelde totaal kwikgehalte de jaarvracht berekend worden. Voor de meetpunten waar de rivieren Nederland binnenkomen wordt de vracht totaal kwik gegeven als maat voor de kwikbelasting vanuit het buitenland. Voor sommige rivieren wordt bovendien het verloop van de vracht in Nederland gegeven. De vracht is afhankelijk van de waterafvoer. Met name bij de kwikvracht van de Maas moet hierdoor met een grote spreiding rekening worden gehouden (ca. een factor 2).

Het transport van particulier-gebonden kwik verloopt anders dan dat van opgelost kwik. Bij afnemende stroomsnelheid bezinken zwevende deeltjes. Deeltjes met een grote diameter sedimenteren eerder dan deeltjes met een kleine diameter. Het kwikgehalte van deeltjes met een kleine diameter is groter dan dat van deeltjes met een grote diameter.

Door vermenging met minder verontreinigde deeltjes (o.a. door opwoeling van sediment en door menging met zeeslib) neemt het gehalte particulier-gebonden kwik af. Opgelost kwik kan door adsorptie en verdamping uit de waterfase verdwijnen. Daarnaast kan desorptie van particulier-gebonden kwik optreden (mobilisatie). Problemen die zich bij de bepaling van de fractie opgelost en particulier-gebonden kwik voordoen zijn, dat zwevende stof met een diameter kleiner dan $0,45 \mu\text{m}$ niet als zwevende stof wordt afgevangen, en dat tijdens en na de monsternamen nog interacties plaatsvinden tussen particulier-gebonden en opgelost kwik. Onder kwik dat in echte oplossing is (definitie) worden de vrije metaalionen, anorganische en organische complexen en chelaten verstaan (diameter tot ca. 10 nm) (86).

De Nederlandse oppervlaktewateren (Rijkswateren) zijn ingedeeld in de Rijn, de Maas, de sedimentatiebekkens IJsselmeer-Ketelmeer en Haringvliet-Hollands diep, de Westerschelde, de Noordzee en de Waddenzee.

5.2.1 De Rijn

In dit rapport zijn de waterkwaliteitsbepalingen van de Rijn bij de meetpunten Lobith (Bovenrijn), Kampen (IJssel), Hagestein (Lek) en Maassluis (Nieuwe Waterweg) opgenomen. Het water in Maassluis bestaat behalve uit Rijnwater, voor een klein deel uit Maaswater en voor ongeveer 5% uit zeewater. De gegevens van het meetpunt Maassluis kunnen daarom niet volledig met de overige meetpunten vergeleken worden.

In figuur 5.1 t/m 5.4 zijn het totaal kwikgehalte en het gehalte opgelost kwik weergegeven. In figuur 5.5 is voor het meetpunt Lobith de totale jaarlijkse kwikvracht en de vracht opgelost kwik weergegeven. Uit figuur 5.1 en 5.5 blijkt een duidelijke afname in zowel het totaal gehalte als de totale vracht bij Lobith. De afname in het totaal gehalte is tot 1974 bij alle meetpunten vrij sterk, gevolgd door een geleidelijkere afname. De afname vertoont bij alle meetpunten ongeveer dezelfde trend. Het totaal gehalte in Maassluis is tot 1981 over het algemeen iets lager dan bij de overige meetpunten. Het gehalte opgelost kwik neemt in de periode 1973-1983 bij alle meetpunten af. Alleen bij Maassluis is in 1976 een sterke toename te zien, gevolgd door een geleidelijke daling.

In tabel 5.1 en 5.2 worden de waterafvoer, het zwevende stofgehalte, de zwevende stof vracht en het kwikgehalte van de zwevende stof bij Lobith en de totaal gehalten, het opgeloste gehalte, de totale opgeloste vracht (Lobith), het bindingspercentage en het kwikgehalte van de zwevende stof (Lobith) gegeven. Het zwevende stofgehalte bij de meetpunten Lobith en Maassluis neemt geleidelijk af. Bij de overige meetpunten is deze tendens niet aanwezig. Het zwevende stofgehalte bij Lobith is in de periode tot 1980 afgenomen tot het niveau bij de overige meetpunten. Sinds 1981 is alleen bij Maassluis het zwevende stofgehalte lager.

Hoewel het grootste deel van het totaal kwikgehalte particulier-gebonden voorkomt lijkt er geen duidelijke correlatie tussen totaal kwikgehalte, zwevende stofgehalte en opgelost kwikgehalte bij de verschillende meetpunten te zijn.

Trends in het bindingspercentage zijn moeilijk aan te geven. Bij Lobith lijkt het bindingspercentage te zijn afgenomen in de periode 1972-1981. Bij Vreeswijk en Kampen lijkt het bindingspercentage aanvankelijk te zijn afgenomen, terwijl tot 1981 weer van een toename sprake is. Het bindingspercentage wordt berekend uit het gehalte opgelost kwik en het totaalkwikgehalte. Omdat het gehalte opgelost kwik vaak rond de detektieline ligt zijn de berekende bindingspercentages onnauwkeurig. Een duidelijke afname vertoont het kwikgehalte van de zwevende stof bij Lobith. Het kwikgehalte is van 27 mg/kg in 1973 afgenomen tot 2 mg/kg in 1984. Het kwikgehalte van de zwevende stof bij de overige meetpunten ligt op ongeveer hetzelfde niveau (71).

Tabel 5.1 Waterafvoer, zwevende stofgehalte en zwevende stofvracht van de Rijn (80)

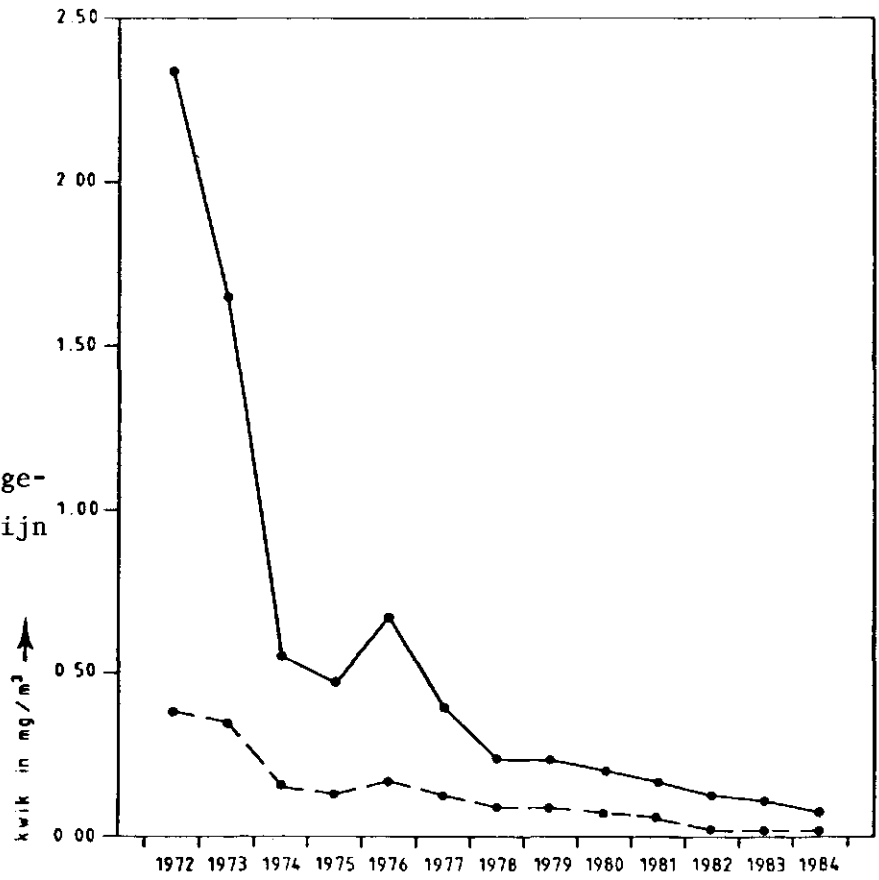
	1901-1975	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
afvoer Lobith in m ³ /s															
gemiddelde *	2200	3100	1450	1500	1750	2180	2170	1330	2210	2360	2540	2550	3000	2810	2652
hoogste	13000	9850	3630	4930	3440	5900	5340	3460	6280	6340	6980	8810	6700	8013	9707
laagste	620	1140	760	800	980	1180	970	780	1060	910	1110	1240	1340	1347	882
mediaan van het zwevende stofgehalte (mg/l)															
Lobith		46	50	47	44	40	39	43	37	34	36	27	32	30	28
Kampen		39	27	41	28	28	31	23	28	22	28	22	29	30	26
Hagestein		31	20	23	28	28	28	18	27	30	26	24	29	48	23
Maassluis					23	25	16	16	15	18	19	31	16	16	12
vracht te Lobith zwevende stof (kg/s)															
		185	87	79	86	103	82	65	126	153	104	97	123	128	118

* gemiddeld over 365 dagen per jaar.

Tabel 5.2 Totaal gehalte, gehalte opgelost en bindingspercentage kwik in de Rijn bij de meetpunten Lobith, Hagestein, Kampen en Maassluis (80)

	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
detectiegrens (µg/l)														
	0,1						0,05						0,01	
Gehalten totaal (µg/l)														
Lobith gemiddeld		3,11	2,34	1,31	0,50	0,37	0,52	0,32	0,22	0,20	0,18	0,13	0,12	0,11
Lobith mediaan		2,85	2,10	1,10	0,50	0,30	0,50	0,25	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,11
Hagestein gemiddeld		0,71	0,81	0,83	0,30	0,34	0,46	0,33	0,19	0,17	0,23	0,10	0,12	0,09
Hagestein mediaan		0,60	0,60	0,65	0,25	0,35	0,25	0,25	0,18	0,15	0,18	0,04	0,04	0,08
Kampen gemiddeld		1,29	1,53	1,08	0,35	0,85	0,30	0,25	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,11
Kampen mediaan		1,05	1,30	0,80	0,30	0,35	0,30	0,20	0,15	0,15	0,11	0,10	0,10	0,08
Maassluis gemiddeld					0,28	0,24	0,20	0,14	0,13	0,10	0,12	0,05	0,07	0,07
Maassluis mediaan					0,30	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,06	0,06	0,07
Gehalten opgelost (µg/l)														
Lobith gemiddeld			0,38	0,30	0,07	0,07	0,09	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
Lobith mediaan			0,40	0,20	0,10	0,10	0,10	0,00	0,05	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01
Hagestein gemiddeld			0,21	0,11	0,10	0,14	0,10	0,09	0,06	0,09	0,02	0,02	0,02	0,01
Kampen gemiddeld			0,26	0,10	0,10	0,13	0,10	0,10	0,06	0,06	0,06	0,02	0,01	0,01
Maassluis gemiddeld					0,04	0,03	0,12	0,10	0,10	0,07	0,05	0,01	0,02	0,01
Bindingspercentage														
Lobith gemiddeld		82	81	86	79	85	78	72	72	79	70			
Vreeswijk gemiddeld			66	57	67	57	55	56	62	67	76			
Kampen gemiddeld			77	68	64	56	56	36	60	60	71			
Maassluis gemiddeld														
Vracht Lobith (g/s)														
totaal		3,19	3,13	2,52	0,79	0,69	0,65	0,63	0,49	0,43	0,49	0,38	0,33	0,27
opg.		0,69	0,60	0,13	0,13	0,12	0,11	0,12	0,10	0,11	0,09	0,04	0,05	0,05
kwikgehalte zwevende stof Lobith (mg/kg)														
rekenkundig gemiddelde			27	12	9	11	8	5	4	5	3	4	3	
gewogen gemiddelde			27	9	7	9	5	3	3	3	2	3	2	

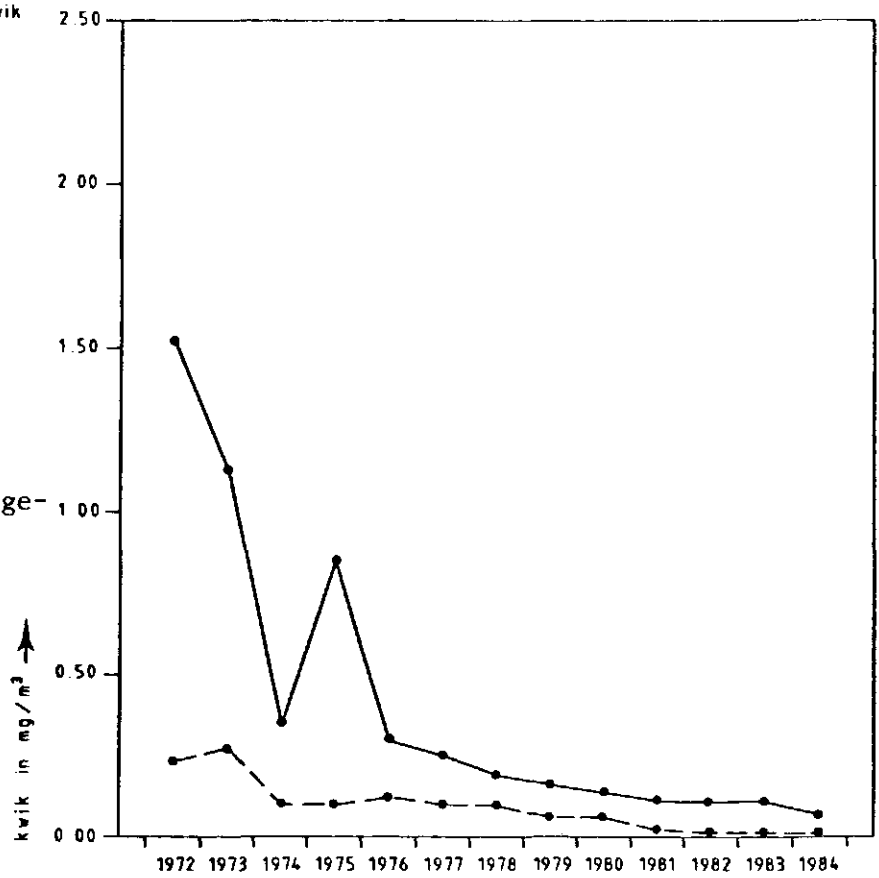
Fig. 5.1 Totaal-kwik en opgelost kwik in de Rijn bij Lobith



Legende:

- totaal - kwik
- - - - - opgelost - kwik

Fig. 5.2 Totaal-kwik en opgelost kwik in de IJssel bij Kampen



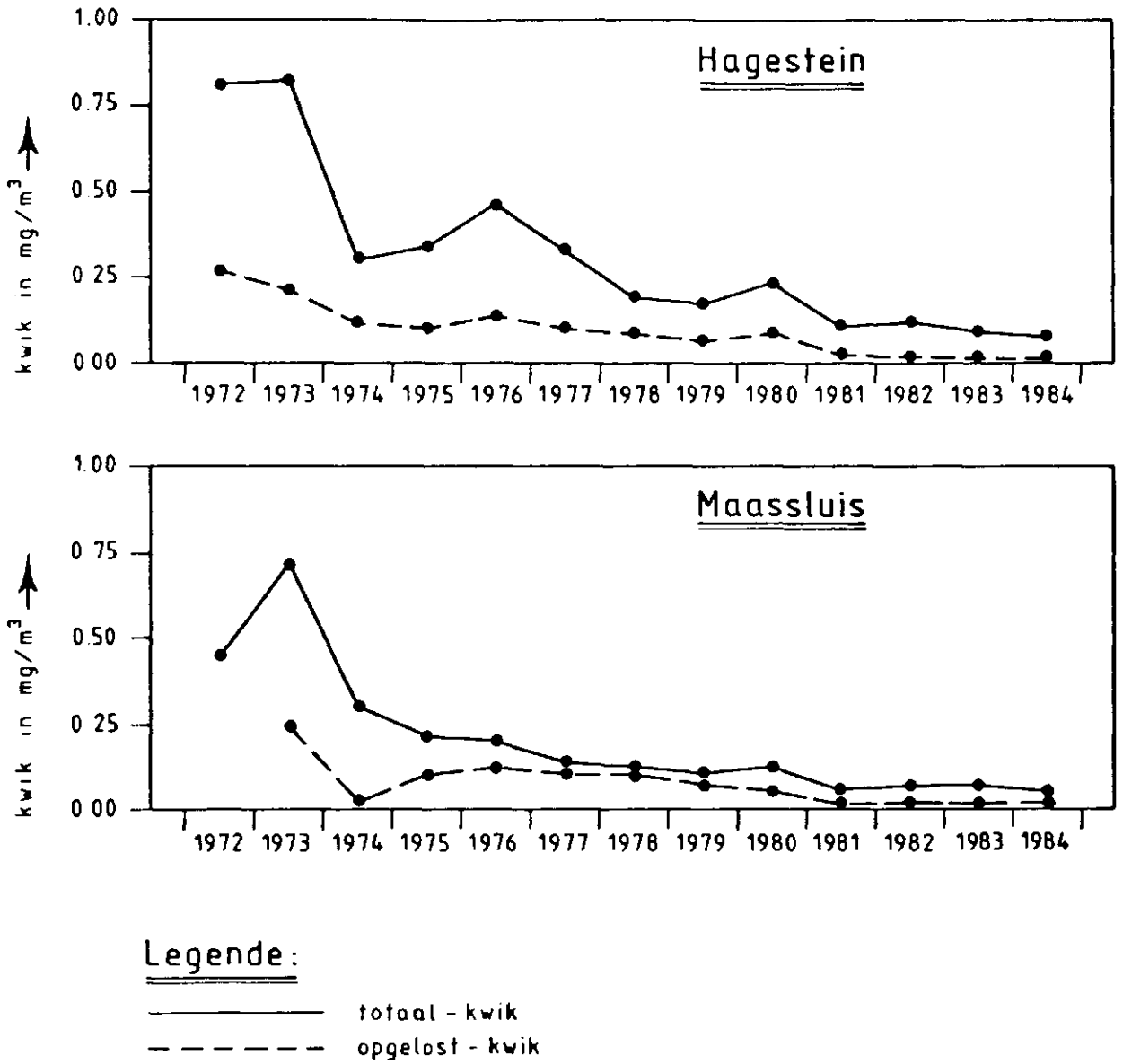


Fig. 5.3 en 5.4 Totaal-kwik en opgelost kwik in de Lek bij Hagestein en de Nieuwe Waterweg bij Maassluis

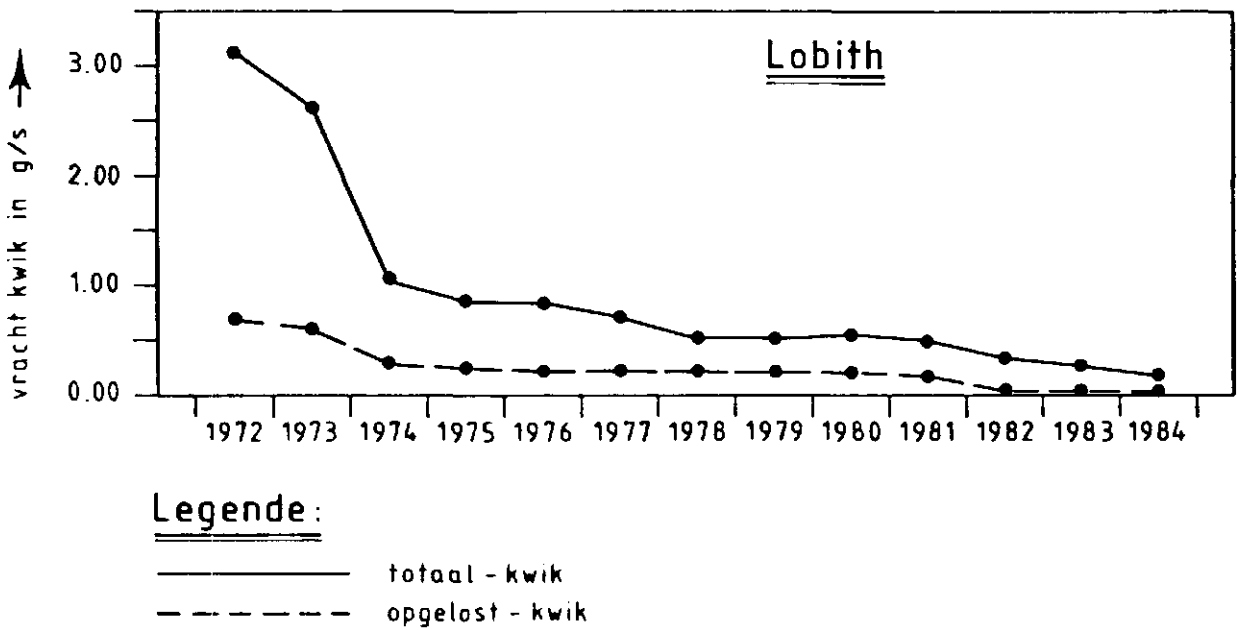


Fig. 5.5 De vracht van totaal-kwik en opgelost kwik van de Rijn bij Lobith

5.2.2 De Maas

De Maas is een typische regenrivier waardoor de afvoer en het zwevende stofgehalte sterk kunnen variëren. Maximale afvoer vindt in januari plaats en een minimale afvoer rond juli-september.

De waterkwaliteit met betrekking tot onder andere kwik wordt bepaald bij de meetpunten Eijsden, Lith en Keizersveer.

In fig. 5.6 t/m 5.9 zijn de jaargemiddelde totaalgehalten en de gehalten opgelost kwik en de kwikvracht weergegeven. In tabel 5.3 zijn het totaalgehalte, het gehalte opgeloste kwik, de totale vracht en de jaargemiddelde afvoer gegeven. Gegevens over het bindingspercentage ontbreken omdat het kwikgehalte vaak rond de detectiegrens of lager is, waardoor berekeningen onnauwkeurig worden.

Het totaal kwikgehalte bij Eijsden vertoonde in de jaren zeventig sterke schommelingen maar lijkt eind jaren zeventig, begin jaren tachtig af te nemen. In fig. 5.9 is het verloop van de vracht weergegeven. Het verloop van de vracht vertoont eveneens grote schommelingen. Door de sterke schommelingen in de afvoer en het zwevende stofgehalte is het moeilijk de jaarvracht te berekenen (spreiding factor 2).

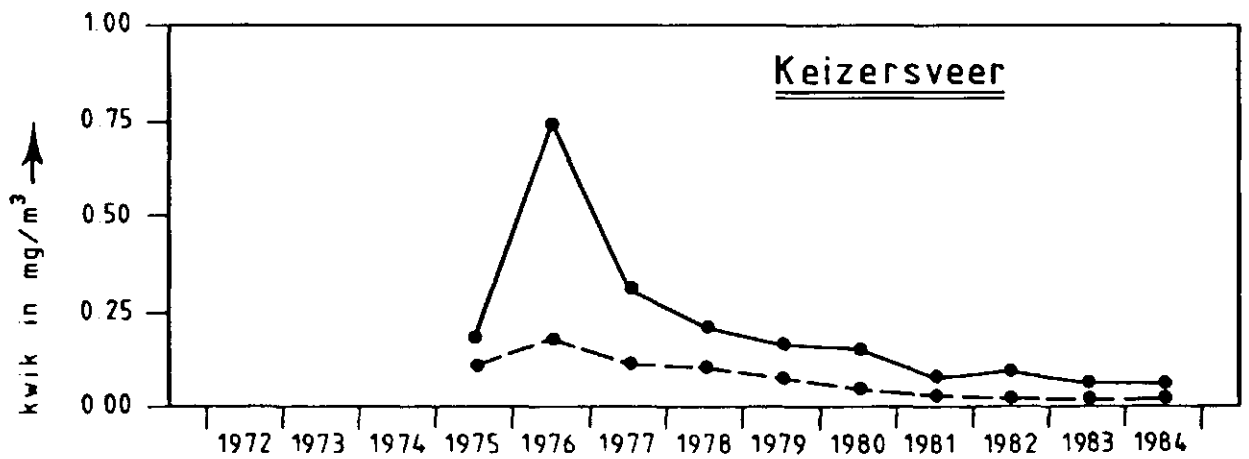
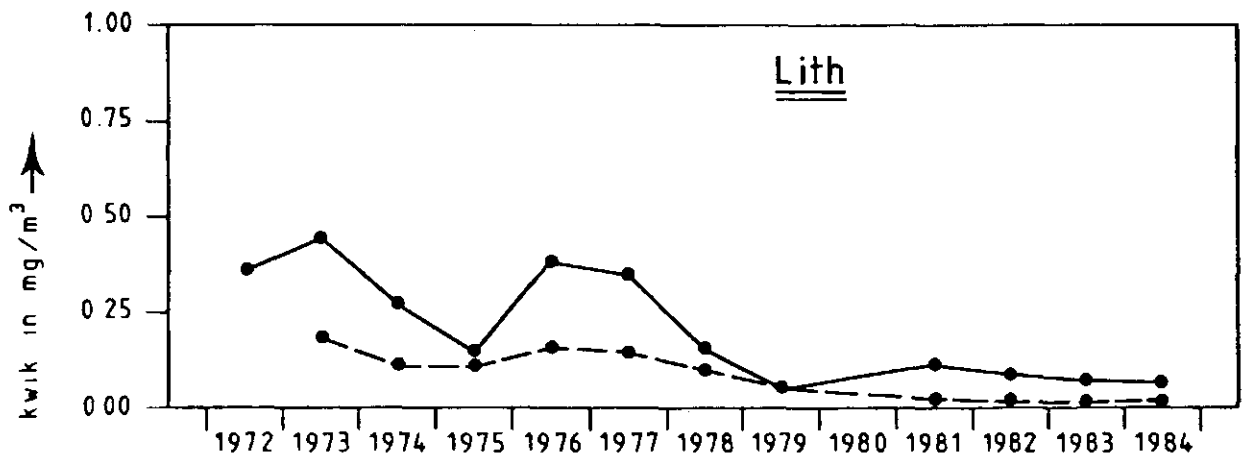
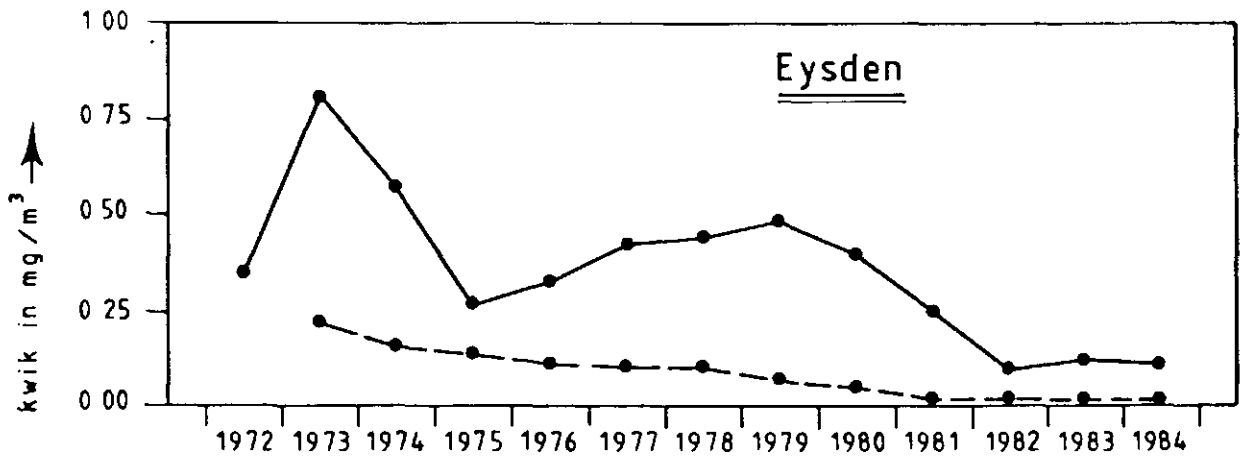
Bij een correctie voor die waarnemingen waarbij het zwevende stofgehalte erg hoog was (> 150 mg/l) wordt het verloop minder grillig (tabel 5.3). De hoge gehalten totaalkwik bij Lith en Keizersveer in 1976 kunnen uit een lage afvoer verklaard worden. Kijkt men naar de vracht in deze periode, dan blijkt de piek in 1976 niet op te treden. De invloed van de afvoer op de totaalgehalten wordt duidelijk als het verloop van de totaalgehalten vergeleken wordt met de vracht. Waarschijnlijk spelen zowel het zwevende stofgehalte als de afvoer een grote rol in het verloop van het totaalkwikgehalte.

Tabel 5.3 Totaalgehalte, gehalte opgelost kwik en de totale kwikvracht in de Maas, bij Eijsden, Lith en Keizersveer (80)

KWIK	71	72 *	73 *	74 *	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
detectiegrens (µg/l)	0,1				0,05					0,01				
Jaargemiddelde afvoer (m ³ /s)														
Eijsden	121	159	130	252	181	85	221	228	279	301	357	296	307	331
Borgharen	104	135	126	244	171	74	203	209	288	285	336	275	287	314
Lith	177	202	195	329	254	120	273	282	378	389	461	359	386	404
Gehalte totaal (µg/l)														
Eijsden gemiddeld	0,29	0,80	0,59	0,24	0,25	0,37	0,39	0,31	0,31	0,31	0,24	0,10	0,12	0,11
Eijsden mediaan	0,20	0,40	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,23	0,23	0,17	0,06	0,07	0,06
Lith gemiddeld	0,36	0,37	0,27	0,13	0,56	0,27	0,14	0,14	0,24	0,24	0,11	0,09	0,07	0,07
Lith mediaan	0,30	0,20	0,20	0,10	0,25	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,08	0,06	0,05
Keizersveer gemiddeld	0,12	0,14	0,19	0,18	0,74	0,31	0,21	0,16	0,15	0,15	0,07	0,09	0,06	0,06
Keizersveer mediaan	0,10	0,10	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,06	0,06	0,05
Gehalte opgelost (µg/l)														
Eijsden gemiddeld	-	0,15	0,09	0,06	0,06	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Eijsden mediaan	-	0,10	0,10	0,00	0,10	0,05	0,10	0,05	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01
Lith gemiddeld	-	0,19	0,11	0,06	0,09	0,07	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Keizersveer gemiddeld	-	-	0,02	0,11	0,18	0,11	0,10	0,07	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
Vracht totaal (g/s)														
Eijsden gemiddeld	0,05	0,20	0,25	0,05	0,04	0,10	0,15	0,24	0,11	0,11	0,14	0,03	0,04	0,08
Eijsden gemiddeld **	0,05	0,08	0,10	0,05	0,04	0,10	0,150	0,07	0,10	0,10	0,10	0,02	0,03	0,02
Lith gemiddeld	-	-	-	0,05	0,05	0,10	0,05	0,08	0,16	0,16	0,06	0,04	0,04	0,04
Keizersveer gemiddeld	0,03	0,05	0,08	0,05	0,07	0,12	0,09	0,08	0,10	0,10	0,04	0,05	0,03	0,03

* voor 1972-1974 zijn bij Lith de gegevens van Graven gebruikt.

** gemiddelde exclusief de waarnemingen behorende bij een zwevende stofgehalte groter dan 150 mg/l.



Legende:

- totaal - kwik
- - - opgelost - kwik

Fig. 5.6, 5.7 en 5.8 Totaalgehalte en het gehalte opgelost kwik (onderbroken lijn) in de Maas bij Eysden, Lith en Keizersveer

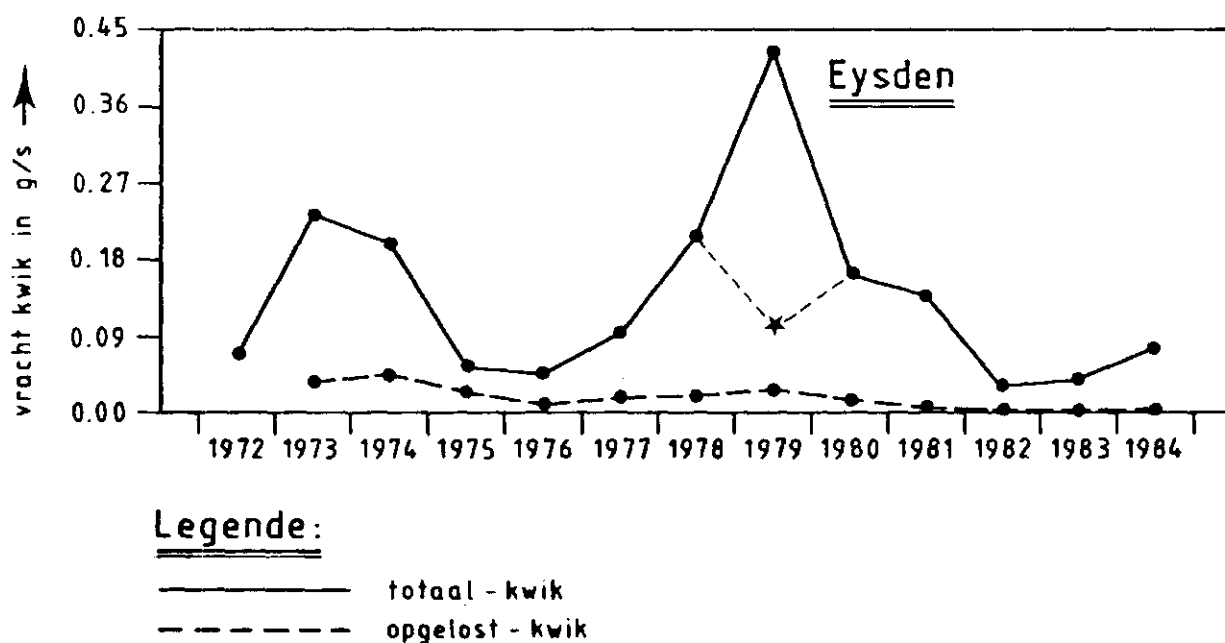


Fig. 5.9 Totaal kwikvracht en vracht van opgelost kwik van de Maas bij Eysden. In het met een sterretje aangegeven punt is één waarneming, waarbij het zwevende stofgehalte 636 mg/l is, weggelaten.

5.2.3 Sedimentatiegebieden Ketelmeer-IJsselmeer en Hollands Diep-Haringvliet

Het water van de Rijn wordt voor een deel naar het sedimentatiegebied Ketelmeer-IJsselmeer gevoerd en het water van zowel de Rijn als de Maas naar het sedimentatiegebied Haringvliet-Hollands Diep.

In deze bekkens treedt een verhoogde sedimentatie op door een afname van de stroomsnelheid. Bovendien wordt de verhouding opgelost/particulair-gebonden beïnvloed door onder andere een stijgende pH (van $\pm 7,3$ tot 8 à 9). In tabel 5.4 en 5.5 zijn de kwikgehalten (opgelost en totaal) in respectievelijk het Ketelmeer-IJsselmeer en het Hollands Diep-Haringvliet over de periode 1976-1983 gegeven. Zowel het jaargemiddelde opgelost als het jaargemiddelde totaalkwik vertonen een dalende lijn. De totaalgehalten in Ketelmeer en Hollands Diep zijn hoger dan die in het IJsselmeer en het Haringvliet. In tabel 5.6 zijn

de kwikgehalten aan zwevende deeltjes voor een aantal monsterpunten in het Hollands Diep en het Ketelmeer-IJsselmeer gegeven voor de periode 1977-1978. Uit tabel 5.6 blijkt duidelijk de invloed van de Rijn en de Maas op de gehalten in het Ketelmeer en het Hollands Diep. De grote spreiding in de bepalingen wordt veroorzaakt door factoren als waterafvoer, pH etc.

Tabel 5.4 Jaargemiddelde kwikgehalte Ketelmeer-IJsselmeer in $\mu\text{g/l}$ (78,84).

	Ketelmeer (Y12)		IJsselmeer midden (Y23)		IJsselmeer noord (Y1)		IJsselmeer noord (Y2)	
	opgelost totaal		opgelost totaal		opgelost totaal		opgelost totaal	
1976	0,11	0,18	0,13	0,16	-	-	0,11	0,13
1977	0,10	0,16	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,14
1978	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,15
1979	0,07	0,11	0,07	0,12	0,07	0,10	0,07	0,09
1980	0,04	0,09	0,09	0,13	0,06	0,07	0,05	0,08
1981	0,03	0,09	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02	0,05
1982	0,02	0,06	0,02	0,06	-	0,03	-	0,04
1983	0,01	0,09	0,01	0,06	-	0,04	-	0,05
1984	0,02	0,07	0,01	0,03	-	0,03	-	0,03

Tabel 5.5 Jaargemiddelde kwikgehalte in Hollands Diep-Haringvliet in $\mu\text{g/l}$ (78,84).

	Moerdijk-Zuid (H7)		Haringvlietbrug (H9)		Haringvlietsluis (H12)	
	opgelost totaal		opgelost totaal		opgelost totaal	
1976	0,11	0,60	0,10	0,12	0,10	0,11
1977	0,10	0,35	0,11	0,11	0,10	0,14
1978	0,10	0,20	0,10	0,12	0,10	0,11
1979	0,07	0,15	0,06	0,10	0,07	0,13
1980	0,08	0,20	0,08	0,12	0,10	0,13
1981	0,02	0,09	0,02	0,05	0,03	0,05
1982	-	-	-	0,09	0,02	0,05
1983	-	-	-	0,09	0,01	0,04
1984	-	-	-	0,11	0,02	0,05

Tabel 5.6 Gemiddelde gehalten en spreiding van het kwikgehalte in zwevende stof (ref. 78).

			Hg in mg/kg
Waal (Rijntak)	(H2)	1977	5,0 (2,8-5,9)
	(NH15)	1977	6,0 (3,1-12)
Maas	(H3)	1977	5,6 (1,7-10)
Hollands Diep	(H9)	1977	6,7 (4,1-11)
Rijn	(Lobith)	1978	5 *
Ketelmeer	(Y1)	1978	5,5 (2,7-6,9)
	(Y3)	1978	6,4 (4,0-7,6)
IJsselmeer	(Y5)	1978	4,3 (2,0-5,5)
	(Y7)	1978	2,0 (1,0-3,0)
	(Y9)	1978	1,4 (0,7-1,8)
	(Y11)	1978	1,2 (0,9-1,5)

* Uit tabel 5.1.

5.2.4 Westerschelde

De Schelde is tot ver landinwaarts aan de getijde-invloed onderhevig. In figuur 5.11 is het zoetwaterpercentage (in 1980) weergegeven (voor meetpunten zie figuur 5.10). Het zoetwaterpercentage neemt stroomopwaarts vrijwel lineair toe. Conservatieve stoffen zullen door verdunning een vrijwel lineaire gradiënt vertonen. Stoffen die uit de waterfase verdwijnen zullen onder deze lijn liggen, stoffen die aan de waterfase worden toegevoegd erboven.

Het zwevende stofgehalte is vooral in het oostelijk deel van de Westerschelde sterk aan variaties onderhevig. Deze variaties worden onder andere veroorzaakt door stromingen en getijdebewegingen en zijn seizoensafhankelijk (lager gehalte in de zomer). Naar het westen toe vindt door verdunning met zeewater en sedimentatie een afname in het zwevende stofgehalte plaats (figuur 5.12). Het percentage zwevende stof van mariene afkomst neemt toe van $\pm 30\%$ bij Schaar van Oude Doel tot meer dan 95% bij Vlissingen. Verder vindt door baggerwerkzaamheden resuspending van bodemmateriaal plaats. Het zwevende stofgehalte in de

Schelde is in figuur 5.13 weergegeven. Het jaargemiddelde in het westelijk deel van de Schelde vertoont een enigszins stijgende lijn. Dit kan veroorzaakt worden door baggerwerkzaamheden in de Westerschelde of langs de kust.

In tabel 5.7 zijn de jaargemiddelde afvoer, de jaarvrachten en de jaargemiddelde gehalten aan zwevend materiaal bij Schaar van Oude Doel weergegeven. Door sterke variaties kunnen geen trends aangegeven worden.

De jaargemiddelden totaalkwik en het gehalte opgelost kwik zijn in figuur 5.14-5.17 weergegeven.

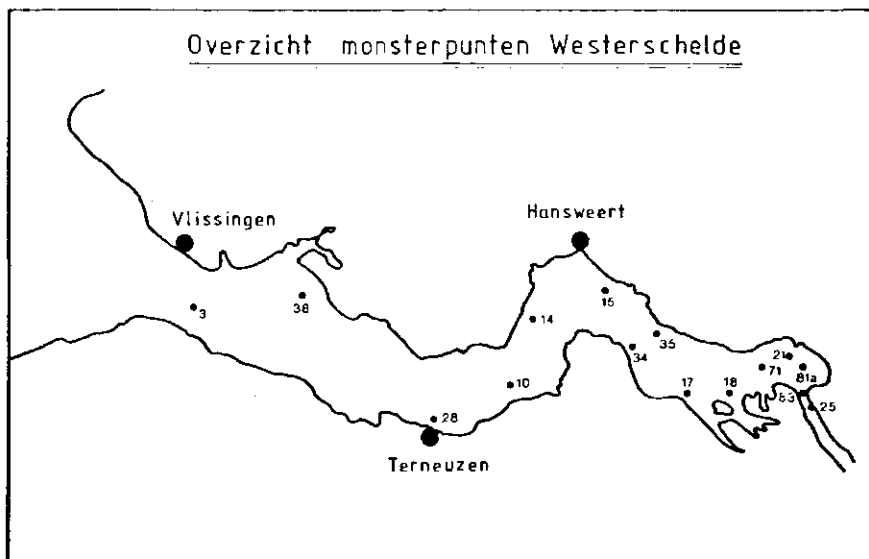
Bij Schaar van Oude Doel is een duidelijke daling in het totaal kwikgehalte waar te nemen. Volgens berekeningen met het Ostwat-model, waarbij voor zwevend stof gecorrigeerd is, bestaat een significant dalende trend in de hele Westerschelde. Het gehalte opgelost kwik vertoont geen gradiënt. Bij alle meetpunten is het gehalte vrijwel gelijk. Bij conservatief gedrag van de opgeloste fractie zou een dalende gradiënt in westelijke richting moeten optreden.

Dit betekent dat de vracht opgelost kwik in westelijke richting toeneemt. Bij menging van zoet rivierwater en zout zeewater treedt een mobilisatie proces op doordat de organische koolstof van de met de rivieren meegevoerde zwevende deeltjes afgebroken wordt. De degradatieproducten die hierbij ontstaan vormen complexen met het particulier-gebonden kwik dat daardoor in oplossing gaat (8).

In figuur 5.18 is het jaargemiddelde totaalkwik tussen Schaar van Oude Doel en Vlissingen in 1975, 1979 en 1981 gegeven. Uit deze figuur blijkt een duidelijke afname in het totaalkwikgehalte in westelijke richting, en een afname bij alle meetpunten sinds 1975.

In tabel 5.8 zijn de totaalgehalten, de gehalten opgelost kwik, het metaalgehalte zwevende stof, het bindingspercentage en de totale vracht weergegeven. Uit de tabel blijkt dat behalve het kwikgehalte ook de kwikvracht sinds 1972 afneemt.

Fig. 5.10 Monsterpunten Westerschelde



WESTERSCHDELDE : AFSTAND MEETPUNTE T.O.V. VLISSINGEN.

MEETSTATION	MEETPUNT	AFSTAND IN %
VLISSINGEN	3	0
HOOFDPLAAT	38	11,8
TERNEUZEN	28	23,6
HOEK VAN BAARLAND	10	32,6
HOEDEKENSKERKE	14	38,3
HANSWEERT	15	46,6
ZUIDERGAT	34	51,0
SCHAAR VAN WAARDE	35	50,6
LAMSWAARDE	17	55,4
OVERLOOP VAN WALKENISSE	18	58,7
BOEI 71 a	71 a	63,0
EATH	21	66,4
BOEI 81 a	81 a	68,4
BOEI 83 a	83 a	70,3
SCHAAR VAN OUDEN DOEL	25	72,6

Fig. 5.11 Jaargemiddelde percentage zoetwater

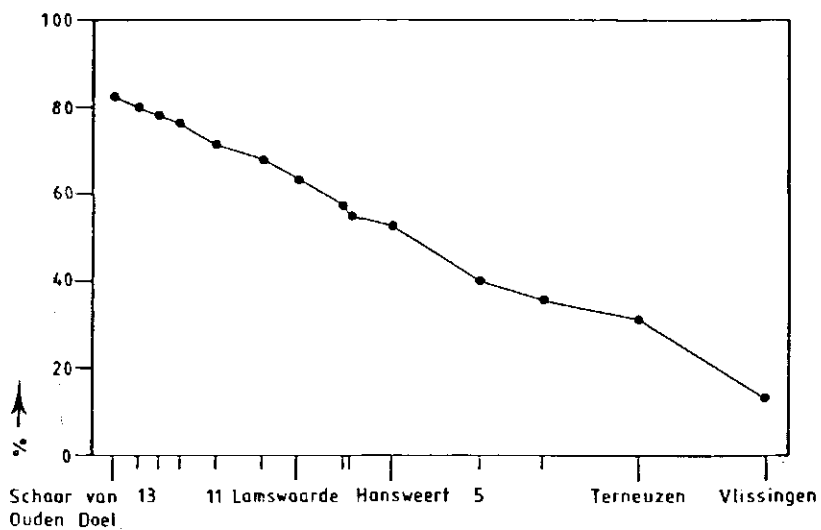
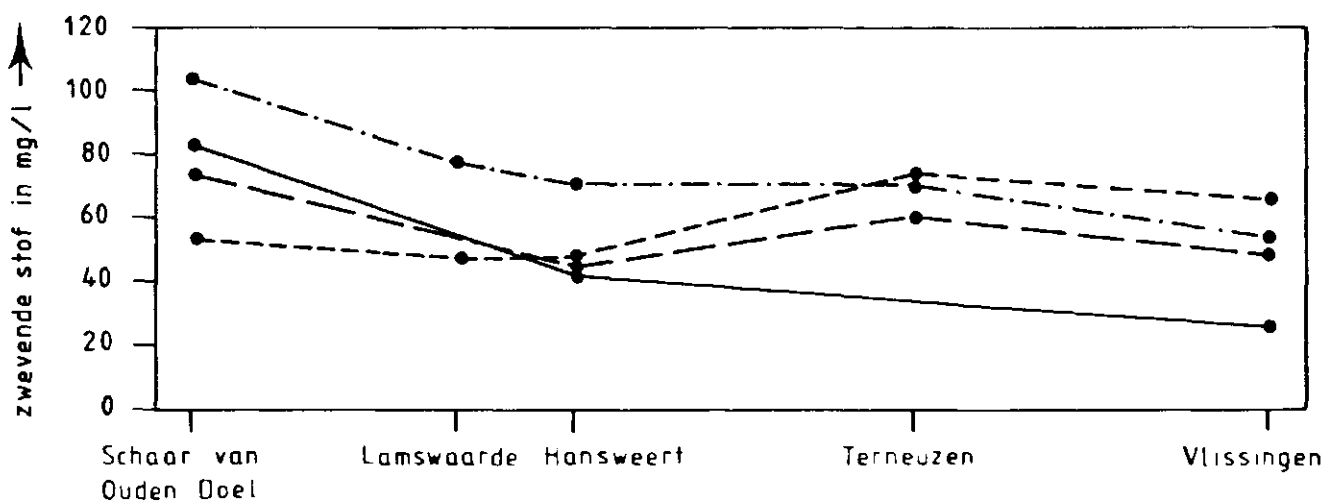


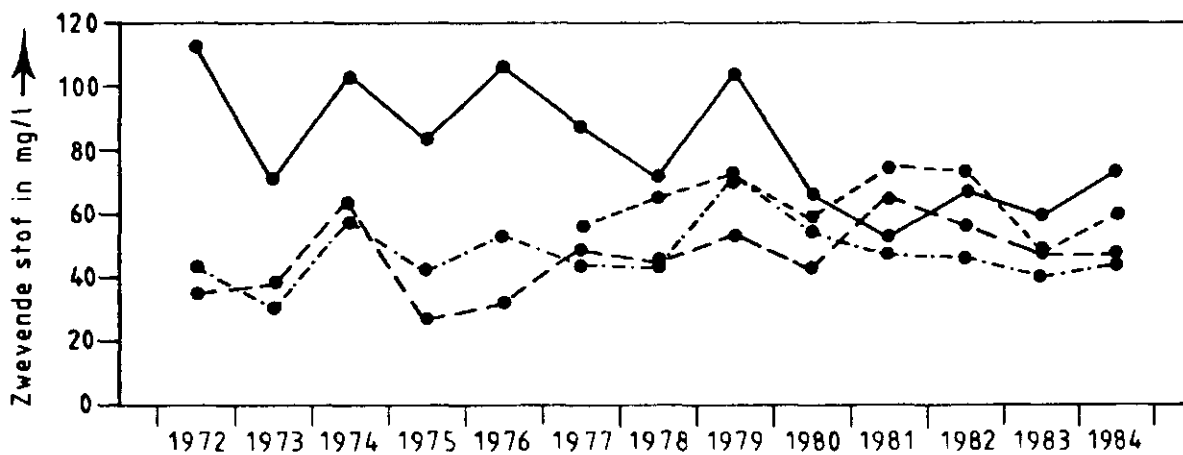
Fig 5.12 Lengte-as jaargemiddelde zwevende stof (mg/l)



Legende:

- 1975
- - - 1979
- - - 1981
- - - 1984

Fig 5.13 Tijd-as jaargemiddelde zwevende stof (mg/l)



Legende:

- 25 Schaar van Ouden Doel
- . - . - 15 Hansweert
- - - 28 Terneuzen
- - - 3 Vlissingen

Tabel 5.7 Overzicht van de jaarvrachten zwevend stof (in miljoen ton per jaar) de Schelde-afvoer (m³/s) en de jaargemiddelde zwevend stofgehalten (mg/l) bij Schaar van Oude Doel (75).

	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Vracht (10 ⁶ ton)	0,49	0,24	0,54	0,54	0,41	0,39	0,29	0,52	0,53
Afvoer (m ³ /sec)	73	68	139	100	60	98	87	104	129
Gehalte (mg/l)	112	70	103	116	125	88	92	96	85

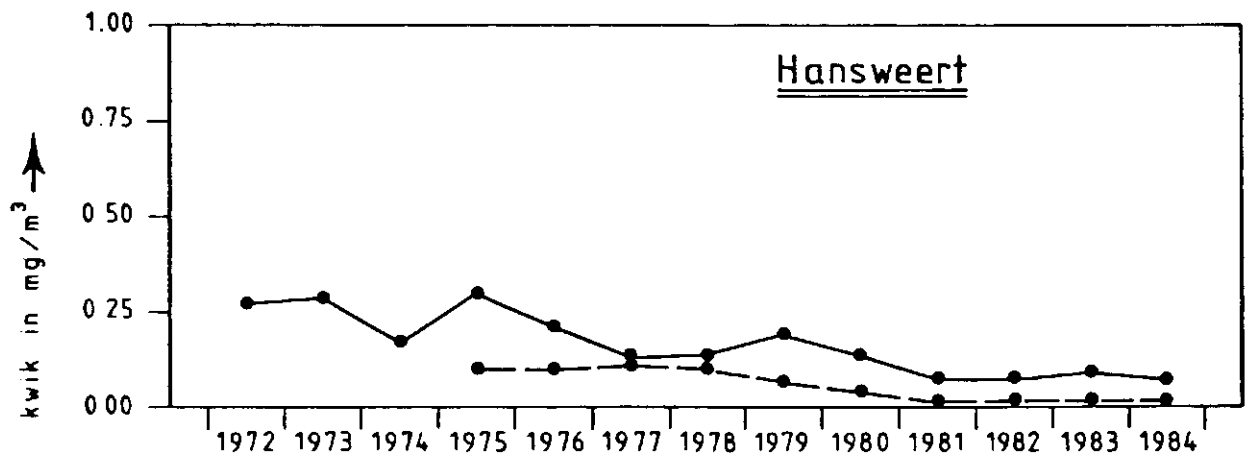
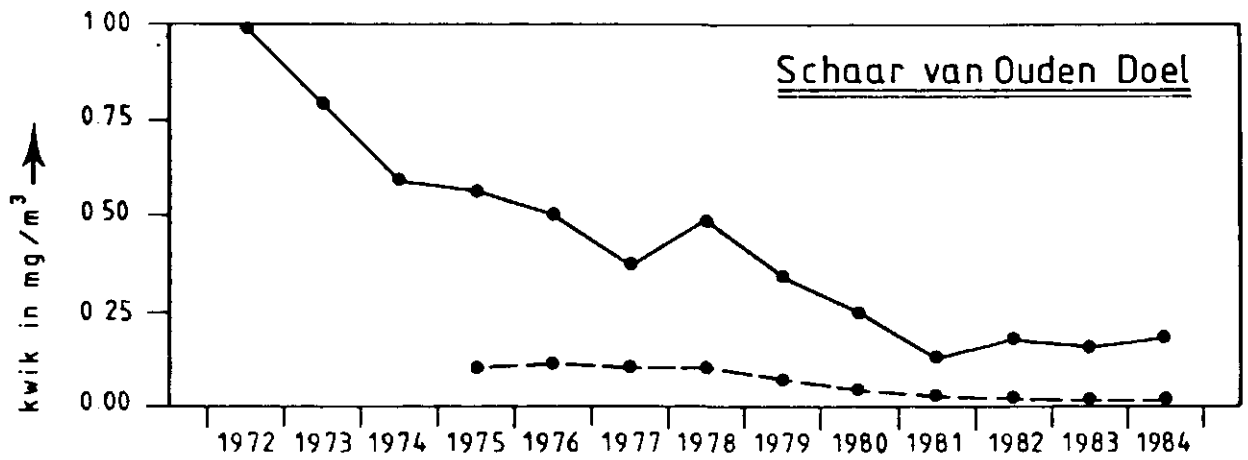
vervolg	81	82	83	84
	0,25	0,29	0,28	-
	160	124	120	-
	88	67	59	73

Tabel 5.8 Totaalgehalten, gehalte opgelost en bindingspercentage kwik in de Westerschelde bij de meetpunten Schaar van Oude Doel, Hansweert, Terneuzen en Vlissingen.

KWIK	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
detectiegrens (µg/l)	0,1			0,05						0,01			
Gehalte totaal (µg/l)													
Schaar v. O.D. gemiddeld	0,99	0,79	0,59	0,56	0,50	0,17	0,49	0,34	0,24	0,12	0,18	0,16	0,18
Schaar v. O.D. mediaan	0,60	0,50	0,40	0,40	0,20	0,30	0,30	0,20	0,25	0,10	0,13	0,13	0,15
Hansweert gemiddeld	0,28	0,29	0,17	0,30	0,21	0,13	0,14	0,19	0,14	0,07	0,07	0,09	0,07
Hansweert mediaan	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,10	0,06	0,07	0,09	0,07
Terneuzen gemiddeld	-	-	-	-	-	0,11	0,13	0,13	0,09	0,06	0,08	0,07	0,07
Terneuzen mediaan	-	-	-	-	-	0,10	0,10	0,13	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07
Vlissingen gemiddeld	-	0,32	0,12	0,14	0,13	0,33	0,10	0,10	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05
Vlissingen mediaan	-	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06
Gehalten opgelost (µg/l)													
Schaar v. O.D. gemiddeld	-	-	-	0,10	0,11	0,10	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02
Schaar v. O.D. mediaan	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01
Hansweert gemiddeld	-	-	-	0,10	0,10	0,11	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Hansweert mediaan	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Terneuzen gemiddeld	-	-	-	-	-	0,10	0,10	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Terneuzen mediaan	-	-	-	-	-	0,10	0,10	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02
Vlissingen gemiddeld	-	-	-	0,10	0,11	0,10	0,10	0,07	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02
Vlissingen mediaan	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02
Metaalgehalten zwevend stof (mg/kg)													
Schaar v. O.D. gemiddeld	-	-	-	6,7	2,2	2,8	3,5	4,9	3,2	2,0	2,7	3,0	2,6
Hansweert gemiddeld	-	-	-	n.m.	1,1	0,6	0,5	1,7	1,7	1,2	1,5	2,6	1,4
Terneuzen gemiddeld	-	-	-	-	-	0,3	0,4	1,1	0,8	0,7	0,6	1,4	0,9
Vlissingen gemiddeld	-	-	-	5,2	n.m.	2,8	n.m.	1,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7
Bindingspercentage aan zwevend stof													
Schaar v. O.D. gemiddeld	-	-	-	77,5	54,6	55,0	67,0	73,1	74,6	76,0	84,7	89,4	89,5
Hansweert gemiddeld	-	-	-	n.m.	12,6	11,1	18,8	52,8	65,7	72,7	71,8	80,2	71,0
Terneuzen gemiddeld	-	-	-	-	-	5,6	16,7	36,1	41,1	67,7	69,7	72,1	62,9
Vlissingen gemiddeld	-	-	-	50,0	4,2	18,2	n.m.	27,8	33,3	66,3	66,6	56,0	53,3
Totaal vracht (ton/jaar) berekend	3,4	3,2	2,8	3,5	1,9	1,8	1,9	1,9	1,2	0,7	1,0	0,8	
Debiet Schelde (m ³ /s) te Schaar van Oude Doel	73	68	139	100	60	98	87	104	129	160	124	120	

Het bindingspercentage is berekend, per waarneming, als:

$$\text{bindingspercentage} = \frac{\text{totaalgeh.} - \text{geh. opgelost}}{\text{totaalgeh.}} * 100\%$$



Legende:

- totaal - kwik
- - - opgelost - kwik

Fig. 5.14 en 5.15 Totaalgehalten kwik en gehalten opgelost kwik (onderbroken lijn) van de Westerschelde bij Schaar van Ouden Doel en bij Hansweert

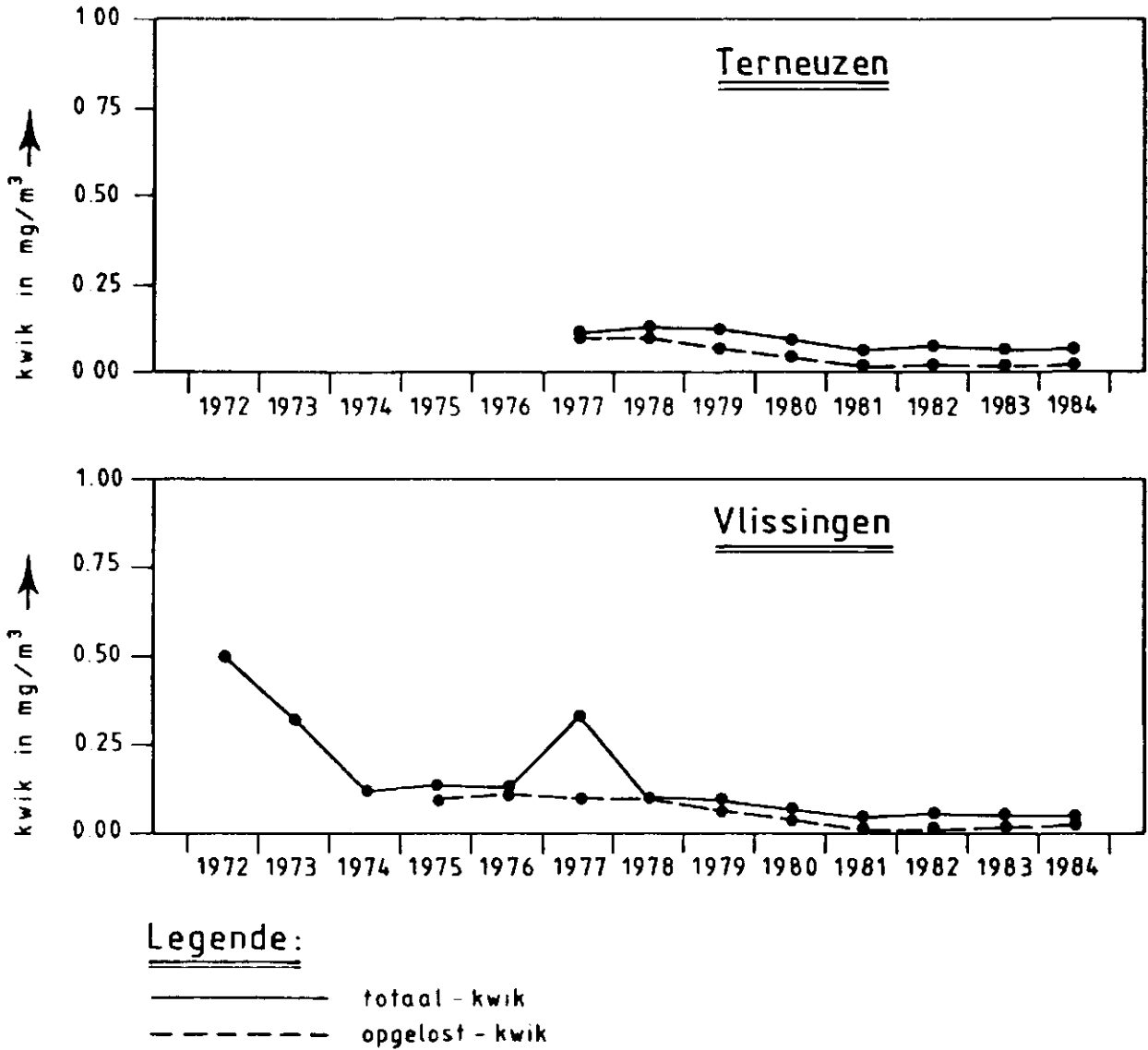
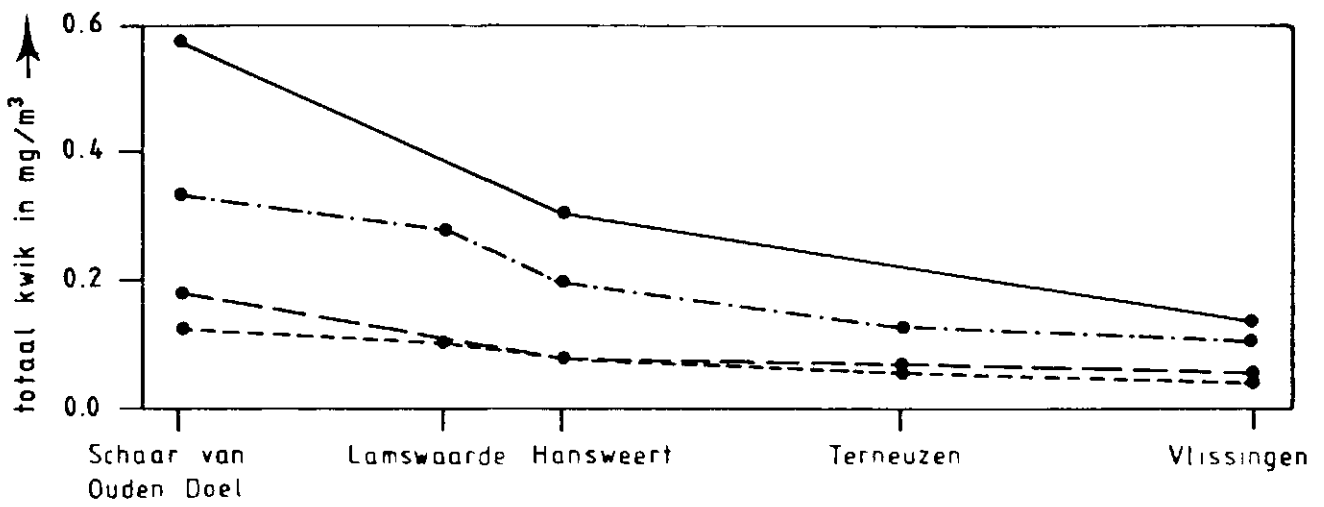


Fig. 5.16 en 5.17 Totaalgehalten kwik en gehalten opgelost kwik (onderbroken lijn) van de Westerschelde bij Terneuzen en bij Vlissingen

Fig 5.10 Lengte-as jaargemiddelde totaal-kwik (ug/l)



Legende:

- 1975
- - - - - 1979
- - - - - 1981
- - - - - 1984

5.2.5 Noordzee

De verspreiding van stoffen langs de kust en in de Noordzee wordt sterk beïnvloed door het stromingsbeeld van de Noordzee. Het gemiddelde reststroomp patroon langs de Nederlandse kust is Noordoostelijk gericht. De invloed van de waterwegen is afhankelijk van de afvoer en de weersomstandigheden. Met name bij de monding van de Westerschelde, het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg kunnen de verschillen groot zijn. De met de Nederlandse rivieren meegevoerde stoffen worden langs een smalle strook (40-50 km) langs de kust naar het noorden verplaatst. Bij de Waddeneilanden is de reststroom vrijwel oostelijk gericht.

Het zwevend stofgehalte in de Noordzee vertoont twee tendensen. In een strook van ± 20 km evenwijdig aan de kustlijn neemt het gehalte af van zuid naar noord. Daarnaast is er een afnemende gradiënt loodrecht op de kust. De brandings- en kustzone zijn erg turbulent waardoor het slib in suspensie wordt gehouden. Rond het mondingsgebied van de Westerschelde bestaat de bodem uit klei-achtige lagen waardoor het zwevend stofgehalte hoog is. In de zomer worden in het algemeen lagere waarden waargenomen dan in de winter. In het verloop van de jaargemiddelde op zee en langs de kust is geen duidelijke trend waarneembaar. De gehalten van de strandbemonsteringen variëren door de grote turbulentie sterk.

Sinds 1979 worden in het kader van het internationale joint monitoring programme watermonsters geanalyseerd op onder andere kwik. De resultaten over de periode 1981-1983 staan in tabel 5.9 vermeld. In figuur 5.19 zijn de monsterlokaties aangegeven.

Langs de kust neemt het totaalkwikgehalte van zuid naar noord enigszins af. Deze afname komt overeen met de afname in het zwevende stofgehalte (79). De hogere kwikgehalten in de estuaria in 1979 zijn waarschijnlijk het gevolg van de hogere detektielgrens ($0,05 \mu\text{g/l}$). In 1980/1981 daalt het kwikgehalte op vrijwel alle monsterlokaties. In het Eems-estuarium daalt het totaal kwikgehalte tussen 1980 en 1983. In 1983 is een aantal monsterlokaties en de methode van filtreren veranderd. De afname in het gehalte opgelost kwik in de Waddenzee in

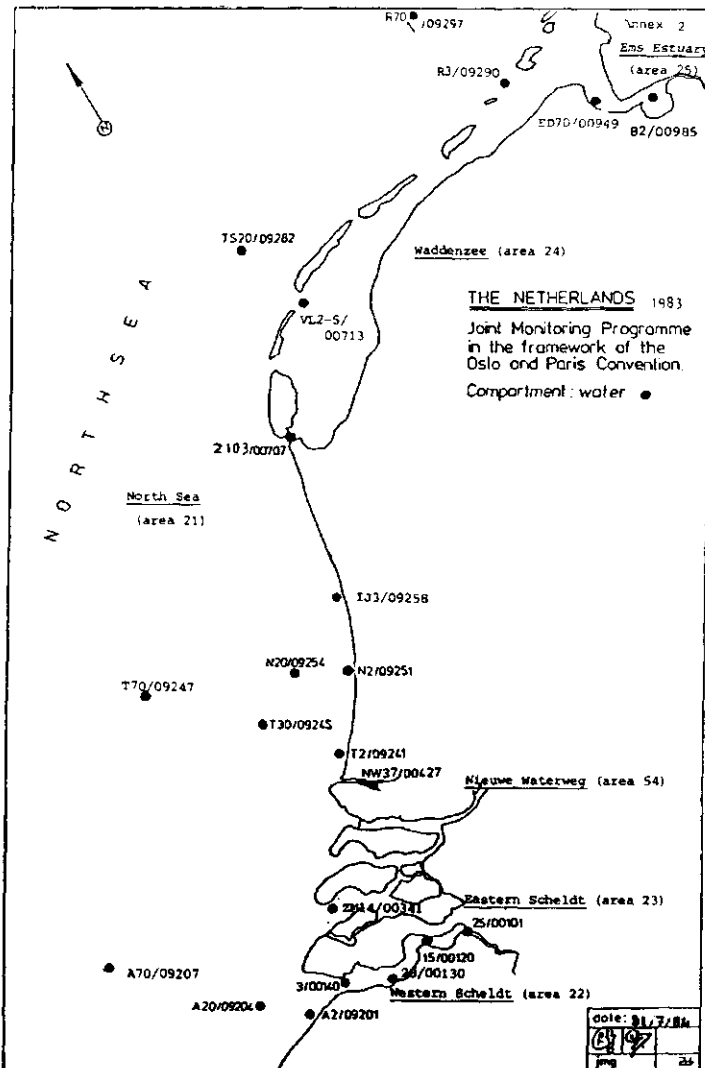
Tabel 5.9 Kwikgehalten in de Noordzee en estuaria, gemeten in het kader van het Joint Monitoring Programme 1979-1983 ($\mu\text{g/l}$).

Monsterlokatie	RIZA code	opgelost gehalte					totaalgehalte				
		1979	1980	1981	1982	1983	1979	1980	1981	1982	1983
Schaar van Oude Doel	00101	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,34	0,24	0,12	0,15	0,16
Hansweert	00120	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,19	0,14	0,07	0,07	0,09
Terneuzen	00130	0,07	0,04	0,02	0,02	0,02	0,12	0,09	0,06	0,08	0,07
Vlissingen	00140	0,07	0,04	0,01	0,01	0,02	0,10	0,07	0,05	0,05	0,06
Hammen	00341	0,06	0,05	0,01	0,02	0,01	0,07	0,05	0,02	0,03	0,02
Maassluis	00427	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,10	0,12	0,05	0,07	0,07
Appelzak 2	09201	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	-	-	-	-	0,10
Appelzak 10	09204	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	-	-	-	-	0,03
Ter Heyde -2	09241	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	-	0,03	0,02	0,05	0,06
Noordwijk -2	09251	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	-	-	-	-	0,07
IJmuiden -3	09258	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	-	-	-	-	0,09
Ter Heyde 30	09245	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	-	0,03	0,01	0,05	0,03
Noordwijk 30	09254	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02	-	-	-	-	0,04
Rottum 3	09290	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02	-	-	-	-	0,04
Appelzak -70	09207	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	0,04
Ter Heyde -70	09247	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	-	0,03	0,02	0,03	0,04
Terschelling -20	09282	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	-	-	-	-	0,03
Rottum -70	09297	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	-	-	-	-	0,01
Waddenzee ZW	00707	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,10	0,08	0,04	0,05	0,04
Waddenzee NW	00713	0,05	0,05	0,05	0,04	0,01	-	0,07	0,06	0,05	0,04
Eems Dollard-Oost	00985	0,08	0,08	0,06	0,03	0,02	0,16	0,18	0,14	0,10	0,10
Eems Dollard-West	00949	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,11	0,12	0,13	0,08	0,08

Bron: ref. 79.

1983 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de verandering van de filtratie-methode (79).

fig. 5.19 Monsterlokaties wateranalyses in het kader van het Joint Monitoring Programme.



bron: ref. 79

5.2.6 De Waddenzee

Het zoetwaterpercentage in de westelijke Waddenzee bedraagt ongeveer 22 procent. Tweederde hiervan is Rijnwater (50% aanvoer via IJsselmeer, 50% via Noordzee). Daarnaast vindt via de Noordzee aanvoer van water afkomstig van de Schelde en de Maas plaats. Door de wisselende stroomrichting en snelheden vindt een netto aanvoer van slib plaats (accumulatie zwevend materiaal). Onder invloed van weersgesteldheid en getij vindt mobilisatie van metalen plaats waardoor het effect van accumulatie van metalen door de netto slibaanvoer tegengewerkt wordt.

De meetpunten waar het kwikgehalte is bepaald zijn aangegeven in figuur 5.20. De monsterpunten liggen in verschillende kombergingsgebieden die door een wantij van elkaar worden gescheiden. Over de wantijen vindt bij rustige weersomstandigheden nauwelijks transport van water plaats tussen de kombergingsgebieden.

In tabel 5.10 zijn de meetgegevens voor kwik over de periode 1978-1980 weergegeven. De monsterlokaties zijn in figuur 5.20 aangegeven. Uit deze gegevens kunnen geen trends afgeleid worden. Uit onderzoek naar andere zware metalen blijkt dat in de tweede helft van de jaren zeventig geen verandering in de Waddenzee is opgetreden (77). In absolute zin zijn de gehalten hoog in vergelijking met andere zoute en brakke wateren, wat veroorzaakt wordt door een hoog zwevend stofgehalte (zie tabel 5.11).

In de Waddenzee treden grote ruimtelijke verschillen in zwevend stofgehalte op. Het kwikgehalte van de zwevende stof in de westelijke Waddenzee en de zeegaten is lager dan in de geulen van de oostelijke Waddenzee (bij onderzoek naar standaardslib $50\% < 16 \mu\text{m}$).

Door sedimentopwoeling is het zwevend stofgehalte in de winter meestal hoger dan in het voorjaar en de zomer (figuur 5.21). Naast de seizoensinvloeden op het zwevend stofgehalte kan het zwevend stofgehalte bij laag water veel hoger zijn dan bij hoogwater. Op een aantal lokaties is een toename van het zwevende stofgehalte van de Waddenzee sinds 1972 waargenomen. Deze toename is mogelijk een gevolg van baggeractiviteiten buiten de Waddenzee.

In tabel 5.12 zijn enkele karakteristieke zwevende stofgehalten voor de Waddenzee weergegeven.

Voor de Waddenzee is onderzocht of er een correlatie bestaat tussen het zwevend stofgehalte en het particulier-gebonden kwik. Door de grote spreiding in de waarnemingen is het moeilijk om correlaties aan te geven. Voor de monsters van alle lokaties samen is er wel sprake van een positieve lineaire correlatie, terwijl voor de afzonderlijke lokaties deze correlatie niet gevonden werd.

Tabel 5.10 Gemiddelde en mediaanwaarden van het gehalte aan totaal en opgelost kwik in de Waddenzee (1978-1980) * in µg/l (ref. 77).

Lokatie **	puntkode	opgelost Hg		slib in mg/kg	totaal Hg	
		gem.	mediaan		gem.	mediaan
Maasdiep (noord) (eb)	707	0,037	0,040	72-40	0,074	0,07
Maasdiep (zuid) (eb)	708	0,044	0,050	78-29	0,072	0,070
Vliestroom (eb)	713	0,046	0,050	51-42	0,086	0,070
Danzigtgat (eb)	739	0,071	0,050	167-142	0,155	0,130
Zoutkamperlaag (eb)	749	0,051	0,046	97-95	0,088	0,080
Zuid-Oost Lauwers (eb)	865	0,051	0,050	110-85	0,080	0,075
Marsdiep (noord) (vloed)	90707	0,040	0,050	48-45	0,089	0,080
Marsdiep (zuid) (vloed)	90708	0,043	0,040	48-56	0,078	0,080

* 14-18 waarnemingen

** de lokaties worden weergegeven in bijgaande kaart.

Tabel 5.11 Gemiddelde kwikgehalten in brakke en zoute wateren in het Nederlands kustgebied (periode 1980-1983) (ref. 77).

Gebied	opgelost (µg/l)	Totaal (µg/l)	Zwevende stof (mg/l)
Eems-Dollard	0,05	0,11	141
Westelijke Waddenzee	0,04	0,09	93
Marsdiep	0,04	0,09	54
Kust Noord-Holland (2 km)	0,02	-	16
Kust Zuid-Holland (2 km)	0,02	0,02	13
Oosterschelde (1-1/30-6-1982)	0,02	0,03	-
Boven Terschelling (2 km)	0,02	-	-

Tabel 5.12 Gemiddeld zwevend stofgehalte (mg/l) in enkele delen van de Waddenzee (ref. 77).

Gebied	zomer	winter
Westelijke Waddenzee	30	55
Lauwers (zeegat)	80	110
Zuid-Oost Lauwers (kust)	150	200

fig. 5.20 Monsterlokaties in de Waddenzee.

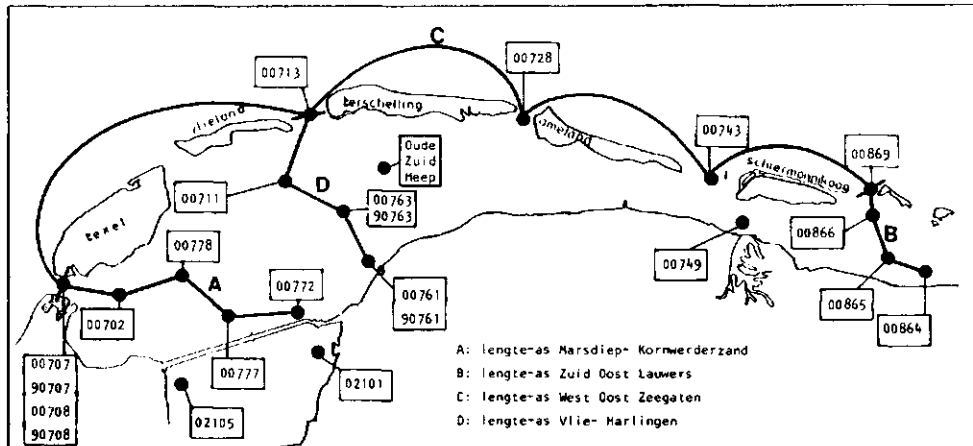
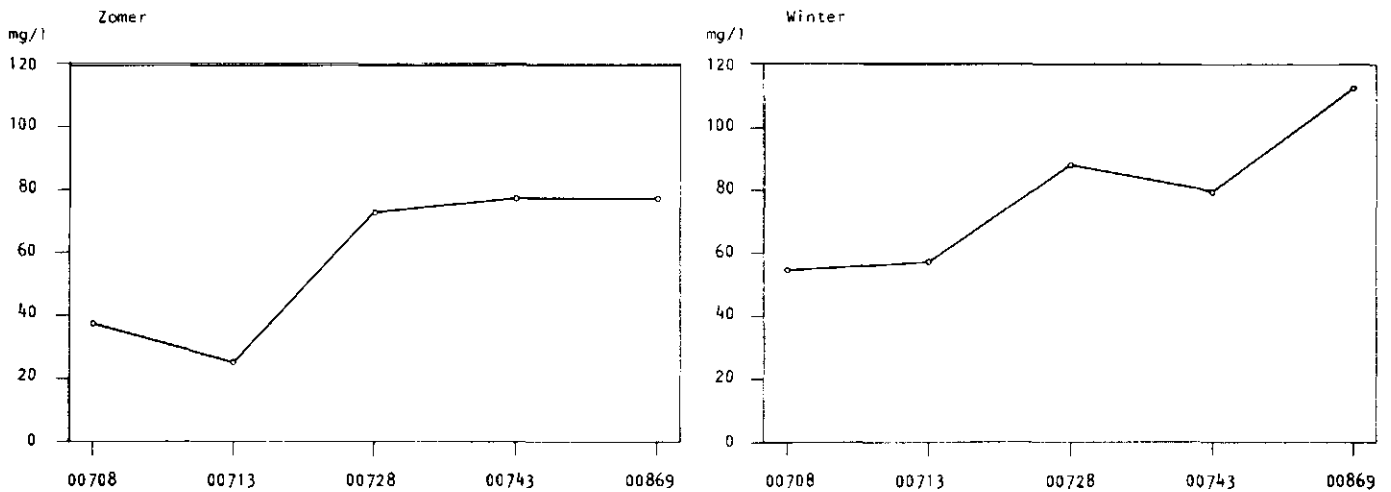


fig. 5.21 Gradiënt west-oost zeegaten. Gemiddeld zwevend stofgehalte 1976-1980.



5.3 Sediment

5.3.1 Sedimentatie van kwik in Nederland

Het sediment kan worden gevormd uit afgestorven resten van planten en dieren, door precipitatie of door bezinking van met het bovenstaande water meegevoerde zwevende stof. De verhouding tussen het metaalgehalte van zwevende stof en van sediment bedraagt ongeveer een factor 1,5 (80). Dit is het gevolg van een verschil in de gemiddelde deeltjesgrootte van zwevende stof en sediment. Zwevende deeltjes hebben in het algemeen een kleinere diameter.

Sediment is opgebouwd uit deeltjes met verschillende diameters zodat de metaalgehalten van sediment in de ruimte en in de tijd sterk kunnen verschillen. Om te corrigeren voor de deeltjesgrootte wordt het gehalte omgerekend naar sediment waarvan vijftig procent een diameter kleiner dan 16 micrometer heeft (standaard sediment). Hierdoor kunnen de metaalgehalten die op een verschillende plaats of tijd bepaald zijn met elkaar worden vergeleken.

De waterkwaliteit wordt mede door de sedimentkwaliteit bepaald omdat er continu uitwisseling van stoffen tussen sediment en het water plaatsvindt. Daarnaast is de sedimentkwaliteit van belang voor de bergingsmogelijkheden van baggerspecie bij het op diepte houden van vaargeulen en havens.

De sedimentatie van kwik in Nederland kan geschat worden aan de hand van gegevens over de sedimentatie van zwevende stof dat door de Rijn en de Maas wordt aangevoerd. De vracht particulier-gebonden kwik in de Rijn bedroeg in 1980 ca. 10,8 ton (zie tabel 5.2) en van de Maas 3,2 ton (berekend uit ref. 74). De vracht opgelost kwik bedroeg resp. 4,6 en 0,4 ton.

In tabel 5.13 is de sedimentatie van particulier gebonden kwik berekend.

Tabel 5.13 Sedimentatie van zwevende stof en kwik in Nederland in 1980.

	zwevende stof * (procenten)	kwik (tonnen)
- Aanvoer Rijn en Maas	100	14
- Sedimentatie tot aan de lijn Vreeswijk-Gorinchem-Keizersveer (incl. Ketelmeer)**	17	2,4
- Sedimentatie Hollands Diep- Haringvliet	33	4,6
- Sedimentatie in Nieuwe Maas- havens	42	5,9
- Afvoer naar zee (sluitpost)	8	1,1

* Ref. 57.

** ca. 10% sedimenteert in het Ketelmeer en 5% op de uiterwaarden (ref. 86).

Volgens deze gegevens sedimenteerde er in 1980 dus 12,9 ton en werd er 6,1 ton (1,1 ton particulier-gebonden en 5 ton kwik in opgeloste vorm) naar de Noordzee afgevoerd.

Vanuit het IJsselmeer wordt nog 1,3 ton kwik naar de Noordzee afgevoerd (76) en via de Westerschelde nog 1,2 ton kwik aangevoerd zodat de totale aanvoer ca. 20,2 ton bedroeg en de sedimentatie 11,6 ton (55%). Hierbij moet opgemerkt worden dat het gedrag van particulier-gebonden kwik in het algemeen niet conservatief zal zijn (desorptie en adsorptie) en dat er tijdens het transport van de zwevende stof zowel sedimentatie als opwoeling zal plaatsvinden. Op grond van deze schatting zal ongeveer de helft van het met de rivieren aangevoerde kwik in Nederland sedimenteren (zie ook par. 5.5). Daarnaast vindt er in de havens nog sedimentatie van Noordzee-slib plaats. Er wordt jaarlijks ca. 7,5 miljoen ton slib vanuit de Noordzee aangevoerd, waarvan weer ca. 2,5 miljoen ton wordt afgevoerd. Er zal dus ca. 5 miljoen ton Noordzee slib in de havens sedimenteren (57). Het kwikgehalte van het Noordzeeslib zal in 1980 ca. 1,5 mg/kg hebben bedragen (meetpunt Ter Heyde, 1981) (1,4 mg/kg) (ref. 87), zodat er in totaal ca. 7,5 ton kwik met het Noordzee slib sedimenteerde. (Deze hoeveelheid werd (kwantitatief) weer teruggestort in zee.)

5.3.2 Kwikgehalten in sediment van zoetwater

De sedimentkwaliteit wordt door de beheerders van de Rijkswateren en de provinciale waterstaatsdiensten bepaald. Door het Waterloopkundig Laboratorium wordt in opdracht van het RIZA een inventarisatie gemaakt van de kwaliteit van de sedimenten (81). In figuur 5.22 en tabel 5.15 zijn de eerste gegevens van deze inventarisatie weergegeven. De gegevens zijn in juli-augustus 1984 verzameld en ingedeeld in kwaliteitsklassen. Voor de gemeten gehalten (niet gecorrigeerd) zijn de A-, B- en C-waarden uit de leidraad bodemsanering als klassegrenzen gehanteerd. Voor de gecorrigeerde gehalten (standaardsediment) zijn ook de klassegrenzen gecorrigeerd. De klassegrenzen en klasse-indeling zijn in tabel 5.14 weergegeven.

Het achtergrondgehalte in Nederland bedraagt 0,1 mg/kg (81).

Tabel 5.14 Klassegrenzen en -indeling voor de beoordeling van de sedimentkwaliteit (ref. 81).

	Niet-gecorrigeerd (gemeten)	Gecorrigeerd (standaard sediment)
Klassegrenzen	A = 0,5 mg/kg B = 2,0 mg/kg C = 10 mg/kg	I = 1,5 mg/kg II = 9 mg/kg III = 16 mg/kg
Klasse-indeling	1 gehalte < A 2 gehalte > A en < B 3 gehalte > B en < C 4 gehalte > C	gehalte < I gehalte > A en < B gehalte > B en < C gehalte > C

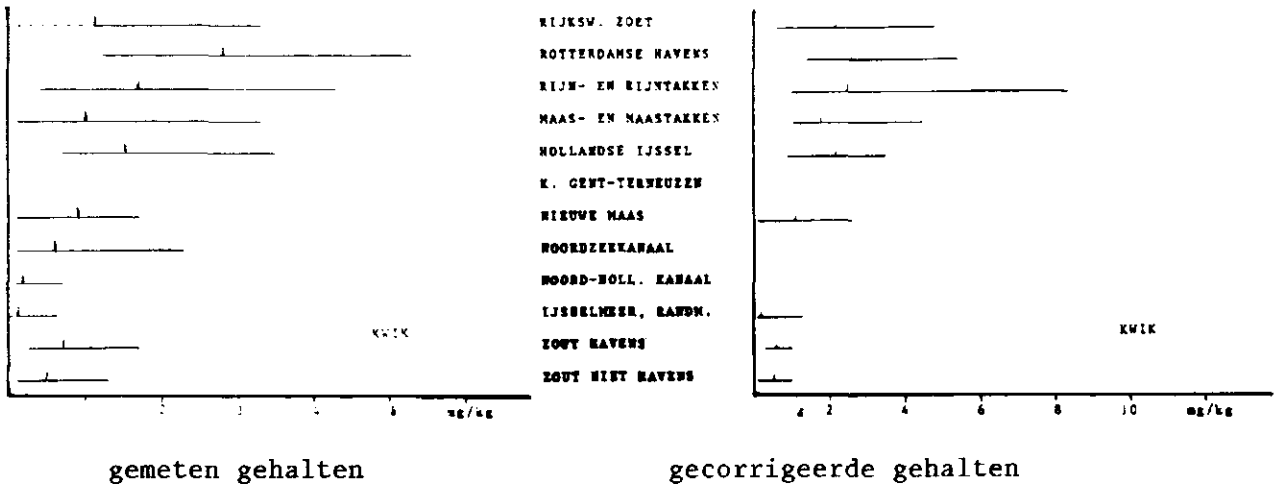
Het kwikgehalte van het sediment van de Rijn en Rijntakken (incl. Hollands Diep, Haringvliet en Ketelmeer), de Maas en Maastakken, de Rotterdamse havens en de Hollandse IJssel is relatief hoog. Zeer hoge gehalten zijn gevonden bij Groot-Ammers (Lek), Herwijnen (Waal) en op een lokatie in de Hollandse IJssel. De spreiding in de kwikgehalten van het sediment van de Rijn en Rijntakken is erg groot. Het niet gecorrigeerde kwikgehalte van het sediment uit de Rotterdamse havens is het grootste, terwijl na correctie het sediment uit de Rijn en Rijntakken de hoogste waarde bereikt. De oorzaak hiervan is dat het sediment van de havens slibrijk is (slib heeft een diameter < 50 µm) en van de rivieren zandrijk (zand heeft een diameter > 50 en < 2000 µm) (57).

Tabel 5.15 Kwikgehalten sediment en klasse-score (ref. 81)

	Niet gecorrigeerd (gemeten)				Gecorrigeerd (berekend)									
	n	gem.	med.	klasse-score (aantal)				n	gem.	med.	klasse score (aantal)			
				1	2	3	4				1	2	3	4
Rijn en Rijntakken	77	2,2	1,7	9	36	31	1	49	3,5	2,5	11	34	4	
Maas en Maastakken	43	1,5	1,0	11	24	8		24	2,2	1,8	1	6	18	
Rotterdamse havens	105	3,4	2,8	4	23	74	4	102	3,2	2,6	14	84	3	
Nw. Maas, Oude Maas, Nw. Waterweg	34	0,9	0,8	13	19	1	1	22	1,4	1,1	11	10	0	
IJsselmeer en randmeren *	75	0,23	0,1	65	10			27	0,5	0,2	25	2		
Hollandse IJssel	45	2,1	1,4	4	26	14	1	19	2,8	2,2	6	12	1	
Noordzeekanaal	98	1,0	0,6	46	11	40	1							
Noordhollands kanaal	33	0,32	0,2	26	6	0	1							
Kanaal Gent-Terneuzen					0	3								
Zoute wateren (niet- havens)	85	0,6	0,5	45	37	3		130	0,60	0,55	123	7		
Zoute wateren (havens)	114	0,9	0,74	37	70	7		94	0,66	0,62	90	0	4	

* Tussen het IJsselmeer en de randmeren zijn de verschillen in het kwikgehalte van het sediment groot (zie figuur 5.24).

fig. 5.22 Kwikgehalten sediment Rijkswateren (10, 50 en 90 percentielwaarden).



bron: ref. 81.

In tabel 5.16 is het verloop van de kwikgehalten in het sediment van de Maas, de Nieuwe Merwede (Rijntak), het Haringvliet, het Hollands Diep, het Ketelmeer en het IJsselmeer-noord weergegeven. In tabel 5.17 zijn de kwikgehalten van het sediment van de Rijnmond en de Rotterdamse havens gegeven (83,71).

Het verloop van het kwikgehalte van de Rijn, de Maas en het Haringvliet zijn bovendien in figuur 5.23 weergegeven.

Tabel 5.16 Kwikgehalten in sediment van Maas, Nieuwe Merwede, Hollands Diep en Haringvliet in de periode 1970-1983.

	Maas ¹ (Waalwijk)	Nieuwe Merwede ¹ (Werkendam)	Hollands Diep ¹ (Klundert)	Haringvliet ¹ (Middel-harnis)	Ketelmeer	IJsselmeer (noord)
Kwikgehalte in µg/g						
1970	5,0	-	-	4,4		
1971	5,0	18,3	9,1	6,6		
1972	4,9	19,8	5,8	6,7		
1973	4,5	16,0	10,7	7,2		
1975	4,1	6,8	6,7	6,0		
1976	-	5,9	-	-		
1977	5,4	8,4	4,8	6,6		
1979	-	7,7 ²	-	-	8,3 ³	1,3 ³
1983	2,2 ²	3,5 ²	2,5 ⁴	5,0 ⁴	2,7 ⁴	1,5 ⁴

Bron: 1 1970-1979, ref. 82

2 ref. 81 (tabel 5.15)

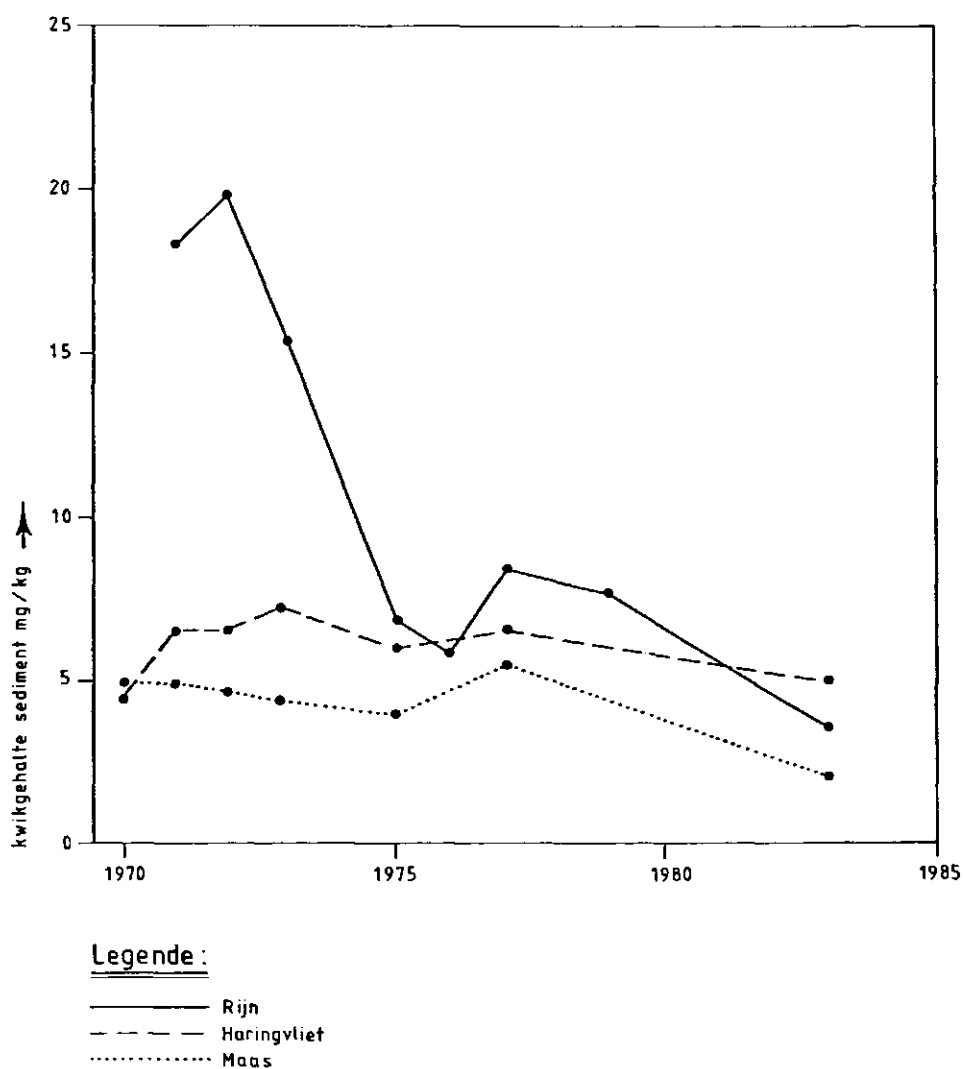
3 ref. 78,84; gemiddelde meetpunten Y1, Y2 (Ketelmeer) en Y10 en Y11 (IJsselmeer-noord)

4 ref. 85; IJsselmeer-noord gemiddelde Den Oever-Makkum.

Tabel 5.17 Kwikgehalten in sediment van de Rijnmond en Rotterdamse havens in de periode 1977-1981 (83,71) (mg/kg).

Lokatie	1977	1979	1981
Rijn-, Maas- en Waalhaven	5,6	4,2	
Botlek/3e Petroleumhaven	2,8	2,5	
Europoort/Maasmond	1,0	0,9	
Oostelijke havens	5,2	4,1	4,0
Idem, zelfde monsterlokatie	4,2	3,8	4,0

fig. 5.23 Verloop van de kwikgehalten van de Rijn, de Maas en het Haringvliet in de tijd (80).



Het kwikgehalte van het Rijnsediment daalde tot 1975 vrij sterk, en na 1975 geleidelijker. Het kwikgehalte van het Maassediment daalt over de gehele periode geleidelijk. Het kwikgehalte van het sediment van het Haringvliet is na de afsluiting in 1970 gestegen tot een min of meer constant niveau, en daalt sinds 1979. In het Hollands Diep varieert het kwikgehalte van het sediment in de periode 1971-1975 vrij sterk. Na 1975 neemt het gehalte geleidelijk af. In het Ketelmeer neemt het kwikgehalte van het sediment tussen 1979 en 1983 sterk af. (Vergelijkbaar met de afname in het Rijnsediment). In het IJsselmeer-noord (bij de Afsluitdijk) is het gehalte in 1983 hoger dan in 1979. In het sediment van de havens lijkt het kwikgehalte af te nemen. In de ooste-

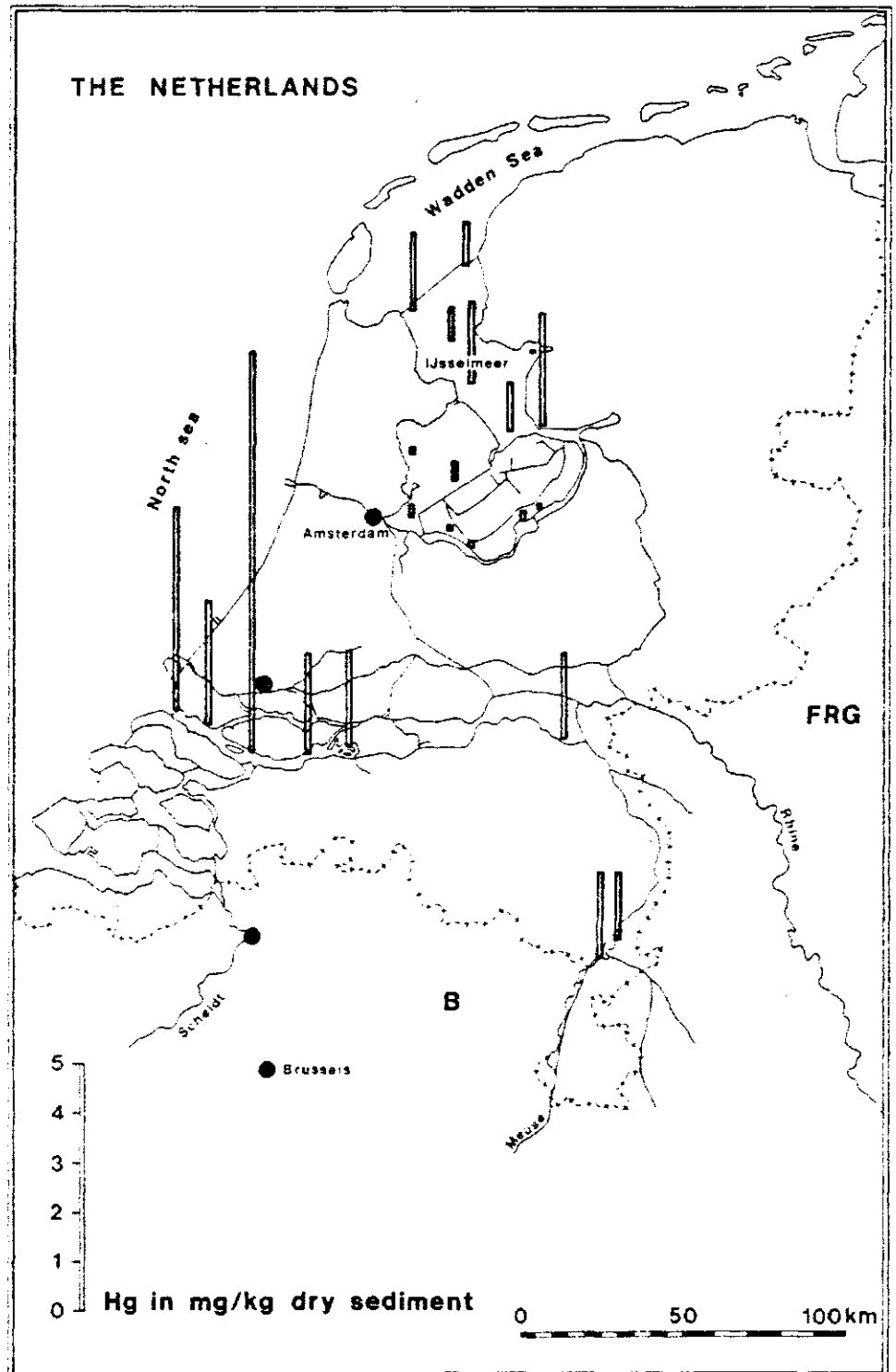
lijke havens is deze tendens niet meer aanwezig als de resultaten van de bepalingen die op dezelfde monsterlokatie betrekking hebben, met elkaar vergeleken worden (tabel 5.16).

In tabel 5.18 en figuur 5.24 is het ruimtelijk verloop van de kwikgehalten in het sediment van het IJsselmeergebied en het Maasgebied weergegeven (1983) (85). Het kwikgehalte in het sediment van het sedimentatie gebied Ketelmeer-IJsselmeer vertoont twee tendensen namelijk een afname van het Ketelmeer richting IJsselmeer, waarna weer een toename in het IJsselmeer bij de Afsluitdijk waarneembaar is. Ten opzichte van 1977 was het kwikgehalte in 1983 bij de Afsluitdijk hoger, terwijl op de overige meetpunten, met name in het Ketelmeer, het kwikgehalte afneemt. Het verloop van het kwikgehalte in zowel de tijd als de ruimte is waarschijnlijk het gevolg van een naijl-effect. In de Maas is tot de Biesbosch geen ruimtelijke trend waar te nemen. Het sediment van het Haringvliet en het Hollands Diep worden ook door de Rijn beïnvloed en is daarom niet te vergelijken met het Maassediment. In het Haringvliet treedt ook een naijl-effect op.

Tabel 5.18 Kwikgehalten sediment IJsselmeergebied en Maasgebied (1983).

Lokatie	Kwikgehalte (50% < 16 µm)	Lokatie	Kwikgehalte (50% < 16 µm)
Ketelmeer	2,7	Linne	1,6
Flevocentrale	1,1	Roermond	2,9
Enkhuizen	1,6	Grave	2,3
Medemblik	0,8	Biesbosch Oost	2,1
Den Oever	1,6	Biesbosch West	2,4
Makkum	1,4	Moerdijkbrug	2,3
Hoorn	0,2	Haringvlietbrug	6,2
Markermeer	0,4	Haringvlietsluizen	3,4
IJmeer	0,2		
Gooimeer	0,1		
Eemmeer	0,2		
Wolderwijd	0,2		
Veluwemeer	0,1		

Figuur 5.24 Ruimtelijke verloop van de kwikgehalten in het Ketelmeer-IJsselmeer (+ randmeren) en de Maas en het Hollands Diep-Haringvliet (1983) (85).

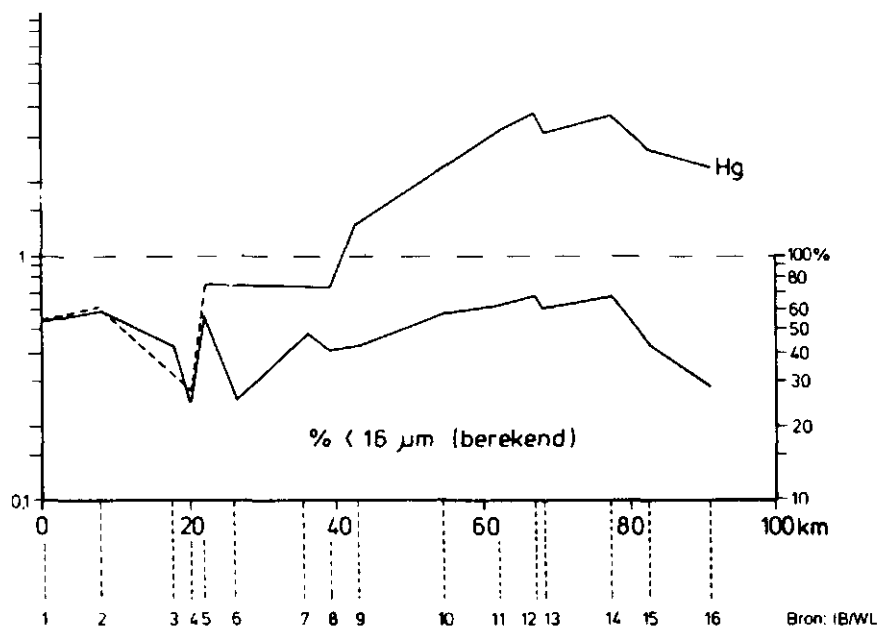


5.3.2 Kwikgehalten in sediment van zout en brak water

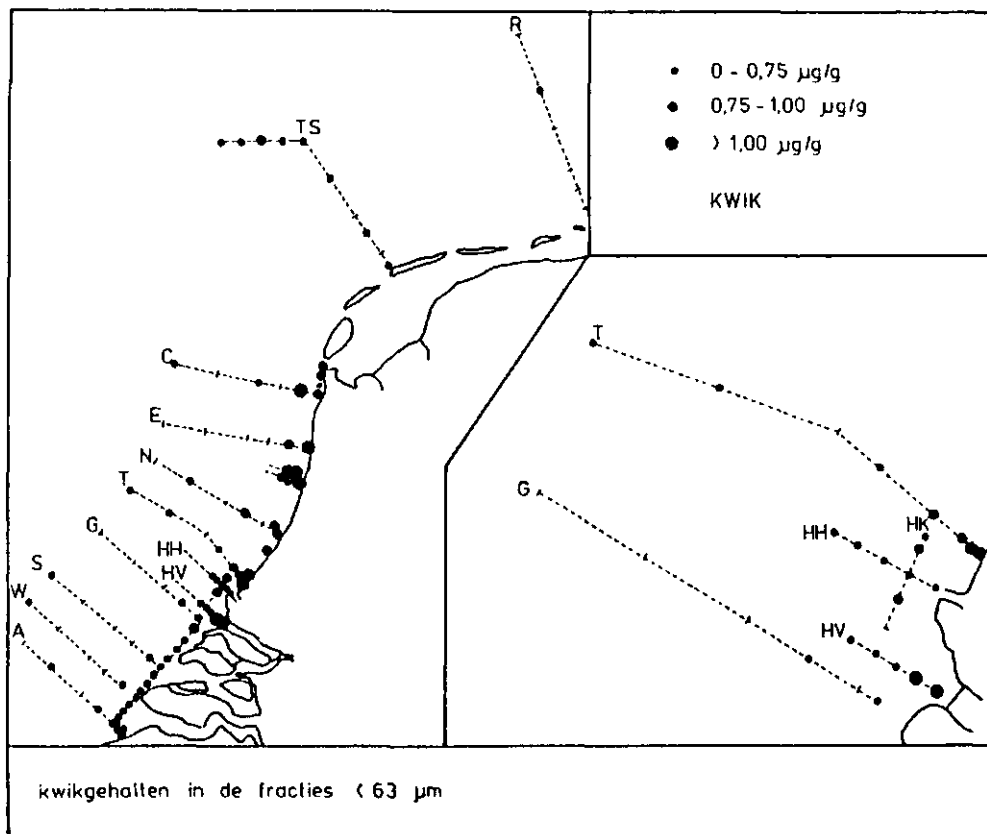
Door menging met zeeslib is in sommige wateren een gradiënt in het kwikgehalte van het sediment waarneembaar. Zo vertoont het kwikgehalte van het sediment van de Schelde een gradiënt van oost naar west (figuur 5.25). Behalve menging met zeeslib treedt een aantal andere processen op (75). Onder invloed van toenemend zoutgehalte, dalend zuurstofgehalte en zuurgraad vindt tussen Antwerpen en Schaar van Oude Doel desorptie plaats. Door onder andere een stijging van het chloridgehalte kunnen metalen weer adsorberen aan en uitvlokken met ijzer- en mangaanhydroxyde. Door afname van de stroomsnelheid vindt verdere sedimentatie plaats. Het kwikgehalte van het sediment is tussen 1974 en 1979 bij Rappelmonde-Antwerpen afgenomen van 3,76 mg/kg tot 2,96 mg/kg en bij Vlissingen van 0,67 mg/kg tot 0,49 mg/kg (standaardslib) (75).

In figuur 5.26 zijn de resultaten van het sedimentonderzoek van de Noordzee in 1980 weergegeven (76). De analyses zijn in de sedimentfractie $< 63 \mu\text{m}$ verricht. Het grootste deel van het sediment bestaat uit fijn tot grof zand. Daarnaast komen andere sedimentlagen voor, bijvoorbeeld tertiaire kleilagen ten zuiden van de monding van de Westerschelde. Via rivieren, estuaria, de golfstroom en baggerspecie stortingen worden jaarlijks miljoenen tonnen slib en zand naar de Noordzee getransporteerd. Geschat wordt dat jaarlijks (periode 1979-1981) ongeveer 11 miljoen ton sedimenteert (76). De grotere deeltjes sedimenteren vrij snel, de kleinere deeltjes sedimenteren in gebieden met minder turbulentie. Hoge kwikgehalten komen voor bij de monding van de Nieuwe Waterweg en bij IJmuiden. Verder in noordelijke richting en van de kust af daalt het gehalte.

Figuur 5.25 Ruimtelijk verloop van het kwikgehalte in het sediment van de Westerschelde (ref. 75).

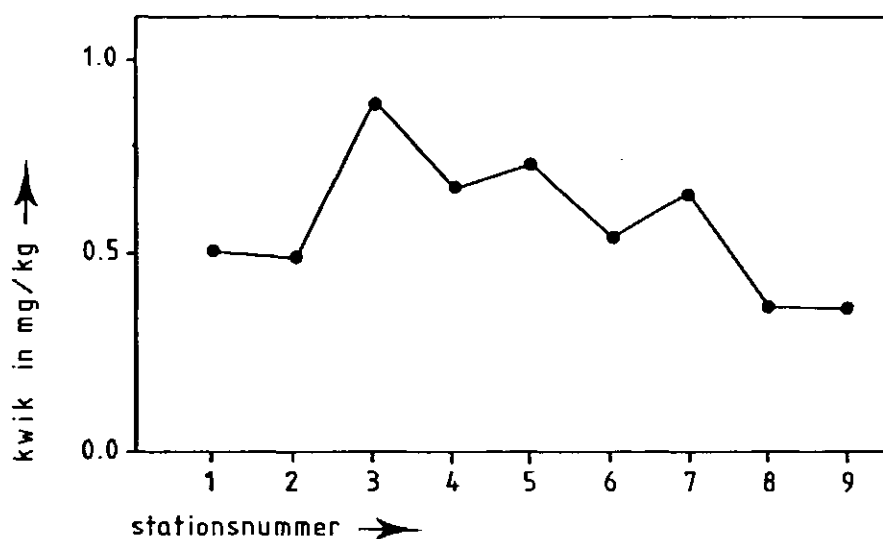


Figuur 5.26 Kwikgehalten in het Noordzee-sediment (76).



In tabel 5.19 is het kwikgehalte van het sediment in de Waddenzee in 1980/1981 weergegeven, en in figuur 5.27 zijn de kwikgehalten in het sediment van de Waddenzee vergeleken met de gehalten in andere mariene afzettingen. De gehalten bij de Vlaamse banken en bij Breskens zijn waarschijnlijk karakteristiek voor het afgezette materiaal dat vanuit het zuiden wordt aangevoerd. Bij Europoort is het gehalte veel hoger door de invloed van de Maas en de Rijn. Door menging met minder verontreinigd materiaal dat vanuit het noordelijk deel van de Noordzee wordt aangevoerd neemt het kwikgehalte weer af. In de Waddenzee vindt accumulatie van Noordzeeslib plaats, wat duidelijk blijkt uit de afnemende gradiënt van de westelijke naar oostelijke Waddenzee. Deze afname zet zich in het Duitse deel van de Waddenzee voort tot in de Jade-boezem, waarna het gehalte bij de monding van de Weser weer stijgt (87). Het sediment dat via het IJsselmeer wordt aangevoerd veroorzaakt lokaal verhoogde kwikgehalten. Door menging met ander sediment neemt het gehalte snel af (87).

Figuur 5.27 Het verloop van de kwikgehalten in mariene afzettingen langs de Nederlandse kust vergeleken met die in de Waddenzee (gegevens ref. 87)



1 Vlaamse banken	(0.51 mg/kg)	6 Julianapolder	(0.55 mg/kg)
2 Breskens	(0.50 mg/kg)	7 Dollard	(0.57 mg/kg)
3 Europoort	(0.90 mg/kg)	8 Ost-Friesland	(0.37 mg/kg)
4 Balgzand	(0.67 mg/kg)	9 Jade-boezem	(0.37 mg/kg)
5 Noorderleeg	(0.74 mg/kg)		

Tabel 5.19 Kwikgehalte in Waddenzee-sediment (50% < 16 µm) (87).

Lokatie	Kwikgehalte (mg/kg)	
	1980	1981
Texel (haven)	0,65	
Texel (Oude Schild)	0,64	
Vlieland		0,67
Balgzand	0,92	0,73
Afsluitdijk		0,74
Harlingen-Zürich		0,80
Julianapolder	0,55	
Uiterhuizerwadpolder	0,51	
Schiermonnikoog		0,93
Nederlandse Dollard	0,57	
Kanalpolder	0,60	

In tabel 5.20 is het verloop van het kwikgehalte van het sediment van de Waddenzee in de tijd gegeven. Het kwikgehalte stijgt in de periode 1959-1970, waarna het weer daalt (vergelijkbaar met het verloop van het kwikgehalte van Rijnsediment).

Tabel 5.20 Verloop van het kwikgehalte in sediment van de Waddenzee in de tijd (ref. 87).

Lokatie	Kwikgehalte (mg/kg 50% < 16 µm)				
	ca. 1959	1970	1975	1980	1981
Vlieland					0,67
Noord-Friesland	0,74	1,04		0,74	0,66
Ameland	0,79				
Noord-Groningen	0,52	0,62	0,62	0,53	0,48
Dollard			0,85	0,59	

5.4 Aquatiscche organismen

In Nederland wordt periodiek onderzoek naar de kwikgehalten in aquatische organismen uitgevoerd in het kader van het Joint Monitoring Programme (sinds 1979) en het monitoring programma in opdracht van de Stuurgroep Visverontreiniging van de Landbouw Advies Commissie (sinds 1973). Het eerste onderzoek is gericht op de invloed van verontreinigingen op aquatische systemen en het tweede onderzoek is gericht op de kwaliteit van voor de consumptie bestemde visserijprodukten. Daarnaast

wordt er projektmatig onderzoek uitgevoerd naar de invloed van verontreinigingen op aquatische organismen en naar de relaties tussen organismen, water en sediment.

5.4.1 Het Joint Monitoring Programme

In het kader van het Joint Monitoring Programme wordt sinds 1979 het kwikgehalte van een aantal aquatische organismen in de Noordzee en aangrenzende zoute wateren periodiek bepaald. De monsternamen worden door het RIVO verzorgd en de analyses worden door het IVP-TNO te IJmuiden in opdracht van het RIZA verricht. In tabel 5.21 zijn de resultaten over de periode 1979-1983 weergegeven. In geen van de gemonsterde organismen kan een trend in de tijd of de ruimte worden gegeven. De kwikgehalten in mosselen en de lever van kabeljauw zijn gemiddeld lager dan die in garnalen en in het spierweefsel en de lever van bot. Hoge gehalten werden in het najaar van 1981 in spierweefsel en de lever van bot (ten noorden van Goeree) en in garnalen (Breskens en de Maasvlakte) waargenomen. In 1981 werd in het spierweefsel van Bot uit de Oude Wester-Eems-noord een gehalte van 1,5 mg kwik/kg natgewicht gevonden (79).

5.4.2 Het onderzoek naar de kwaliteit Nederlandse visserijproducten

In opdracht van de LAC-stuurgroep Visverontreiniging worden door het RIKILT Nederlandse visserijproducten op onder andere kwik onderzocht. In tabel 5.22a en 5.22b zijn de resultaten t/m 1984 weergegeven. Van alle jaren zijn mengmonsters onderzocht. Alleen de eetbare delen zijn geanalyseerd. Het aantal onderzochte mengmonsters is tussen haakjes aangegeven. Vooral het kwikgehalte van de zoetwatervis is hoog. Met betrekking tot de volksgezondheid kan opgemerkt worden dat na 1977 alleen in snoekbaars in 1 monster in 1981 de norm van 1 mg/kg overschreden werd (snoekbaars gevangen bij Enkhuizen, 1,1 mg/kg) (89).

De ontwikkelingen in de gebruikte technieken voor monsternamen, monstervoorbereiding en chemische analyse zijn er de oorzaak van dat meetresultaten uit de periode 1973-1976, zeker voor wat betreft de lagere kwikgehalten (< 0,2 mg/kg), niet zonder meer vergeleken kunnen worden met de resultaten in de latere perioden met sterk verbeterde analytische technieken. Daarom dient de volgende evaluatie met de nodige voorzichtigheid gehanteerd te worden.

Tabel 5.21 Kwikgehalten in mossel, garnaal, bot en kabeljauw (JMP 1979-1983) (mg/kg produkt)

Lokatie	1979		1980		1981		1982		1983	
	voorjaar	najaar	voorjaar	najaar	voorjaar	najaar	voorjaar	najaar	voorjaar	najaar
Organisme: Mossel (<i>Mytilus edulis</i>)										
Zuidergat	0,05	0,08	0,05	0,06	0,10	0,14	0,05	0,06	0,06	0,10
Pas van Terneuzen	0,09	0,08	0,05	0,10	0,12	0,11	0,08	0,06	0,07	0,06
Vlissingen (Westerschelde)	0,05	0,10	0,06	0,04	0,07	0,06	0,06	< 0,03	0,05	0,05
Oosterschelde - Hammen	0,08	0,06	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	0,06	0,07
Noordwijk	0,02	0,12	0,06	0,04	0,12	0,05	0,06	0,03	0,03	0,05
Westelijke Waddenzee	0,03	0,06	0,06	0,04	0,06	0,04	0,08	0,03	0,14	0,03
Borkum	-	0,16	0,03	-	0,04	-	0,06	0,04	0,04	0,04
Oude Wester Eems	-	-	0,03	0,06	0,06	-	0,06	0,04	0,06	-
Bocht van Watum Zuid	-	-	0,16	-	0,08	0,06	0,08	0,03	0,06	0,03
Organisme: Garnaal (<i>Cragon cragron</i>)										
Westerschelde - Kust	-	0,16	0,32	0,13	0,08	0,58	-	0,10	-	0,12
Maasvlakte	0,16	0,07	0,12	0,19	0,19	0,73	-	0,10	-	0,15
Noordwijk	0,16	0,10	0,08	0,07	0,18	0,15	-	0,13	-	0,08
Waddenzee	0,14	0,08	0,18	0,06	0,08	0,14	-	0,11	-	0,12
Oude Wester Eems	-	0,14	0,08	0,06	0,11	0,21	-	0,10	-	0,09
Organisme: Bot (lever) (<i>Platichthys flesus</i>)										
Breskens	-	0,16	-	0,14	-	0,19	-	0,08	-	0,07
Noorden van Goeree	-	0,09	-	0,11	-	0,41	-	0,12	-	0,07
IJmuiden	-	0,15	-	0,08	-	0,14	-	0,04	-	0,13
Westelijke Waddenzee	-	0,30	-	0,28	-	0,14	-	0,22	-	0,18
Oude Wester Eems	-	0,26	-	0,06	-	0,17	-	0,29	-	0,08
Organisme: Bot (spierweefsel) (<i>Platichthys flesus</i>)										
Westerschelde kust	-	0,21	-	0,18	-	0,37	-	0,14	-	0,20
Noorden van Goeree	-	0,14	-	0,20	-	0,24	-	0,19	-	0,20
IJmuiden	-	0,19	-	0,18	-	0,18	-	0,08	-	0,24
Waddenzee	-	0,37	-	0,36	-	0,51	-	0,28	-	0,25
Oude Wester Eems	-	0,23	-	0,15	-	0,58	-	0,19	-	0,15
Organisme: Kabeljauw lever (<i>Gadus morhua</i>)										
Noorden van Terschelling	-	0,07	-	0,08	-	0,09	-	0,08	-	0,08

Bron: ref. 79.

Tabel 5.22a Kwikgehalten in Nederlandse visserijproducten (ref. 90) (mg/kg produkt)

Soort	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Tong	0,10 (4)	0,11 (4)	0,11 (4)	0,08 (3)	0,07 (4)	0,06 (1)	0,06 (1)	0,08 (1)
Kabeljauw	-	0,12 (4)	0,23 (4)	0,08 (2)	0,11 (4)	0,15 (1)	0,09 (1)	0,19 (1)
Haring	-	0,04 (2)	0,06 (2)	0,05 (2)	0,05 (4)	0,05 (1)	0,03 (1)	0,03 (1)
Aal	0,18 (3)	0,23 (3)	0,30 (3)	0,18 (2)	0,19 (3)	0,33 (1)	0,29 (1)	0,20 (2)
Snoekbaars	0,55 (3)	0,43 (3)	0,58 (3)	0,46 (3)	0,68 (3)	0,34 (2)	0,31 (2)	0,39 (2)
Mossel	0,05 (4)	0,04 (4)	0,06 (4)	0,03 (2)	0,04 (4)	0,04 (1)	0,04 (1)	0,03 (1)
Garnaal	0,08 (4)	0,05 (4)	0,08 (4)	0,05 (2)	0,05 (2)	0,08 (1)	0,05 (1)	0,05 (2)

Tabel 5.22b Kwikgehalten in Nederlandse visserijproducten - 4-jaarsgemiddelden (mg/kg produkt).

Soort	1973-1976	1977-1980	1981-1984	spreiding 1973-1976	spreiding 1977-1984
Tong	0,17 (15)	0,10 (15)	0,07 (7)	0,06-0,32	0,04-0,17
Kabeljauw	-	0,16 (4)	0,12 (7)		0,08-0,33
Haring	-	0,05 (6)	0,04 (7)		0,03-0,08
Aal	0,44 (10)	0,23 (11)	0,23 (7)	0,30-0,62	0,13-0,36
Snoekbaars	0,94 (11)	0,50 (12)	0,46 (9)	0,64-1,76	0,04-1,1
Mossel	0,08 (15)	0,05 (14)	0,04 (7)	0,04-0,11	0,02-0,09
Garnaal	0,11 (13)	0,07 (14)	0,05 (5)	0,07-0,16	0,04-0,20

Vangstplaatsen:

Tong : Rijnmond
 Kabeljauw : 1978-1981, 1983: Rijnmond; 1982 bij Texel; 1984 bij IJmuiden.
 Haring : idem.
 Aal : IJsselmeer, 1984; tevens Hollands Diep
 Snoekbaars: IJsselmeer, 1982-1984; tevens Hollands Diep
 Mossel : Hammen
 Garnaal : 1977-1980: bij Texel; 1981-1983 Steendiep; 1984 Westelijke Waddenzee en bij IJmuiden

Vanaf 1973 is het kwikgehalte in zowel zoutwatervis, zoetwatervis als in schelpdieren gedaald. De afname tussen de perioden 1973-1976 en 1977-1980 was groter dan tussen de perioden 1977-1980 en 1981-1984. Tussen 1973-1976 en 1977-1980 daalde het kwikgehalte van zoutwatervis en schelpdieren met ca. 40% en tussen 1977-1980 en 1981-1984 met 20-30%. Voor zoetwatervis was de daling resp. ca. 45% en 0-10%.

5.4.3 Overig onderzoek

Uit een onderzoek naar het kwikgehalte in rode aal in de periode 1977-1980 (92) bleken de hoogste gehalten in het IJsselmeer (0,28-

0,49), het Haringvliet (0,33-0,48) en de Rijn bij Lobith (0,36-0,42) gevonden te worden (tabel 5.23). In 1980 werden bovendien in de Maas bij Eijsden, de Oude Maas en de Boven Merwede hoge gehalten gevonden. Op een aantal meetpunten lijkt het kwikgehalte in de periode 1977-1980 af te nemen (Lauwersmeer en IJsselmeer). Bij de overige meetpunten is niet op elk jaar gemonsterd en/of zijn trends niet aan te geven. Bij het meetpunt Eijsden (Maas) lijkt het kwikgehalte toe te nemen.

Bij een onderzoek naar de kwikgehalten in rode aal van 49 vangplaatsen in 1979 werden hoge gehalten in het Zuidlaardermeer (0,74), de IJssel bij Rheden (0,62) en het IJsselmeer ter hoogte van Medemblik (0,59) gevonden (zie tabel 5.24) (93).

Voor snoekbaars, gevangen in de periode 1980-1982 in een zestal Nederlandse binnenwateren is de relatie tussen de lengte of leeftijd (als maat voor de expositietijd) en het kwikgehalte bepaald (tabel 5.25) (88). Omdat de toename van het kwikgehalte met de leeftijd of de lengte van de vis waarschijnlijk een indicatie voor de vervuilingsgraad van het water is (18,88,93) zijn in tabel 5.25 de kwikbronnen opgenomen. Niet in alle gevallen kon een duidelijke bron aangewezen worden. Het sediment van het Zuidlaardermeer en het Twentekanaal, en mogelijk van het IJsselmeer, fungeren waarschijnlijk als diffuse bron. De norm van 1 mg/kg werd in het Oude Veer 13 maal (31%) en in het IJsselmeer 4 maal (12%) overschreden.

In dit onderzoek is bovendien op een aantal lokaties de gemiddelde kwikgehalten in aal, snoek en baars bepaald (tabel 5.26). Relatief hoge concentraties (gemiddelde gehalten tussen 0,53 en 1,03 mg/kg) werden gevonden in het IJsselmeer (snoekbaars, baars), het Oude Veer (snoekbaars, baars, snoek), het Twente Kanaal (snoekbaars, baars), het Haringvliet en Hollands Diep (baars) en de Lek (baars).

De kwikgehalten in snoekbaars en aal uit het IJsselmeer zijn vergeleken met de gehalten die in eerder onderzoek gevonden zijn. Voor snoekbaars werd vanaf 1970 een gemiddelde afname van 0,063 mg/kg jaar en voor aal van 0,03 mg/kg jaar gevonden (88).

Tabel 5.23 Kwikgehalte in rode aal uit de Nederlandse binnenwateren, periode 1977-1980 (mg/kg produkt) (ref. 91).

Monsterplaats	1977	1978	1979	1980
1. Lauwersmeer	0,27	0,21	-	0,17
2. IJsselmeer	0,49	0,42	0,36	0,28
3. Ketelmeer	0,31	0,25	-	0,25
4. Drontermeer	0,05	-	-	-
5. IJmeer	0,36	-	-	-
6. Biesbosch	0,16	-	-	-
7. Hollands Diep	-	0,24	-	0,25
8. Haringvliet	0,36	-	0,48	0,33
9. Grevelingen	0,26	0,31	0,24	0,22
10. IJssel	-	0,28	0,29	-
11. Rijn (Lobith)	-	0,42	0,40	0,36
12. Lek (Culemborg)	-	0,32	-	-
13. Waal (Tiel)	-	0,24	0,33	-
14. Maas-Waalkanaal	-	0,31	-	-
15. Maas (Eijsden)	-	0,18	0,19	0,35
16. Goeree	-	-	0,25	-
17. Den Oever	-	-	0,19	-
18. IJmuiden	-	-	0,25	-
19. Maas (Heusden)	-	-	-	0,23
20. Oude Maas (Barendrecht)	-	-	-	0,32
21. Akkersdijk	-	-	-	0,04
22. Spaarndam	-	-	-	0,08
23. Lek (Krimpen a/d Lek)	-	-	-	0,28
24. Nieuwe Maas (Rotterdam)	-	-	-	0,17
25. Boven Merwede (Gorinchem)	-	-	-	0,48

Tabel 5.24 Kwikgehalten in rode aal van 49 monsterlokaties (periode juni - augustus 1979) (ref. 93)

Vangplaats	Gehalte kwik (mg/kg produkt)
Maas bij Kessel	0,21
Noordzee bij IJmuiden	0,43
Haringvliet	0,46
Kagerplassen	0,18
Binnenliede (omgeving Haarlem)	0,11
Viskweekvijvers OVB (Valkenswaard)	0,08
Meppelerdiep	0,15
Hoogeveensevaart bij Hoogeveen	0,23
Nabij boeinr. 4 in het Z.O. Rak (Waddenzee)	0,26
Markerwaard	0,41
Grote Kokven (Oisterwijkse Vennen)	0,10
Mark (Dintel) onder Zevenbergen	0,14
Bergse Maas bij Heusden	0,08
Polder Stolwijk (Krimpenerwaard)	0,10
Twentekanaal tussen Eefde en Lochem	0,07
Vecht bij Dalfsen (Overijssel)	0,15
Veluwemeer Noord nabij Nunspeet	0,06
IJsselmeer tussen Urk en Ketelbrug	0,25
Veluwemeer Zuid nabij Harderwijk	0,12
Ketelmond (monding IJssel bij Kampen)	0,34
Zwartemeer	0,27
Beulaker Wijde	0,06
IJssel bij Rheden	0,62
Oude IJssel bij Gaanderen	0,07
Gooimeer bij Huizen	0,10
Westeinderplas	0,16
Reeuwijkse Plassen	0,04
Maas-Waalkanaal bij Heumen	0,14
Vinkeveense Plassen	0,34
Loosdrechtse Plassen	0,06
IJsselmeer ter hoogte van Makkum	0,31
Sneekermeer	0,11
IJsselmeer voor kust Noordoostpolder	0,37
Gaastmeer	0,05
Bergumermeer	0,05
Tjeukemeer	0,11
Wijde Ee bij Drachten	0,04
IJsselmeer ter hoogte van Medemblik	0,59
Noordzeekanaal	0,35
Westelijke Waddenzee	0,18
Alkmaardermeer	0,09
Westerschelde, oostelijk van Perkpolder	0,30
Oosterschelde, oostelijk van Yerseke	0,20
Amstelmeer	0,15
Oostelijke Waddenzee, Z.O. van Schiermonnikoog	0,46
Volkerak	0,42
Zuidlaardermeer	0,74
Nieuwkoopse Plassen	0,04
Oude Rijn ter hoogte van Alphen a/d Rijn	0,38

Tabel 5.25 Relatie tussen de lengte of de leeftijd van snoekbaars (als maat voor de expositietijd) en het kwikgehalte van snoekbaars als indicatie voor de verontreiniging van een zestal Nederlandse binnenwateren (naar ref. 88).

Lokatie	gemid. Hg mengmonsters	n	spreiding	toename Hg/jaar in mg/kg nat. gew.	toename Hg/10 cm lengte toename	direkte bron Hg-emissie	sec. bron
Twentekanaal	0,58	7	0,31-0,83	0,12	0,32	tot 1975 chloor-alkali	sediment
IJsselmeer	0,61	34	0,23-1,52	0,13	0,28	Rijn	sediment
Oude Veer	0,74	42	0,26-1,66	0,11	0,24	pootaardap- pelen ontsmet.	
Zuidlaardermeer	0,38	14	0,24-0,73	0,09	0,14	agrarisch of industrieel. Echte bron niet bekend	
Leekstermeer	0,24	6	0,13-0,40	0,04	0,09		
Fluessen	0,11	24	0,04-0,42	0,02	0,04		

Oude Veer : 13 overschrijdingen 1 mg/kg.
IJsselmeer: 4 overschrijdingen.

Tabel 5.26 Kwikgehalten in zoet-water vis (periode 1980-1982) (ref. 88).

Organisme	Locatie	Aantal	Gemiddeld kwikgehalte (mg/kg produkt)
Aal	Lauwersmeer	25	0,17
	IJsselmeer	25	0,28
	Ketelmeer	25	0,25
	Hollands Diep	25	0,25
	Haringvliet	25	0,33
	Grevelingen	25	0,22
	Rijn (Lobith)	25	0,36
	Maas (Eijsden)	25	0,35
	Maas (Heusden)	25	0,23
	Oude Maas	25	0,32
	Lek	25	0,28
	Nieuwe Maas	25	0,17
	Boven Merwede	25	0,48
	Akkersdijk	25	0,04
	Spaarndam	25	0,08

vervolg tabel 5.26

Organisme	Locatie	Aantal	Gemiddeld kwikgehalte (mg/kg produkt)
Snoekbaars	IJsselmeer	34	0,62
	Oude Veer	43	0,74
	Zuidlaardermeer	14	0,41
	Twentekanaal	7	0,58
	Leekstermeer	6	0,25
	Fluessen	24	0,11
	Waal (Wamel)	4	0,27
	Biesbosch (Amer)	14	0,48
	Maas (Lith)	17	0,20
	Lauwersmeer	14	0,25
	Hegermeer	25	0,14
	Oude Gaasterbekke	17	0,12
	Slotermeer	20	0,16
	Tjeukemeer	9	0,21
	Alkmaardermeer	19	0,24
	Wormer	11	0,14
	Brasemermeer	15	0,35
	Vinkeveense Plassen	6	0,34
	Westeinderplas	13	0,13
	Loosdrechtse Plassen	10	0,07
Nieuwkoopse Plassen	3	0,06	
Kagerplas	15	0,16	
Baars	IJsselmeer	20	0,82
	Oude Veer	21	0,54
	Twentekanaal	5	0,61
	Maas (Lith)	14	0,29
	Haringvliet	52	0,65
	Hollands Diep	8	0,64
	Lek (Bergambacht)	25	0,53
	Waal (Wamel)	38	0,34
	Leidsevaart	8	0,18
Snoek	Vinkeveense Plassen	1	0,27
	Leidsevaart	4	0,30
	Oude Veer	6	1,03

5.5 Bespreking van de resultaten en conclusies

Het kwikgehalte van de grote rivieren is sinds het begin van de jaren zeventig sterk afgenomen. De grootste afname vond plaats in de Rijn, namelijk van ca. 3 µg/l in 1971 tot ca. 0,1 µg/l in 1984 (bij Lobith). Ook in de Maas en de Westerschelde is het kwikgehalte gedaald tot

gemiddeld ca. 0,05-0,15 µg/l. De hoeveelheid kwik die door de rivieren vanuit het buitenland wordt aangevoerd is met ca. 90% gedaald, namelijk van ca. 100 ton in 1970 tot ca. 10 ton in 1984. Het kwik wordt grotendeels particulier-gebonden aangevoerd (ca. 60-80%). Het kwikgehalte van de zwevende stof bij Lobith is van gemiddeld 27 mg/kg in 1973 afgenomen tot gemiddeld 2 mg/kg in 1984.

Het met de Rijn aangevoerde kwik wordt voor een deel naar het Ketelmeer-IJsselmeer afgevoerd, en het met de Rijn en de Maas aangevoerde kwik naar het Hollands Diep-Haringvliet. In deze bekkens treedt sedimentatie op. In het Ketelmeer sedimenteert een groot deel van het met de IJssel aangevoerde zwevende stof. In het Ketelmeer is de hoeveelheid kwik in de opgeloste fase relatief groter dan in de IJssel. In het IJsselmeer wordt het zwevend materiaal grotendeels ter plaatse gevormd waaraan adsorptie van kwik uit de opgeloste fase plaatsvindt (78). In het Hollands Diep-Haringvliet vinden soortgelijke processen plaats. In de Westerschelde vindt menging van zoet met zout water plaats. Door deze menging neemt het gehalte particulier-gebonden kwik richting Noordzee af. Bovendien wordt door de menging particulier-gebonden kwik gemobiliseerd. Het kwikgehalte langs de Nederlandse kust wordt in belangrijke mate beïnvloed door de rivieren. Het rivierwater wordt in een smalle strook langs de Noordzee in noordelijke richting getransporteerd. Door menging met minder verontreinigd water en slib treedt een afname op in noordelijke richting. In de Waddenzee is het kwikgehalte hoger dan in andere zoute en brakke wateren, waarschijnlijk omdat het zwevend stofgehalte hoger is. Op een aantal lokaties in de Waddenzee is een toename in het zwevend stofgehalte waargenomen sinds 1972.

De norm voor de basiskwaliteit oppervlaktewater van 0,5 µg/l werd in 1980 bij Eysden en Lith (Maas) en bij Hagestein en Vuren (Rijn) overschreden en in 1981 bij Eysden en op twee lokaties in de Waddenzee (90865 en 90739). In 1982 voldeed een monsterpunt in de Hollandse IJssel niet aan de norm (163). De norm voor oppervlaktewater bestemd voor de bereiding van drinkwater (0,3 µg/l) werd in de periode 1980-1984 zowel in de Rijn als de Maas nog regelmatig overschreden (72, 74). Van de overige oppervlaktewateren (niet-Rijkswateren) is de norm een enkele keer in met name de provincies Groningen, Overijssel, Noord-Holland en Limburg overschreden (45).

Een deel van het met de Rijn en de Maas meegevoerde zwevende stof sedimenteert in Nederland, voornamelijk in het Ketelmeer-IJsselmeer, het Hollands Diep-Haringvliet en de havens. Het kwikgehalte van het sediment van de Nieuwe Merwede (Rijntak) is van ca. 20 mg/kg in 1972 afgenomen tot ca. 3,5 mg/kg in 1983 ($50\% < 16 \mu\text{m}$). Het kwikgehalte van het sediment van de Rijn (incl. Hollands Diep, Haringvliet en Ketelmeer), de Maas, de Rotterdamse havens en de Hollandse IJssel is op sommige lokaties erg hoog (groter dan de B-waarde Leidraad Bodemsanering (gecorrigeerd voor deeltjesgrootte 9 mg/kg) en op 2 lokaties zelfs groter dan de C-waarde (gecorrigeerd 16 mg/kg)).

Over het algemeen neemt het kwikgehalte in het sediment af. In het Haringvliet en het IJsselmeer worden de sedimentlagen intensief omgewoeld (ondiepe wateren) (78), waardoor oude met nieuwe lagen vermengd worden. Hierdoor verloopt de afname in het kwikgehalte in deze bekkens langzamer dan in de Maas en de Rijn. Voor de Afsluitdijk was het kwikgehalte van het sediment in 1983 hoger dan in 1979, wat mogelijk veroorzaakt wordt door een naijl-effect.

Voor de Hollandse kust is het kwikgehalte van het sediment hoger dan meer zuidelijk afgezet sediment door de invloed van de rivieren. In noordelijke richting neemt het kwikgehalte weer af. In de Waddenzee vindt accumulatie plaats van Noordzeeslib, wat duidelijk blijkt uit de afname van het kwikgehalte van het sediment van west naar oost.

In zoetwatervis kunnen hoge tot zeer hoge kwikgehalten voorkomen, waarbij de consumptienorm van 1 mg/kg overschreden kan worden, met name in baars en snoekbaars.

Het kwikgehalte in zowel zoetwatervis, zoutwatervis, als in mosselen en garnalen is sinds 1973 met ongeveer de helft afgenomen (bij met name zoetwatervis afhankelijk van de vangstplaats). De relatieve afname in zoetwatervis was in de jaren zeventig groter dan in zoutwatervis en garnalen en mosselen. Eind jaren zeventig en begin jaren tachtig daalt het gehalte in zoetwatervis nauwelijks. In zoutwatervis en garnalen en mosselen is de daling in deze periode wel groter dan in zoetwatervis, maar kleiner dan ten opzichte van het begin en midden jaren zeventig.

Interpretatie van het verloop van de kwikgehalten in snoekbaars en aal uit het IJsselmeer vanaf 1970 duiden op een geleidelijke afname in het kwikgehalte.

De resultaten van de twee monitoringsprogramma's (IMP en LAC-stuurgroep visserijverontreiniging) geven over het algemeen het beeld van een min of meer stabiele situatie in de periode 80-84. Uit het onderzoek tussen het kwikgehalte en de leeftijd en/of lengte als maat voor de expositietijd kan geconcludeerd worden dat de jaarlijkse toename in het kwikgehalte van met name snoekbaars een maat kan zijn voor de mate van verontreiniging. Niet in alle onderzochte wateren kon een diffuse kwikbron worden aangegeven, zodat het sediment in die wateren waarschijnlijk als bron fungeert.

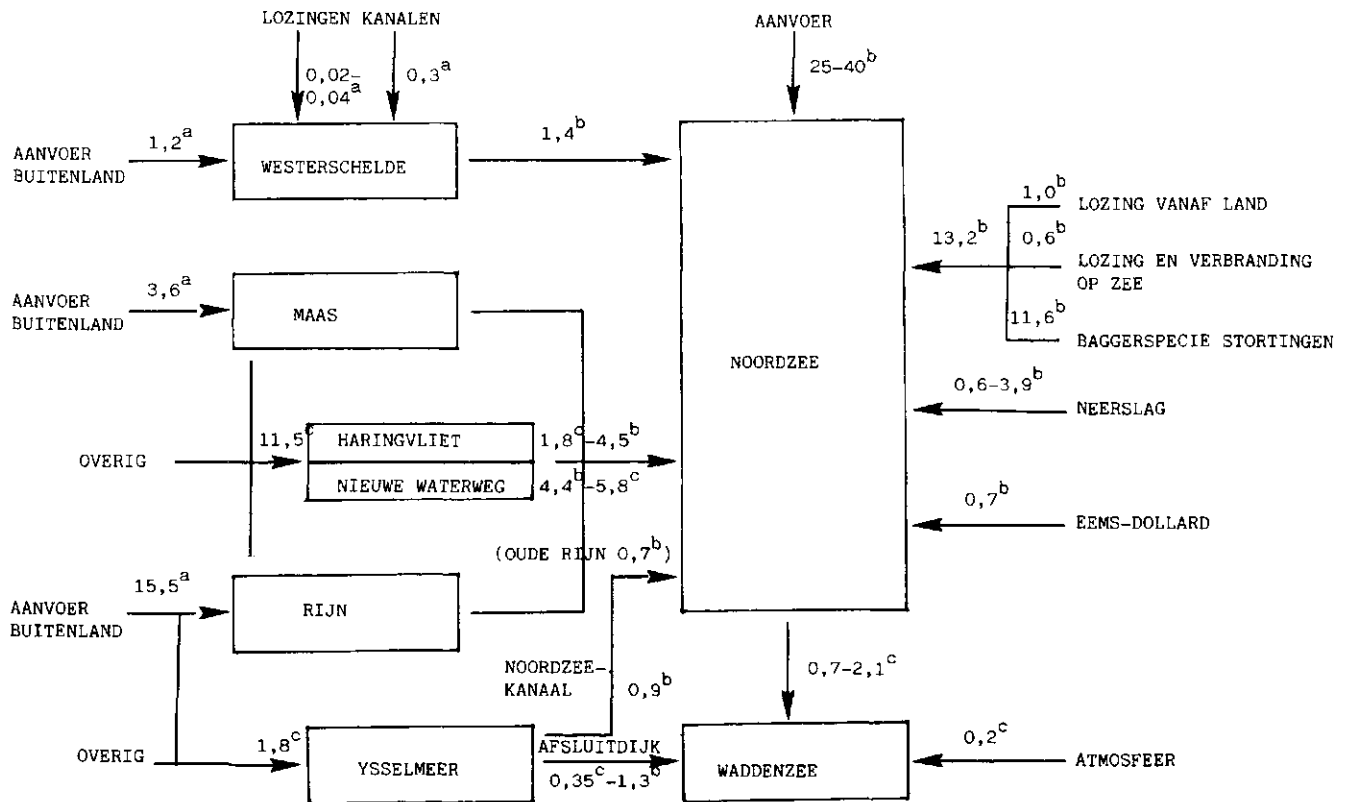
In figuur 5.28 is een compilatie gemaakt van de kwikstromen met het oppervlaktewater (Rijkswateren) aan de hand van gegevens van het RIZA en het WL (75, 76, 87). De gegevens hebben betrekking op de periode 1979-1981.

Aan de getallen mag slechts een indicatieve waarde gehecht worden. Zo wordt het door de Schelde meegevoerde kwik vrijwel geheel (kwantitatief) naar de Noordzee afgevoerd, terwijl het door de Maas en de Rijn meegevoerde kwik voor ongeveer de helft in Nederland achter blijft (vergelijk paragraaf 5.3.1). Het grootste deel hiervan is nog steeds afkomstig van de Rijn.

Het aandeel van de belasting van de Noordzee door lozingen vergeleken met de totale kwikbelasting van de Noordzee is vrij groot (15-25%). Volgens deze opgaven is de kwikbelasting van de Noordzee door lozingen in 1980 vergelijkbaar met de kwikbelasting door de waterlopen. Het aandeel van baggerwerkzaamheden op deze lozingen is groot. De kwikbelasting door baggerwerkzaamheden in het Rijnmondgebied wordt op ongeveer 7 ton/jaar geschat. (Deze specie bestaat vrijwel geheel uit Noordzeeslib.)

De kwikbelasting van de Waddenzee bedraagt ca. 1,25 - 2,65 ton (87). De grootste bijdrage van de kwikbelasting is van de Noordzee afkomstig. Door de hydrografie van de Waddenzee is het een erg gevoelig gebied voor accumulatie van slib. Het slib is afkomstig van een sedimentatiebekken (IJsselmeer) en dat deel van de Noordzee dat belast wordt door de rivieren (en lozingen) zodat een afname van de kwikbelasting van de grote rivieren slechts zeer langzaam een verbetering van de kwaliteit van de Waddenzee met zich mee zal brengen.

fig. 5.28 Kwikstroom met het oppervlaktewater (periode 1979-1980).



AANVOER	VIA RIJN EN MAAS	19,1
	LOZINGEN OP RIJKSWATER	0,7-0,8
TOTAAL		19,8-19,9
AFVOER	HARINGVLIET	1,8 -4,5
	NIEUWE WATERWEG	4,4 -5,8
	NOORDZEE KANAAL	0,9
	IJSSELMEER	0,35-1,3
	OUDE RIJN	0,7
TOTAAL		8,15-13,2
ACCUMULATIE	ca	6,5-11,5

Bron: a = ref. 75

b = ref. 76

c = ref. 87

Hoofdstuk 6 BODEM

Samenvatting

Het achtergrondgehalte voor kwik in Nederlandse landbouwgronden bedraagt 0,2 mg/kg en voor Nederlandse natuurgronden 0,12 mg/kg. Het kwikgehalte in de bodem van uiterwaarden varieert van gemiddeld 0,1 mg/kg (Millingen, Rijn) tot 12 mg/kg (Rijn-uiterwaarde) en neemt toe met het kleigehalte van het afgezette sediment. Over het algemeen liggen de kwikgehalten boven de B-waarde uit de Leidraad Bodemsanering (2 mg/kg) en op sommige lokaties boven de C-waarde. Het kwikgehalte in polders die opgespoten zijn met Rotterdams havenslib varieert van gemiddeld 3,4-8,3 mg/kg (opgespoten tussen 1964 en 1975). In de bol-lenstreek (gebruik pesticiden) varieert het kwikgehalte van gemiddeld 0,13-0,3 mg/kg. Het kwikgehalte van tuinbouwgronden is gemiddeld hoger dan van landbouwgronden en percelen van veldgroenten, resp. 0,36 mg/kg en 0,15 mg/kg. Het kwikgehalte van de landbouwgronden in Zuid-Holland is gemiddeld hoger dan het landelijk gemiddelde (0,37 mg/kg resp. 0,15 mg/kg). Het kwikgehalte van de verschillende grondsoorten neemt als volgt toe: zand (0,11 mg/kg), zavel (0,21 mg/kg), klei (0,24 mg/kg). Het kwikgehalte in gewassen is over het algemeen laag (geen overschrijdingen grenswaarde). Tussen het gehalte in de grond en in het gewas bestaat nagenoeg geen correlatie. Alleen voor komkommer kan een relatie gevonden worden. Er vindt waarschijnlijk geen opname vanuit de bodem (via de wortels) plaats. De kwikgehalten zullen eerder een gevolg zijn van oppervlaktecontaminatie en van atmosferische depositie (opname via bovengrondse delen (bladeren)).

Het kwikgehalte van het grondwater is in het algemeen laag, gem. 0,02 µg/l met een spreiding van 0,002-0,05 µg/l, en ligt ver onder de referentiewaarde uit het toetsingskader van het Ministerie van VROM (0,2 µg/l).

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het kwikgehalte van de Nederlandse bodem besproken. Het onderzoek naar het kwikgehalte heeft voornamelijk op de volgende lokaties betrekking:

- diverse uiterwaardlocaties langs verschillende rivieren;
- havenslibpolders in de omgeving van de Rotterdamse havens;
- gebieden in gebruik (geweest) voor de teelt van bloembollen; en
- gebieden bestemd voor de verbouwing van land- en tuinbouwgewassen.

Het achtergrondgehalte van Nederlandse landbouwgronden en natuurgebieden is door resp. Van Driel en Smilde (94) en Edelman (95) onderzocht. In tabel 6.1 zijn de resultaten van deze studies samengevat. De geanalyseerde bodemonsters van Van Driel & Smilde zijn in de periode 1960-1980 genomen en zijn representatief voor de meest voorkomende bodemtypes in Nederland. De bodemonsters van Edelman zijn genomen in de periode herfst 1979-voorjaar 1981. De kwikgehalten dienen gezien te worden als het huidige achtergrondniveau van kwik in Nederlands landbouwgronden en natuurgebieden.

De gegevens van Van Driel en Smilde zijn niet gecorrigeerd voor eventuele lokale verontreinigingen (worden nader gespecificeerd in paragraaf 6.2.4). Door Edelman is één van de onderzochte lokaties buiten beschouwing van de resultaten gehouden. Het gemiddelde kwikgehalte was op deze lokatie dermate hoog (1,4 mg/kg), vergeleken met de overige lokaties dat van een achtergrondgehalte niet meer gesproken kon worden. Het relatief hoge gehalte is vermoedelijk een gevolg van het verwaaien van pesticiden (95).

Het gemiddelde gehalte van de 381 landbouwgrondmonsters is 0,20 mg/kg (spreiding niet opgegeven). Het gemiddelde gehalte van de 39 natuurterreinen is 0,12 mg/kg (spreiding: 0,01 - 0,78 mg/kg; n = 112).

Het gemiddelde gehalte van klei- en zandbodems ligt voor landbouwgronden hoger (0,2 mg/kg) dan voor natuurgronden (klei: 0,08 - 0,15 mg/kg; zand: 0,02 - 0,10 mg/kg).

De gevonden kwikgehalten betreffen het huidige achtergrondniveau van kwik in Nederlandse landbouwgronden en natuurterreinen. De gemiddelde gehalten aan kwik betrokken op alle monsters liggen met 0,12 en 0,20 mg/kg (resp. natuurgrond en landbouwgrond), boven het gehalte van 0,05

Tabel 6.1 Gemiddelde achtergrondgehalten van kwik in Nederlandse landbouwgronden (94) en natuurgebieden (95). Kwikgehalten uitgedrukt in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s.

Locatie	Bodemtype	Gemiddeld kwikgehalte
Landbouwgrond (0-20 cm)	klei (n=248)	0,2
	zand (n=63)	0,2
	laagveen (n=40)	0,1
	dalgrond (n=22)	0,1
	löss (n=8)	0,1
natuurgebied (0-10 cm)	klei	0,08-0,15
	zand	0,02-0,10
	zavel/leem	0,06-0,36
	kleiig veen/venige klei	0,14-0,51
	veen	0,06-0,23

N.B. Monsternamen, -bewerking en analyse:

De monsterdiepte in de studie van Van Driel & Smilde is 0-20 cm; elk bodemonster is samengesteld uit 40 submonsters per locatie. De bodemonsters zijn gedroogd bij 30-40°C. De 0-2 mm fractie is geanalyseerd. Extraheerbaar totaal kwik is bepaald door middel van neutronactiveringsanalyse door het Centraal Laboratorium van TNO te Delft volgens een methode van Tjioe et al. (96). De resultaten zijn gebaseerd op drooggewicht (105°C), de detectielimiet is niet vermeld (zie ook tabel 6.2b).

In het onderzoek van Edelman zijn bodemonsters genomen van de 0-10 cm bovenlaag, eventueel na verwijdering van de strooisellaag. In elk natuurgebied is op 3 locaties op een onderlinge afstand van ± 50 m gemonsterd; per locatie zijn op een vak van 10 x 12 m 42 monsters genomen en gecombineerd tot één mengmonster. Het totaalkwikgehalte is, na extractie met salpeterzuur, bepaald door middel van vlamloze atoom absorptie spectrofotometrie volgens de methode van Hatch & Ott (97) op het Rijksinstituut voor Natuurbeheer te Arnhem. De detectielimiet is 0,01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ grond (gehalten berekend op bij 105°C gedroogde grond).

Indeling bodemtypes: landbouwgronden volgens (94); natuurgebieden volgens De Bakker & Schelling (98).

mg/kg dat in de literatuur (99) wordt gezien als de gemiddelde mondiale achtergrondconcentratie van kwik in de bodem. De gemiddelde gehalten liggen echter ruimschoots onder de 0,5 mg/kg die door het

Ministerie van VROM wordt gehanteerd als referentiewaarde in het toetsingskader voor bodemsanering (100).

6.2 Gebieden in Nederland met verhoogde kwikgehalten in de bodem

6.2.1 Uiterwaarden

Bodems van uiterwaarden worden regelmatig in de winter overstromd met rivierwater. Tijdens deze overstromingen sedimenteert slib waaraan particulier-gebonden stoffen, met name zware metalen kunnen voorkomen. Landbouwhuisdieren, die in de zomer op de uiterwaarden grazen, kunnen hierdoor extra belast worden met onder andere kwik (98). Mede in verband met de consumptie van vlees, melk en andere produkten wordt deze problematiek vanaf het begin van de jaren zeventig onderzocht (101,102,103). Voorzover bekend levert beweiding onder normale omstandigheden (alleen overstromingen in de winter) geen problemen op. In de afgelopen jaren zijn echter ook enkele overstromingen in het zomerseizoen voorgekomen, waardoor hooi en gras nog eens extra met zware metalen worden verontreinigd (162). Het door de Rijn aangevoerde slib (zogenaamd oorspronkelijk slib) bevat onder omstandigheden van normale waterafvoeren hogere gehalten aan zware metalen dan bij hogere afvoeren waarbij de uiterwaarden worden overstromd (afzetting van erosieslib) (55). De uiterwaarden van de Rijn zijn overwegend opgebouwd uit dit erosieslib. Als de rivierafvoer toeneemt bevat het afgevoerde water eerst relatief veel oorspronkelijk slib (met hoge metaalgehalten), terwijl bij een verdere toename van de afvoer het aandeel aan erosieslib (met lagere kwikgehalten) toeneemt. Het verschil tussen het normale rivierslib en het op de uiterwaarden afgezette materiaal is minder groot bij de Maas (55).

In tabel 6.2a zijn de kwikgehalten in de uiterwaarden weergegeven en vergeleken met verschillende referentiebodems. De monsters zijn alle afkomstig uit de periode 1960-1980.

In tabel 6.2b zijn gebruikte monsternamen, -bewerking en -analysemethoden weergegeven.

Tabel 6.2a Kwikgehalten in uiterwaarden (in mg/kg droge stof)

ef. no.	Onderzoek	Locatie - rivier	Kwikgehalte in mg.kg ⁻¹ d.s. (bodemiaag in cm)
103	Poelstra et al. (1973)	Millingen - Rijn Valburg - Rijn Biesbosch - Rijn referentie-waarde ^a	0,10 (0-20 cm); 0,01 (20-100 cm) 3,35 (0-20 cm); 0,45 (20-100 cm) 10,43 (0-20 cm); 2,60 (20-100 cm) 0,09 (0-20 cm); 0,02 (20-100 cm)
101	Van de Ven et al. (1977)	Beusichem - Rijn Wilp - IJssel Millingen - Rijn referentie-waarde ^b	4,6 (0-5 cm) 5,0 (0,5 cm) 2,3 (0,5 cm) 0,08 (0-5 cm)
94	Van Driel & Smilde (1982)	div. - Rijn div. - Maas div. - Schelde referentie-waarde ^c	12 (0-20 cm) 4 (0-20 cm) 2 (0-20 cm) 0,2 (0-20 cm)

N.B. a gemiddelde kwikgehalte van graslandbodems gesitueerd in Alkmaar, Hilversum, Amersfoort, Anna Paulowna Polder. (spreiding: 0,07-0,09 mg/kg).

b vergelijkbaar binnendijks gebied bij Afferden.

c gemiddelde Nederlandse kleibodems (tabel 6.1).

Tabel 6.2b Kwikgehalten in uiterwaarden: monsternamen, -bewerking en -analysemethoden.

Onderzoek	Monsternamen	Monsterbewerking	Hg-analyse
Poelstra et al. (1973)	- m.b.v. perspex buis met behoud van bodempro- fiel (0-100 cm)	- d.m.v. mengsel van HNO ₃ /H ₂ SO ₄ / K ₂ S ₂ O ₈ en redü- cerend agens	- totaal Hg d.m.v. vlamloze AAS (volgens Melton et al. (104)) - analyse van elke 5-10 cm bodem- laag in duplo
Van de Ven et al. (1977)	- mengmonster van 40 steken van 0-5 cm diepte - in 1971-1973	- volgens Tjioe et al. (96)	- totaal Hg d.m.v. destructieve NAA door IRI, Delft (volgens Tjioe et al. (96))
Van Driel & Smilde (1982)	- mengmonster van 40 steken van 0-20 cm diepte - in periode 1960-1980	- drogen bij 30- 40°C - volgens Tjioe et al. (96)	- totaal Hg d.m.v. destructieve NAA door CL-TNO, Delft (Tjioe et al. (96)) - analyse van de 0-2 mm fractie

Uit tabel 6.2a blijkt dat het kwikgehalte in de uiterwaarde duidelijk verhoogd is. Opmerkelijk is het verschil in het kwikgehalte van de uiterwaardlocaties langs de Rijn van Poelstra et al. (103). De locaties Millingen, Valburg en de Biesbosch liggen op respectievelijk ± 200 , ± 150 en ± 50 km afstand van de Noordzee; de kleigehalten nemen in dezelfde richting toe (resp. 2, 22 en 40%). Het kwikgehalte in de top laag van deze drie lokaties neemt met het toenemend kleigehalte toe.

6.2.2 Havenslibpolders

Op verschillende polders in het Rijnmondgebied is de afgelopen vijftig jaar slib gebracht, dat afkomstig is uit de havens.

De situatie in een aantal met havenslib opgespoten polders ('loswallen') is in de jaren 1973-1978 in opdracht van Gemeentewerken Rotterdam en Gemeentewerken Vlaardingen, geïnventariseerd (105). Een deel van de onderzochte loswallen was, veelal in afwachting van een andere bestemming, in gebruik genomen voor landbouw of veeteelt. Het doel van het onderzoek was analysegegevens te verkrijgen over de contaminatiegraad van de polders om daarmee te kunnen beoordelen in hoeverre een verantwoord agrarisch gebruik van deze met havenslib opgehoogde gebieden mogelijk is.

In tabel 6.3 zijn de resultaten weergegeven voor kwik. Mengmonsters zijn genomen in de periode 1973-1978 bestaande uit ± 40 steken tot een diepte van 20 cm. De kwikgehalten zijn bepaald door TNO door middel van niet-destructieve NAA. Over een totaal van 248 monsters is het gevonden gemiddelde kwikgehalte 4,85 mg per kg droge grond (terugberekend naar een slibgehalte van 50% van de fractie $< 16 \mu\text{m}$ en betrokken op CaCO_3 -vrije bestanddelen).

Tabel 6.3 Kwikgehalten in bodems (0-20 cm) van polders, opgespoten met Rotterdams havenslib.

	Jaar van opsputten	Aantal monsters	Gemiddeld ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Broekpolder	1967-1975	142	4,6
Buiten-Nieuwlandse polder	1965-1969	75	5,2
Polder Delfland	1969	19	3,4
Steendijkpolder	1964	12	8,3

Bron: ref. 105.

6.2.3 Bloembollenstreek

Kwikhoudende bestrijdingsmiddelen zijn in de periode vanaf ± 1920 tot 1976 gebruikt bij de plantgoedontsmetting in de bloembollenteelt (106). Het gebruik van deze fungicides is na 1950 geïntensiveerd en betekende een kwikbelasting van de bodem van 50 g Hg/ha jaar, elke twee van de drie jaren, wat overeenkomt met een verrijking van de toplaag van de bodem (0-20 cm) met 0,02 mg/kg kwik (107).

In tabel 6.4a zijn de resultaten van een drietal onderzoeken weergegeven. In tabel 6.4b zijn de monsternamen, -bewerking en analysemethode weergegeven (Voor Poelstra, zie tabel 6.2b).

Tabel 6.4a Kwikgehalten in bodems gesitueerd in de bollenstreek (in mg.kg⁻¹ droge grond).

ef. no.	Auteurs	Locatie	Gemiddeld kwikgehalte in mg.kg ⁻¹ d.g. (bodemiaag in cm)
103	Poelstra et al. (1973)	Hillegom Anna Paulowna referentie ^a	0,16 (0-20 cm); 0,10 (20-100 cm) ^c 0,13 (0-20 cm); 0,05 (20-100 cm) 0,09 (0-20 cm); 0,02 (20-100 cm)
106	P.W.-Noord- Holland (1983)	Heemstede	0,30 (25-55 cm) 0,25 (55-85 cm) 0,008 (200-230 cm) 0,008 (400-430 cm) 0,013 (800-830 cm) < 0,005 (andere dieptes)
107	TAUW ^d (1984)	Hillegom referentie ^b	0,3 (0-50 cm) 0,5

- N.B. a graslandbodems gesitueerd in Alkmaar, Hilversum, Amersfoort, Anna Paulowna Polder;
 b toetsingswijze "A" van het Ministerie van VROM voor niet-verontreinigde grond; de gegeven waarde is een bovengrens (100);
 c ter vergelijking met de resultaten van TAUW: gemiddelde kwikgehalte in de 0-50 cm bovenlaag: 0,15 mg/kg (referentie: 0,06 mg/kg);
 d tevens is door TAUW een grondwatermengmonster geanalyseerd op kwikgehalte; het gevonden kwikgehalte was: 0,3 µg/l.

Tabel 6.4b Kwikgehalten in bodems gesitueerd in de bollenstreek:
monsternamen, -bewerking en analysemethode.

Ref. no.	Auteurs	Monsternamen	Monsterbewerking	Hg-analyse
106	P.W.-Noord-Holland (1983)	- d.m.v. continue steekboring op verschillende dieptes - tussen 0,25 cm en ca. 15 m onder m.v. - in 1983	- door CIVO-analyse TNO te Zeist (Hatch & Ott, 1967; ref. 97)	- door CIVO-analyse TNO te Zeist d.m.v. koude damp AAS (Hatch & Ott; ref. 97) - aantoonbaarheidsgrens 0,005 mg/kg d.s.
107	TAUW (1984)	- mengmonster van 6 boringen (0-50 cm) - in 1984	- door TAUW, Deventer	- door TAUW, Deventer

De Hillegom locaties van Poelstra (in 1973) en Tauw (in 1980) kunnen (met de nodige voorzichtigheid) met elkaar worden vergeleken. Bij vergelijking van de 0-50 cm bovenlaag is het door Poelstra en door TAUW gevonden gemiddelde kwikgehalte respectievelijk 0,15 mg/kg en 0,3 mg/kg droge grond. Nader onderzoek naar de mogelijke persistentie van kwik in de bodem is dus gewenst. Het door TAUW geanalyseerde grondwater had een kwikgehalte dat boven de referentiewaarde ("A"-waarde) uit het toetsingskader van het Ministerie van VROM lag (resp. 0,3 µg/l en 0,2 µg/l).

6.2.4 Land- en tuinbouwgronden

Naar aanleiding van de in het begin van 1977 door het Ministerie van Volksgezondheid voorgestelde grenswaarden voor landbouwgewassen is een inventariserend onderzoek gestart naar de gehalten van arseen, kwik, lood en cadmium in Nederlandse landbouwprodukten en de bijbehorende gronden. Het onderzoek is uitgevoerd door het RIKILT, verschillende consultantschappen voor bemesting in de landbouw en de tuinbouw, het proefstation voor tuinbouw onder glas, de LAC-stuurgroep "Bodem en Gewas" en het IB. De bemonsteringen hebben plaatsgevonden in de periode 1977 t/m 1979 (kassla, kastomaat, kaskomkommer, consumptieaardappelen, spinazie, waspeen, appel, tarwe, gerst, haver). Na de bemonstering heeft een gesprek met boer of tuinder plaats gehad, om

relevante gegevens (ligging van proefperceel, over de bemesting, het gebruik van pesticides, profielopbouw) te verkrijgen. Analyses zijn uitgevoerd door het RIKILT. Gemonsterd is de 0-20 cm bovenlaag van de bodem. De monsters zijn geëxtraheerd met HNO_3 (4N) en de analyse is uitgevoerd met koude damp atoom-absorptie-spektrofotometrie.

De rapportage heeft plaatsgevonden in de vorm van IB-nota's (108 t/m 119). De resultaten van het onderzoek zullen in het hiernavolgende worden besproken. De gehalten in de onderzochte gewassen worden besproken in paragraaf 6.3.

De gehalten in de grondmonsters zijn weergegeven in tabel 6.5.

Met uitzondering van de haverpercelen (onbekend aantal monsters) is het gemiddelde kwikgehalte van de grondmonsters (n=662) 0,20 mg/kg met een spreiding van 0 tot 7,2 mg/kg. Van deze 662 monsters zijn 155 afkomstig van tuinbouw (glascultuur)gronden. Deze 155 monsters hebben een gezamenlijk gemiddeld kwikgehalte van 0,36 mg/kg met een spreiding van 0,02 tot 7,2 mg/kg. De overige 507 monsters van landbouwgronden en percelen van veldgroenten hebben een gezamenlijk gemiddeld kwikgehalte van 0,15 mg/kg, met een spreiding van 0,01 tot 6,35 mg/kg.

Tabel 6.5 Inventarisatie van kwikgehalten in Nederlandse gronden bestemd voor de verbouwing van voedingsstoffen. Kwikgehalten in mg.kg^{-1} droge grond.

gewas perceel	aantal monsters	spreiding min.-max.	gemiddelde	mediaan	95% \geq
<u>tuinbouwgewassen (glascultuur)</u>					
sla	75	0,02-1,9	0,30	0,18	0,80
tomaat	40	0,04-1,7	0,35	0,17	1,2
komkommer	40	0,02-7,2	0,47	0,14	1,3
<u>groenten onder veldcondities</u>					
spinazie	82	0,0 -1,2	0,10	0,08	0,25
waspeen	100	0,01-1,8	0,084	0,045	0,18
<u>landbouwgewassen</u>					
aardappel	93	0,03-6,35	0,23	0,07	0,39
tarwe	89	0,01-3,7	0,15	0,07	0,19
gerst	45	0,03-2,90	0,14	0,07	0,16
haver		0,01-0,32	0,09	-	-
appel (G.D.)	49	0,05-0,53	0,17	0,14	0,43
appel (C.O.P.)	49	0,03-0,61	0,18	0,15	0,39

Bron: ref. 108-119; havergegevens: ref. 91; G.D. = Golden Delicious, C.O.P. = Cox Orange Pippin.

Uit de tabel blijkt dat sterk verhoogde kwikgehalten in sommige grondmonsters het gemiddelde kwikgehalte sterk beïnvloeden. Dit is de reden waarom tevens de mediaanwaarden en de "95%-waarden" in de tabel zijn opgenomen.

Bij beschouwing van zowel de mediaanwaarden als de gemiddelde waarden blijkt dat de tuinbouwgronden (sla, tomaat, komkommer) een hoger kwikgehalte hebben dan de overige onderzochte gronden (landbouwgewassen en groenten onder veldcondities).

Verhoogde kwikgehalten in de grond konden in de meeste gevallen niet worden verklaard uit het enquêteonderzoek. De volgende gegevens zijn in enkele gevallen in verband gebracht met de verhoogde kwikgehalten:

1. het vroegere gebruik van kwikhoudende bestrijdingsmiddelen zoals bij de teelt van bloembollen en aardappelen (appel, waspeen, tarwe);
2. het gebruik van havenslibgronden (aardappel, gerst, tarwe);
3. het intensieve grondgebruik (sterke bemesting) in glasculturen (tomaat);
4. het gebruik van compost (kassla, tomaat);
5. een gegalvaniseerde kas (tomaat);
6. het gebruik van rivierklei (tomaat);
- en 7. het vroegere gebruik van stratendrek en stadsvuil (kassla).

De geografische verdeling van de kwikgehalten in de onderzochte gronden is weergegeven in tabel 6.6.

De hoogste gemiddelde gehalten worden steeds aangetroffen in wisselende provincies en sectoren. Verder moet rekening worden gehouden met het per provincie verschillende aantal metingen. Middeling van de per gewas gemeten gemiddelde grondconcentraties per provincie laat zien dat de provincie Zuid-Holland (en de sector Zuid-West) qua grondconcentratie ver (0,37 resp. 0,19 mg/kg) boven het landelijk gemiddelde van 0,15 mg/kg (excl. tuinbouwgronden) uitsteekt. Mogelijk is dit te wijten aan het veelvuldig gebruik van met havenslib opgespoten percellen.

Voor komkommer, tomaat en sla kan geen geografische verdeling in de gehalten aangebracht worden, omdat een groot deel van de monsters uit Zuid-Holland afkomstig is. Omdat het hier om glascultuur gaat zijn deze verschillen ook van minder belang dan in de akkerbouw.

Tabel 6.6 Geografische verdeling van gemiddelde kwikgehalten in landbouwgrond per sector of provincie in mg/kg drooggewicht. De provincie of sector met het hoogst gevonden gemiddelde kwikgehalte is onderstreept.

Provincie (sector)	Appel G.D. (110)		Appel C.O.P. (110)		Aardappel (112)		Spinazie (113)		Tarwekorrel (114)		Waspeen (116)		Gerst (117)		Totaal	
	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte
Groningen					6	0,008			16	0,101			5	0,10	27	0,10
Friesland					4	0,007			3	0,06	5	0,07	4	0,09	12	0,07
Drente					1	0,09	1	0,06	3	0,153					9	0,11
Overijssel							3	0,14							3	0,14
IJsselmeerpolders	6	0,22	8	0,22	22	0,18	2	0,10	10	0,096	12	0,06	4	0,09	64	0,15
Gelderland	20	0,16	7	0,21	4	0,08	7	0,25	1	0,08			5	0,06	44	0,16
Utrecht			8	0,20			2	0,22							10	0,20
Noord-Holland					8	0,07	10	0,11	12	0,07	33	0,14	4	0,07	67	0,11
Zuid-Holland	6	0,22	4	0,14	17	0,81	11	0,09	15	0,305	12	0,12	6	0,55	71	0,37
Zeeland					18	0,06			14	0,078			7	0,06	39	0,07
Noord-Brabant	6	0,10	7	0,14	8	0,07	46	0,08	3	0,1	20	0,04	7	0,08	97	0,08
Limburg	5	0,14	8	0,17	5	0,06			6	0,42	18	0,03			42	0,13
sector NO	8	0,19	9	0,20	33	0,14	6	0,11	32	0,101	17	0,06	14	0,09	119	0,12
sector NW	2	0,26	3	0,10	8	0,07	12	0,13	12	0,066	33	0,14	4	0,07	74	0,12
sector ZW	16	0,17	20	0,19	42	0,36	57	0,08	32	0,186	12	0,12	20	0,21	199	0,19
sector ZO	23	0,16	17	0,17	10	0,07	7	0,25	7	0,364	38	0,04	7	0,06	109	0,12

In tabel 6.7 zijn de gevonden kwikgehalten gerangschikt naar grondsoort.

Bij de rangschikking kunnen de in de landbouwgronden en de percelen met veldgroenten gevonden gehalten worden gemiddeld (appel-, aardappel-, tarwe-, waspeen- en gerstpercelen).

Het hieruit berekende gemiddelde is voor de grondsoorten zand, zavel en klei respectievelijk 0,10; 0,16 en 0,20 mg/kg (aantal monsters resp. 116, 152 en 151)). Een kanttekening moet hierbij worden geplaatst voor het relatief grote aantal metingen waspeen-zandgrondmonsters en aardappel-zavelgrondmonsters, die daarmee een duidelijk stempel op het verkregen gemiddelde drukken. De middeling kan ook worden gedaan voor tuinbouwgronden (kastomaat en -sla). In de tuinbouwgronden is het gemiddelde kwikgehalte voor zand, zavel en klei respectievelijk 0,13; 0,35 en 0,38 mg/kg (aantal monsters resp. 23, 52 en 40).

Tabel 6.7 Hg-gehalten in de verschillende grondsoorten (in mg.kg⁻¹ drooggewicht)

Perceel	Grondsoort	n	minimum	maximum	gemiddeld	mediaan
Appel G.D. (110)	zand	3	0,08	0,18	0,14	0,17
	zavel	15	0,05	0,44	0,15	0,12
	klei	31	0,06	0,53	0,19	0,14
Appel C.O.P. (110)	zand	3	0,11	0,26	0,17	0,14
	zavel	15	0,03	0,34	0,13	0,10
	klei	31	0,06	0,61	0,21	0,19
Aardappel (112)	zand	8	0,03	0,16	0,07	0,06
	zavel	66	0,03	4,60	0,19	0,07
	klei	19	0,06	6,35	0,43	0,10
Tarwekorrel (114)	zand	(6)	0,06	0,53	0,20	0,16
	zavel	(27)	0,01	3,7	0,20	0,07
	klei	(50)	0,01	2,1	0,12	0,08
Waspeen (116)	zand	84	0,01	1,80	0,09	0,04
	zavel	16	0,03	0,09	0,06	0,06
	klei	0				
Gerst (117)	zand	12	0,03	0,12	0,07	0,07
	zavel	13	0,03	0,16	0,08	0,08
	klei	20	0,04	2,9	0,21	0,07
Tomaat (118)	zand	5			0,11	0,04
	zavel	17			0,33	0,16
	klei	18			0,44	0,39
Sla (119)	zand	18			0,13	0,11
	zavel	35			0,36	0,17
	klei	22			0,33	0,23
totaal	zand	139			0,11	
	zavel	204			0,21	
	klei	191			0,24	

In het inventarisatieonderzoek (zie ook onderdeel 6.3) is geen relatie gevonden tussen verhoogde gewasconcentraties en verhoogde grondconcentraties. Gebaseerd op dit gegeven kan worden aangenomen dat de bovengenoemde kwikgehalten in de grond geen risico's zullen opleveren voor de mens wanneer alleen de expositieroute via het op deze grond verbouwde gewas zou worden beschouwd.

6.2.5 Bespreking van resultaten en conclusies

In tabel 6.8 wordt een overzicht gegeven van de gevonden kwikgehalten in Nederlandse gronden. In de tabel zijn onder de kolom "normale gehalten" tevens de kwikgehalten van referentiebodems opgenomen die zijn betrokken bij het onderzoek van Poelstra (103), Van de Ven (102)

en Van Driel (105). In tabel 6.9 zijn enkele literatuurwaarden voor het kwikgehalte in de bodem weergegeven.

Tabel 6.8 Een overzicht van kwikgehalten in Nederlandse gronden

Bron	Omschrijving onderzochte locatie (bemonsteringsjaar)	n	gemiddelde kwikgehalte in mg.kg ⁻¹ d.s.
<u>"Normale gehalten":</u>			
103	- graslandbodems (1973)	4 ^e	0,08
102	- graslandbodem (1973) ^a	1	0,08
120	- oude polders (1978)		0,18
94	- landbouwgronden (1960-1980)	381 ^f	0,20
95	- natuurgebieden (1979-1981) ^b	112 ^f	0,12
<u>"Verhoogde gehalten":</u>			
103	- Rijnwaterwaarden (1973)	3 ^e	4,62
102	- Rijn- & IJsselwaterwaarden (1971-1973)	3	3,2
94	- Rijnwaterwaarden		2
94	- Maaswaterwaarden		4
94	- Schelde-waterwaarden		12
105	- havenslibpolders (1973-1978)	248	4,85
103	- bloembollengebied (1973)	3 ^e	0,13
106	- bloembollengebied (1983) ^c	1	0,30
107	- bloembollengebied (1984) ^d	2	0,30
108-119	- land- en tuinbouwgronden	662	0,20

N.B.: - Bemonsterde bodemlaag 0-20 cm, behalve:
a. 0-5 cm; b. 0-10 cm; c. 25-55 cm; d. 0-50 cm;
e. duplobepalingen;
f. aantal monsters exclusief die van locatie Geerpolder.

Tabel 6.9 Enige literatuurwaarden voor kwik in de bodem

auteurs	ref. no.	omschrijving	gemiddelde kwikgehalte (mg/kg d.s)
Zegers & Van Enk	('77) 7	"Mondiaal achtergrondgehalte" "Buitenlandse gronden"	0,05
McKeague & Wolynetz	('80) 120	Canada	0,005-0,1
Frank et al.	('76) 121	Canada (appelboomperceel)	0,29
Frank et al.	('76)	Canada (Ontario)	0,11
Kick et al.	('80) 122	West-Duitsland (Nordrhein-Westfalen)	0,055
Brüne & Ellinghaus	('82) 123	West-Duitsland (Hessen)	0,11
Hoffmann et al.	('82) 124	West-Duitsland (Baden-Württemberg)	0,12
Wimmer & Haunold	('73) 125	Oostenrijk	0,095
Andersson	('67) 126	Zweden	0,6
De Temmerman et al.	('82) 127	België (ongecontamineerde landbouwgrond)	0,01-0,20
		"Fossiele gesteenten"	
Turekian & Wedepohl	('81) 128	sedimentgesteente	0,4
Turekian & Wedepohl	('81) 128	zandgesteente	0,3
Vinogradow	('82) 129	aardkorst	0,08

Uit tabel 6.8 en 6.9 blijkt dat de achtergrondgehalten van kwik in de Nederlandse bodem (spreiding van 0,08-0,20 mg/kg) overeen komen met de gemiddelde kwikgehalten van buitenlandse gronden (spreiding in de gemiddelde gehalten: 0,005-0,29 mg/kg). De gehalten zijn echter hoger dan de in de literatuur opgegeven mondiale achtergrondwaarde van 0,05 mg/kg (7). Verhoogde gehalten worden aangetroffen in met name de uiterwaardgebieden (spreiding in de gemiddelde kwikgehalten: 2-12 mg/kg) en de met havenslib opgespoten "loswallen" (gemiddeld 4,85 mg/kg); de recent onderzochte bollenstreeklocaties hebben ten opzichte van de referentiebodems ("normale gehalten") een (minder) verhoogd kwikgehalte van gemiddeld 0,3 mg/kg. Het gemiddelde kwikgehalte van de in gebruik zijnde land- en tuinbouwgronden komt overeen met het gemiddelde kwikgehalte van de ongecontamineerde landbouwgronden (0,20 mg/kg); de tuinbouwgronden hebben een hoger kwikgehalte dan landbouwgronden (resp. 0,36 en 0,15 mg/kg).

In tabel 6.10 zijn de kwikgehalten in de Nederlandse gronden getoetst aan de Leidraad Bodemsanering. Van enkele studies zijn geen gedetail-

leerde monstergegevens beschikbaar waardoor deze niet in de tabel zijn opgenomen.

Tabel 6.10 Toetsing aan de referentiewaarden bodemsanering van de Nederlandse gronden (A = 0,5 mg/kg, B = 2,0 mg/kg, C = 10 mg/kg)

Bron	Omschrijving	toetsing aan referentiewaarden
95	natuurgebieden ^a	< C (96% < A)
102,103	uiterwaarden	> C
105	havenslibpolders ^b	< C
103,106,107	bloembollengebied	< A
108-119	land- en tuinbouwgr.	< C (94% < A)

N.B. a inclusief 1 lokatie met verhoogd gehalte (zie paragraaf 6.1)
 b in 112 grondmonsters van havenslibpolders kwik niet aantoonbaar (detektiegrens: 0,6-4 mg/kg).

Terwijl het aantal overschrijdingen van de B-waarde zich bij de natuurgebieden en de land- en tuinbouwgebieden beperkt tot een enkele lokatie (lokaal verontreinigde gebieden, zie ook 6.1 en 6.2.4), kan een algemene overschrijding van de B-waarde worden waargenomen in gronden van uiterwaarden en de havenslibpolders. In de Rijnuiterswaarden wordt op sommige locaties de C-waarde overschreden.

6.3 Gehalten van kwik in Nederlandse land- en tuinbouwprodukten

In dit onderdeel zullen de resultaten van het inventarisatieonderzoek met betrekking tot de kwikgehalten in het gewas worden besproken.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de gehanteerde bemonstering, verwerking en analyseprocedures wordt verwezen naar de betreffende IB-nota's (refs. 108-119).

Kort samengevat heeft de verwerking, afhankelijk van het gewas, bestaan uit een combinatie van een wasprocedure met water of demi-water, droging door middel van een doek, bij 105 °C, aan de lucht of met behulp van filtreerpapier, en een fractionering van het monster voor enerzijds de droge stof-bepaling (na vermaling bij 105 °C) en anderzijds de chemische analyse (conform de grondanalyse, na droging bij 105 °C en/of 70-80 °C en vermaling in een kruisslag- of agaat-molen).

Contact van het gewas met andere metalen is gedurende de monsterverwerking en analyse zoveel mogelijk vermeden.

6.3.1 Kwikgehalten in gewassen

In tabel 6.11 zijn de gevonden kwikgehalten in het gewas weergegeven en vergeleken met Nederlandse grenswaarden, zoals die zijn voorgesteld door het Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur (WVC, ref. 130). Eén monster gerst (ca. 2%) heeft een kwikgehalte overeenkomend met de grenswaarde van 0,03 mg/kg. Eén monster spinazie en één monster tarwe hebben een kwikgehalte (0,029 mg/kg) net onder de grenswaarde van 0,03 mg/kg.

De overige gemiddelde kwikgehalten liggen evenals de maximale kwikgehalten ver beneden de voorgestelde grenswaarden.

Tabel 6.11 Inventarisatie van kwikgehalten in Nederlandse gewassen. Kwikgehalte in gewas in mg.kg⁻¹ versgewicht

Type gewas (ref. no.)	Aantal monsters	Spreading min.-max.	Gemiddelde	Voorgestelde norm in NL (130)	% > norm	gemiddelde literatuurwaarden (ref. no.)
<u>tuinbouwgewassen (glascultuur)</u>						
sla (119)	75	0,0005-0,0107	0,0018	0,03	0	0,0009-0,0014 (131,132,135,140)
tomaat (118)	40	0,0001-0,0081	0,0013	0,03	0	0,0006-0,01 (131,132,133,135,137)
komkommer (115)	45	0,0001-0,0015	0,0003	0,03	0	0,001 (135)
<u>groenten onder veldcondities</u>						
spinazie (113)	82	0,0001-0,029	0,005	0,03	0	0,005-0,020 (131,132,139)
waspeen (116)	100	0,0006-0,0053	0,0017	0,03	0	0,0014-0,0027 (131,136)
<u>landbouwgewassen</u>						
aardappel (111)	97	0,0001-0,017	0,003	0,02	0	0,001-0,004 (136)
tarwe (114)	89	0-0,029	0,005	0,03	0	0,002-0,02 (130,134,135,137,138)
gerst (117)	46	0,001-0,030	0,006	0,03	0	0,0004-0,04 (134,137,141)
haver (120)	39	0,0001-0,020	0,008	0,03	0	
appel (G.D.) (109)	50	0,0006-0,0023	0,0014	0,01	0	0,002 (132)
appel (C.O.P.) (109)	49	0,0004-0,0026	0,0011	0,01	0	0,002 (132)

G.D. = Golden Delicious
C.O.P. = Cox Orange Pippin

In tabel 6.11 zijn tevens de waarden vermeld die zijn gevonden in de literatuur. De gevonden gehalten in het inventarisatieonderzoek komen overeen met die in de literatuur, met een uitzondering voor kassla waarvoor een hogere gemiddelde waarde dan in de literatuur wordt gevonden (0,0018 ten opzichte van 0,0009-0,0014 mg/kg).

In tabel 6.12 is de geografische verdeling van de kwikgehalten in de verschillende gewassen weergegeven. In deze tabel zijn komkommer, tomaat en sla niet opgenomen vanwege de eenzijdige afkomst van de monsters (provincie Zuid-Holland).

Tabel 6.12 Geografische verdeling van gemiddelde kwikgehalten in de gewassen per sector of provincie in mg/kg versgewicht

Provincie (sector)	Appel G.D. (109)		Appel C.O.P. (109)		Aardappelknol (111)		Spinazie (113)		Tarwekorrel (114)		Waspeen (116)		Gerst (117)	
	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte	n	gemiddeld gehalte
Groningen					9	0,0073			16	0,002			5	0,002
Friesland					6	0,0033			4	0,007	5	0,009		
Drente							1	0,001	3	0,004			5	0,003
Overijssel							3	0,016						
IJsselmeerpolders	6	0,0014	8	0,0008	7	0,0036	2	0,008	10	0,012	12	0,0018	4	0,017
Gelderland	21	0,0015	7	0,0009	4	0,0019	7	0,007	1	0,008			5	0,006
Utrecht			8	0,0012			2	0,001						
Noord-Holland			3	0,0010	8	0,0030	10	0,001	12	0,006	33	0,0017	4	0,006
Zuid-Holland	6	0,0016	4	0,0011	16	0,0024	11	0,012	15	0,0004	12	0,0020	6	0,007
Zeeland			3	0,0008	20	0,0020			15	0,005			7	0,006
Noord-Brabant	6	0,0012	7	0,0013	9	0,0028	46	0,003	3	0,002	20	0,0017	7	0,005
Limburg	5	0,0015	8	0,0012	8	0,0055			6	0,003	18	0,0018		
sector NO	8	0,0012	1	0,0010	31	0,0005	6	0,011	33	0,006	17	0,0015	15	0,007
sector NW	2	0,0009	3	0,0010	11	0,0002	12	0,001	12	0,006	33	0,0017	4	0,006
sector ZW	16	0,0014	20	0,0011	43	0,00002	57	0,005	7	0,004	12	0,0020	20	0,006
sector ZO	24	0,0014	17	0,0011	11	0,0002	7	0,007	7	0,004	37	0,0017	7	0,006

De hoogste gemiddelde gehalten worden steeds aangetroffen in wisselende provincies en sectoren. Er moet rekening worden gehouden met het per provincie verschillende aantal metingen.

In tabel 6.13 is de rangschikking van de kwikgehalten naar grondsoort weergegeven.

Tabel 6.13 Hg-gehalten in gewassen (in mg.kg⁻¹ versgewicht) per grondsoort

Gewas	Grondsoort	n	minimum	maximum	gemiddeld	mediaan
Appel G.D. (109)	zand	3	0,0007	0,0019	0,0012	
	zavel	15	0,0006	0,0022	0,0014	
	klei	32	0,0007	0,0023	0,0014	
Appel C.O.P. (109)	zand	3	0,0009	0,0014	0,0012	
	zavel	15	0,0004	0,0023	0,0011	
	klei	31	0,0006	0,0026	0,0011	
Tarwe (114)	zand	6	0	0,008	0,0024	0,0017
	zavel	27	0,0009	0,0136	0,004	0,0034
	klei	51	0	0,029	0,0057	0,0026
Waspeen (116)	zand	84	0,0008	0,0053	0,0018	0,0015
	zavel	16	0,0006	0,0026	0,0015	0,0014
	klei	0	-	-	-	
Gerst (117)	zand	12	0,002	0,009	0,004	0,003
	zavel	13	0,001	0,015	0,005	0,003
	klei	20	0,001	0,030	0,008	0,006

Overeenkomstige gegevens voor de overige gewassen zijn in de betreffende IB-nota's niet gegeven.

In het kwikgehalte van het gewas is voor de 3 grondsoorten geen duidelijk verschil aanwijsbaar. De gevonden gemiddelde gehalten zijn voor tarwe en gerst het hoogst op kleigronden. Daarentegen is de mediaanwaarde voor tarwe het hoogst op de zavelgronden.

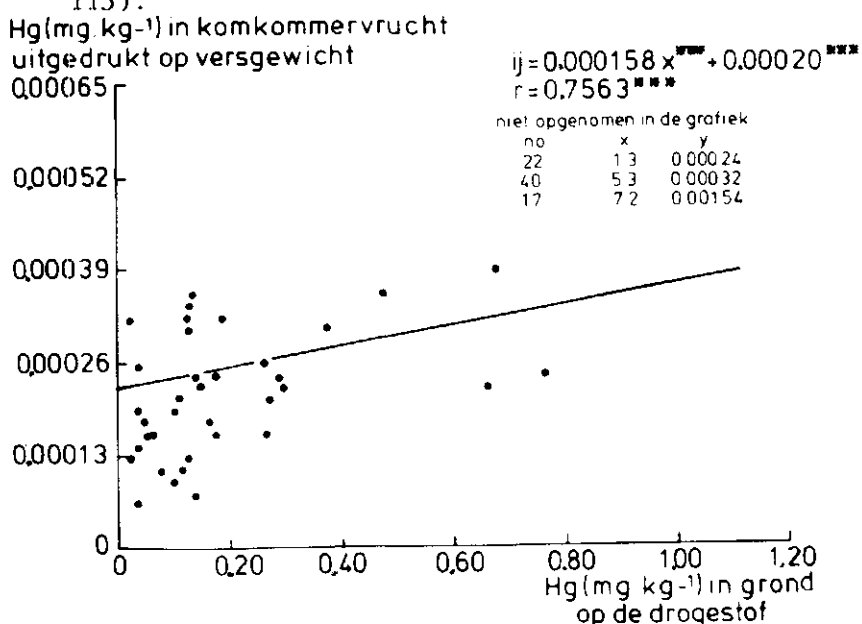
6.3.2 Relatie tussen het kwikgehalte in het gewas en het gehalte in de grond

In het inventarisatieonderzoek is géén significant verband gevonden tussen de kwikgehalten in de grond en dat in het gewas: een verhoogde gewasconcentratie kon niet worden gerelateerd aan een verhoogde grondconcentratie. Alleen voor komkommer bestaat er mogelijk een verband tussen de gewasconcentratie en de bodemconcentratie (zie fig. 6.1).

6.3.3 Bespreking van de resultaten en conclusies

Over het algemeen zijn de gevonden kwikgehalten in de onderzochte gewassen laag te noemen: grenswaarden van het Ministerie van WVC (44) worden in geen enkel monster overschreden; gevonden gehalten komen

Figuur 6.1 Verband tussen het kwikgehalte in grond en in de komkommervrucht (m.b.v. individuele drogestofcijfers) (bron: ref. 115).



overeen met gehalten opgegeven in de literatuur (uitgezonderd kassla). Terwijl bij de onderverdeling naar herkomst de hoogste grondconcentraties worden aangetroffen in Zuid-Holland (zie 6.2.4), kan bij eenzelfde onderverdeling van de kwikgehalten in het gewas geen enkele provincie (sector) worden aangewezen, waarbij herhaaldelijk verhoogde gewasconcentraties kunnen worden aangetroffen.

Ofschoon bij rangschikking van de grondconcentraties naar de grondsoort het kwikgehalte in de volgorde zand-zavel-klei gemiddeld hoger wordt, kan bij eenzelfde rangschikking aan de gewasconcentraties geen algemene volgorde worden waargenomen.

Een en ander kan worden verklaard uit het ontbreken van enige relatie tussen de gewasconcentratie enerzijds en de grondconcentratie anderzijds; er vindt géén opname plaats van kwik door het gewas vanuit de bodem. Kwikgehalten in het gewas zullen eerder een gevolg zijn van oppervlaktecontaminatie door contact (géén opname) met de omringende grond of door invloeden vanuit de atmosfeer (depositie).

6.4 Kwik in grondwater

In het kader van het meetnet grondwater van het RIVM (vóór 1984 RID) zijn de laatste metingen met betrekking tot kwik in augustus 1982 uitgevoerd. In tabel 6.14 en figuur 6.2a en 6.2b is een overzicht gegeven

van de uit deze periode afkomstige meetresultaten. De samenstelling van het grondwater is bepaald op een diepte van 8-10 meter en 23-25 meter onder het maaiveld.

Het gemiddelde kwikgehalte van het Nederlandse grondwater in 1982 was 0,020 en 0,018 $\mu\text{g/l}$ voor respectievelijk 8-10 meter en 23-25 meter onder het maaiveld. De spreiding in de gevonden kwikgehalten bedraagt 0,002-0,050 $\mu\text{g/l}$ en 0,003-0,030 $\mu\text{g/l}$ voor respectievelijk 8-10 meter en 23-25 meter onder het maaiveld.

De verticale spreiding van het kwik in het grondwater is verschillend per locatie. De veronderstelling dat het gehalte aan kwik op grotere diepte lager zal worden kan bij beschouwing van de kwikgehalten per locatie niet worden waargenomen: met regelmaat blijkt op dezelfde locatie het op 23-25 meter gevonden kwikgehalte hoger te zijn dan die gevonden op 8-10 meter beneden het maaiveld. Mogelijk spelen hierbij allerlei bodemchemische omstandigheden zoals verschillende redoxpotentiaal, pH, chloride-concentratie e.d. een rol.

Verder heeft het grondwater op 8-10 meter diepte een duidelijk grotere spreiding in het kwikgehalte dan het grondwater op 23-25 meter diepte. Een en ander is mogelijk onder invloed van lokale omstandigheden (verschil in hoeveelheid neerslag, aanwezigheid van stortplaatsen, etc.).

In de literatuur wordt voor kwik in grondwater een achtergrondconcentratie opgegeven van 0,05 $\mu\text{g/l}$ (4). De gemiddelde kwikgehalten liggen ruimschoots onder deze literatuurwaarde: slechts op één locatie (no. 13, Landhorst) was het gehalte 0,05 $\mu\text{g/l}$ op een diepte van 8-10 meter.

De door het RIVM gevonden kwikgehalten in het grondwater liggen ruimschoots onder de referentiewaarde uit het toetsingskader van het Ministerie van VROM van 0,2 $\mu\text{g/l}$.

Tabel 6.14 Kwikgehalte in grondwater op 8-10 meter en 23-25 meter onder het maaiveld. (augustus 1982).

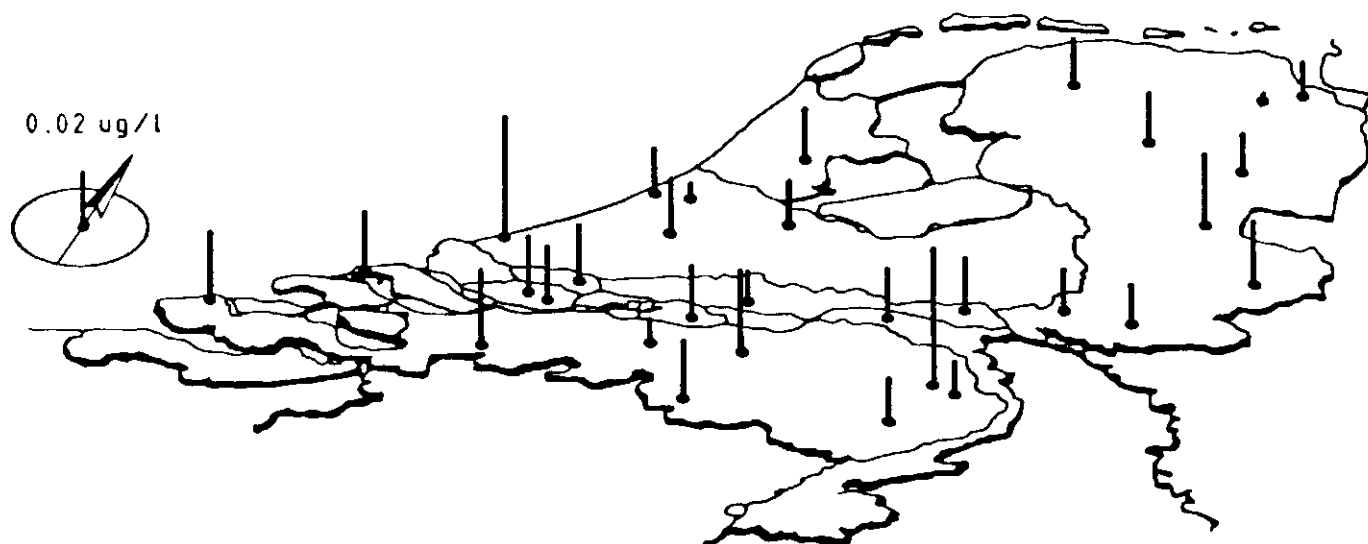
No. ^a	Locatie	Kwikgehalte in µg/l ^b	
		8-10 m -mv	23-25 m -mv
1	Heelweg/Varsseveld	0,015	0,021
2	Hummelo	0,017	0,011
3	Doldursum	0,018	0,014
4	Wijster	0,014	0,012
5	De Zilk	0,018	0,023
6	Reeuwijk	0,020	0,019
7	Barendrecht	0,021	0,017
8	Strijen	0,022	0,013
9	Monster	0,042	0,021
10	Ouddorp	0,022	0,003
11	Stougjesdijk/Maasdam	0,021	0,014
12	Haren (NB)	0,029	0,012
13	Landhorst	0,050	0,015
14	Bladel	0,021	0,014
15	Overloon	0,012	0,011
16	Vlierden	0,016	0,018
17	Almkerk	0,018	0,022
18	Rijen	0,009	0,026
19	Schijf	0,028	0,015
20	Wartena	0,019	0,025
21	Den Ham	0,026	0,025
22	Enschede	0,025	0,030
23	Haafden	0,010	0,028
24	Afferden	0,019	0,017
25	Weesp	0,016	0,023
26	Noord-Beemster	0,019	0,019
27	Hoofddorp	0,007	0,022
28	Vrouwenpolder	0,025	0,015
29	De Paauwen	0,002	0,018
30	Wilderhof	0,013	0,026
31	Driel	0,019	0,014
1 t/m 31	gemiddelde (n = 82)	0,020	0,018

Bron: ref. 142.

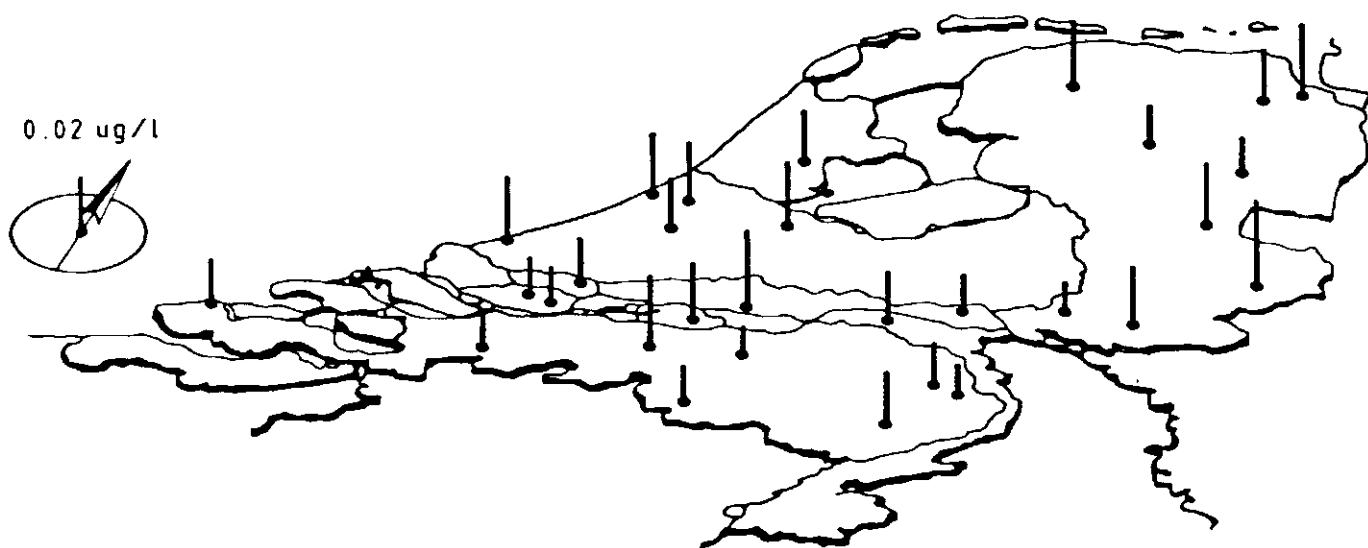
N.B. a genummerde locaties ook weergegeven in Figuur 6.2a + 6.2b

b 8-10 m -mv = 8 tot 10 meter onder maaiveld; locaties met hoogst en laagst gevonden kwikgehalten in het grondwater onderstreept.

Figuur 6.2a Grondwaterkwaliteit op 8-10 meter onder maaiveld, augustus 1982 (RID)



Figuur 6.2b Grondwaterkwaliteit op 23-25 meter onder maaiveld, augustus 1982



Hoofdstuk 7 LANDBOUWHUISDIEREN

Samenvatting

Het kwikgehalte van vlees van runderen, kalveren, varkens, kippen en paarden is laag (mediaanwaarden < 0,001-0,075 mg/kg v.p.). De richtnorm (tot 1982 0,1 mg/kg, na 1982 0,05 mg/kg) werd in de periode 1978-1983 geen enkele keer en de aktiegrens (0,025 mg/kg) een enkele keer overschreden (rundvlees 0,4%; varkensvlees 1,2% en kippevlees 3,7%).

Het kwikgehalte in de lever van landbouwhuisdieren is vergelijkbaar met dat in het vlees, behalve in de paardelever (gemiddeld 0,012 mg/kg in de lever en < 0,001 mg/kg in vlees). Zowel de richtnorm tot 1982 (0,2 mg/kg, na 1982 0,1 mg/kg) als de aktiegrens (0,1 mg/kg) werd in geen van de onderzochte levers in de periode 1978-1983 overschreden. Het kwikgehalte in de nier is significant hoger dan in het vlees en de lever, met name in de paardenier (gemiddelde mediaan 0,036 mg/kg). De richtnorm (tot 1982 0,4 mg/kg, na 1982 0,1 mg/kg) wordt in geen van de onderzochte nieren overschreden, de aktiegrens (0,1 mg/kg) een enkele keer (rundnier 0,7% en varkensnier 1,9%). Sinds 1981 daalt zowel de mediaan als de maximum waarde van het kwikgehalte in de varkensnier enigszins.

Het kwikgehalte van kippe-eieren is in alle monsters laag (< 0,005 mg/kg).

Uit overdrachtonderzoek met melkkoeien blijkt dat er overdracht van kwik uit het voer naar de lever en vooral naar de nier plaatsvindt. Het kwikgehalte in het vlees werd niet hoger dan bij de controlegroep. Een significante overdracht naar de lever en de nier is geconstateerd bij toediening van extra kwik in de vorm van opgelost kwikacetaat (0,09-0,11 mg kwik/kg voer) en in de vorm van havenslib (0,07-0,18 mg kwik/kg voer). Er vindt ook enige overdracht naar de melk plaats. Het maximum toelaatbare kwikgehalte in enkelvoudige en volledige voeders bedraagt 0,1 mg/kg (vochtgehalte 12%) met een enkele uitzondering van 0,5 mg/kg.

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek met betrekking tot het voorkomen van kwik in landbouwhuisdieren besproken (voor aquatische organismen, zie paragraaf 5.4; voedingsgewassen zie paragraaf 6.3.1). Het onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van het zogenaamde VREK-programma (VREK = varkens, runderen, eieren, kippen), een periodiek onderzoek naar de gehalten van cadmium, kwik, lood en arseen in vlees en organen, en het onderzoek naar de overdracht van zware metalen van diervoerders naar dierlijke produkten.

Het onderzoek wordt verricht onder auspiciën van de onder de Landbouwadviescommissie Milieukritische Stoffen (LAC) ressorterende stuurgroep "Vee, Vlees en Eieren".

7.2 Het LAC-signaleringsprogramma VREK

Sinds 1978 vindt in het kader van het LAC-signaleringsprogramma VREK onderzoek plaats, dat tot doel heeft het Ministerie van Landbouw en Visserij te informeren met betrekking tot de gehalten aan zware metalen en bestrijdingsmiddelen in vlees, organen en vetten van consumptie-dieren. In het onderzoeksprogramma zijn de zware metalen cadmium, kwik en lood, en het metalloïd arseen (tot 1983) opgenomen. De resultaten worden in evaluatierapporten gepubliceerd (143,144, 145,146).

Door de districtsinspecties van de Veterinaire Dienst worden monsters vlees en organen van runderen, varkens en schapen verzameld. De monsters worden door het RIKILT geanalyseerd. Door de Algemene Inspectiedienst (AID) worden de monsters pluimveevlees, -lever en eieren genomen, deze worden door CIVO-TNO geanalyseerd.

De analyseresultaten zijn door het RIKILT geëvalueerd. In tabel 7.1 wordt een overzicht van de per jaar bepaalde mediaanwaarden van de gehalten aan kwik in dierlijke produkten weergegeven.

Het RIKILT heeft de gevonden gehalten aan zware metalen en arseen in dierlijke produkten getoetst aan de in de verslagperiode geldende aktiegrenzen (A) en richtwaarden (T). De richtwaarden zijn opgesteld

Tabel 7.1 Medianen van de gehalten aan kwik in dierlijke produkten. Gehalten opgegeven in mg kwik/kg vers produkt

Dierlijk produkt	1978	1979	1980	1981	1982	1983
rundvlees	0,003	0,004	0,001	< 0,001	0,001	0,001
nier			0,005	0,006	0,006	0,006
lever				0,001	0,002	0,002
varkensvlees	0,004	0,004	0,002	0,001	0,002	< 0,001
nier			0,006	0,005	0,005	0,003
lever				0,002	0,002	0,001
schapevlees				< 0,001	0,002	0,001
nier				0,004	0,008	0,007
lever				0,002	0,003	0,002
kippevlees	0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
ei	< 0,005	< 0,005	< 0,005			
lever			< 0,005		< 0,005	< 0,005

Bron: ref. 143 en 146.

N.B.: De resultaten van paarden en kalveren zijn niet weergegeven, omdat er slechts een enkele bemonstering plaats heeft gevonden.

met het oog op de toekomstige normstelling en zijn aan de hand van de resultaten van het VREK-programma van de jaren 1978 t/m 1982 in 1983 herzien door de onder de LAC-stuurgroep "vee, vlees en eieren" ressorterende werkgroep "zware metalen". De in 1983 voorgestelde normen voor dierlijke produkten van rund, varken en kip zijn overgenomen in de adviesaanvraag van de staatssekretaris van WVC aan de adviescommissie Warenwet. De aktiegrenzen zijn medio 1981 ingevoerd met het doel om nader onderzoek te doen plaatsvinden naar de oorzaken van mogelijke contaminatie bij het vinden van verhoogde gehalten. Deze aktiegrenzen liggen ongeveer op de hoogte van de helft van de (in 1981 geldende) door de LAC voorgestelde richtwaarden en zijn in 1983 niet veranderd.

In tabel 7.2 zijn de resultaten van het onderzoek en de toetsing aan de aktiegrenzen en richtwaarden over de periode 1978 t/m 1983 weergegeven.

De van de diverse diersoorten afkomstige vleesmonsters hebben over het algemeen een laag kwikgehalte; de spreiding in het kwikgehalte van alle vleesmonsters is < 0,001-0,075 mg per kg (vers produkt). Voor

Tabel 7.2 Gehalten aan kwik in dierlijke produkten onderzocht door RIKILT en CIVO-TNO in het kader van het LAC-signaleringsprogramma VREK (Gehalten in mg/kg vers produkt)

Dierlijk produkt	n	Gemiddelde mediaan	Spreiding	Richtnorm T ('78-'82)	% > T ('78-'82)	Richtnorm T ('83)	% > T ('83)	Aktiegrens A	% > A	Bemonsteringsperiode - t/m
rundvlees	264	0,002	< 0,001-0,046	0,1	0	0,05	0	0,025	0,4	1978-1983
rundnier	152	0,006	0,001-0,048	0,4	0	0,1	0	0,1	0,7	1980-1983
rundlever	91	0,002	< 0,001-0,014	0,2	0	0,05	0	0,05	0	1981-1983
varkensvlees	249	0,002	< 0,001-0,069	0,1	0	0,05	0	0,025	1,2	1978-1983
varkensnier	157	0,005	< 0,001-0,28	0,4	0	0,1	0	0,1	1,9	1980-1983
varkenslever	86	0,002	< 0,001-0,013	0,2	0	0,05	0	0,05	0	1981-1983
schapevlees	54	0,001	< 0,001-0,006	(0,1)	0	(0,05)	0	(0,025)	0	1981-1983
schapenier	55	0,006	0,002-0,032	(0,4)	0	(0,1)	0	(0,1)	0	1981-1983
schapelever	49	0,002	< 0,001-0,022	(0,2)	0	(0,05)	0	(0,05)	0	1981-1983
kippevlees	411	< 0,005	< 0,005-0,075	0,1	0	0,05	0	0,025	3,7	1978-1983
kippe-ei	275	< 0,005	< 0,005-0,015	0,1	0	0,03	0	0,025	0	1978-1980
kippelever	88	< 0,005	< 0,005-0,015	0,2	0	0,05	0	0,05	0	1980,1982,19
paardevlees	7	< 0,001	≤ 0,001	0,1	0	0,05	0	0,025	0	1982
paardenier	7	0,036	0,016-0,098	0,4	0	0,1	0	0,1	0	1982
paardelever	7	0,012	0,005-0,038	0,2	0	0,05	0	0,05	0	1982
kalfsvlees	10	0,004	0,001-0,019	0,1	0	0,05	0	0,025	0	1982
kalfsnier	10	0,003	0,002-0,011	0,4	0	0,1	0	0,1	0	1982
kalfslever	10	< 0,002	< 0,001-0,004	0,2	0	0,05	0	0,05	0	1982

Bron: (143), (146), (147).

N.B. De gemiddelde mediaan is berekend uit de per jaar bepaalde mediaanwaarden (zie tabel 7.1). Tevens zijn de resultaten van een aantal analyses van monsters vlees en organen van paarden en kalveren uit 1982 weergegeven (147).

De over de jaren 1978 t/m 1983 gevonden gehalten zijn getoetst aan de in de overeenkomstige jaren geldende aktiegrenzen en richtnormen. Het percentage overschrijdingen (% > T en % > A) is berekend op basis van het totaalbeeld over de periode 1978 t/m 1983 (totaal aantal overschrijdingen/n_{tot} x 100%). Vanwege de bijgestelde richtnorm T in 1983 is het percentage overschrijdingen in 1983 apart gehouden, conform de toetsing van het RIKILT. Voor schapen zijn geen aktiegrenzen en richtnormen vastgesteld. Het RIKILT heeft voor deze dieren alsmede voor kalveren en paarden de gevonden gehalten getoetst aan de grenswaarden, vastgesteld voor runderen (A- en T-waarden tussen haakjes).

rund-, varkens- en kippevlees liggen de kwikgehalten nà 1979 op de detectie grensniveau (0,001 mg/kg v.p. voor rund- en varkensvlees; 0,005 mg/kg v.p. voor kippevlees).

De richtnorm T wordt in geen enkel monster overschreden. Eén monster rundvlees in 1978, 3 monsters varkensvlees in 1978 en 15 monsters kippevlees in 1978 (14x) en 1979 (1x) overschrijden de aktiegrens van 0,025 mg/kg voor vlees.

De gevonden mediaanwaarden voor kwik in levers van runderen, varkens, schapen en kippen liggen over de bemonsterde periode op een stabiel niveau ($< 0,005$) en komen overeen met die gevonden in vlees; de maximale kwikgehalten gevonden in de levers (hoogste waarde gevonden bij schapelever: 0,022 mg/kg) liggen ruimschoots onder de aktiegrens van 0,05 mg/kg. Hetzelfde geldt voor de bemonsterde kalfslevers en paardelevers, ofschoon in paardelevers hogere kwikgehalten gevonden zijn dan in paardevlees (resp. 0,012 en $< 0,001$ mg/kg).

De kwikgehalten in nier (spreiding in de mediaanwaarde: 0,003 - 0,036 mg/kg) zijn signifikant hoger dan die in vlees en lever. Dit geldt met name voor rundernier, varkensnier en schapenier. Een licht dalende trend in de mediaanwaarde wordt vanaf 1981 waargenomen bij varkensnier. De dalende trend blijkt ook uit de per jaar bepaalde spreiding: 0,004 - 0,32 (1980), 0,002 - 0,28 (1981), 0,001 - 0,02 (1982) en $< 0,001$ - 0,015 mg/kg vers produkt (1983). Eén rundernier in 1982 en 3 varkensnieren in 1981 overschrijden de aktiegrens van 0,1 mg/kg vers produkt.

7.3 Overdracht van kwik van diervoeders naar dierlijke produkten

7.3.1 Opzet en resultaten van het overdrachtsonderzoek

Sinds enkele jaren wordt bij het Instituut voor Veevoedingsonderzoek (IVVO) te Lelystad onderzoek verricht naar de overdracht van zware metalen en sporelementen van diervoeders naar dierlijke produkten. Het projekt is opgezet om het Ministerie van Landbouw en Visserij en met name de LAC-stuurgroep "Vee, Vlees en Eieren" te informeren over de mate van overdracht van met name lood, cadmium, kwik en arseen naar het verkoopbare dierlijke produkt, dit in verband met de beleidsvoorbereiding ten aanzien van te stellen normen.

Voor lood, kwik en arseen zijn door het Produktschap voor Veevoeder reeds maximum gehalten in diervoeders voorgeschreven (tabel 7.3). De

mate van overdracht van zulke elementen uit het voer naar het dierlijke produkt is van vele factoren afhankelijk. De belangrijkste factoren zijn in tabel 7.4 samengevat (148).

Om de overdrachtsgegevens zo goed mogelijk in de praktijk te kunnen gebruiken, zijn de proeven uitgevoerd met in de praktijk voorkomende gecontamineerde voeders, zowel grondstoffen voor mengvoeders als op veehouderij-bedrijven aanwezige of aangekochte ruwvoeders (148).

Voor de Nederlandse situatie zijn zulke proeven uitgevoerd met melkkoeien (149,150). In deze studies werd het gehalte aan kwik en andere sporelementen in weefsels van koeien van uiterwaardgebieden van de

Tabel 7.3 Maximumgehalte aan kwik, in diervoeders (mg per kg), herleid tot een vochtgehalte van 12%, volgens Verordening van het Produktschap voor Veevoeder (148).

	maximum kwikgehalte (mg/kg)
enkelvoudige voeders	0,1
uitzonderingen:	
gemalen veevoeders	
gedroogde suikerbietenp.	
fosfaten	
vis e.d.	0,5
gist	
volledige voeders	0,1

Tabel 7.4 Overzicht van factoren die invloed hebben op overdracht van Hg uit voer naar dierlijke weefsels (148)

Elementgebonden factoren:

- hoeveelheid (gehalte, tijdsduur)
- chemische vorm

Diergebonden factoren:

- soort
- leeftijd (groei)
- geslacht (hormonale factoren)
- drachtigheid (idem)
- voedingstoestand
- route (darm, longen, huid)

Voedselgebonden factoren:

- samenstelling
- interactie met niet-essentiële elementen
- interactie met essentiële elementen als Ca, P, Cu, Zn, Fe, Co en Se

Rijn en IJssel vergeleken met die van koeien van een binnendijks gebied. De uiterwaarden van de Rijn en zijn zijtakken worden regelmatig met vervuild water overstroomd (zie 6.2.1). Tijdens deze overstromingen sedimenteert slib, waaraan particulier-gebonden stoffen zitten.

In de studies werd geen verschil gevonden tussen uiterwaarden en binnendijks gebied (149,150). Bovendien bleek dat de gehalten aan kwik in de keten grond-gras-koe niet toenam (150). De gevonden kwikgehalten waren het laagst in het vlees, hoger in de lever en het hoogst in de nier (149,150).

In een aanvullend onderzoek bleken ook de kwikgehalten in organen van konijnen, eveneens afkomstig van regelmatig overstroomd gebied laag te zijn: het laagst in de hersenen, hoger in de lever en het hoogst in de nier (149).

Om de kwantitatieve gegevens bij landbouwhuisdieren verder aan te vullen zijn overdrachtsproeven opgezet met melkkoeien op een grasrantsoen (151), melkkoeien op een stalrantsoen (148), vleesstieren op een stalrantsoen (152) en mestlammeren op een gras- en stalrantsoen (148).

Bij de opzet van de proeven is enerzijds uitgegaan van toediening van zware metalen in de vorm van oplosbare verbindingen, waarbij het overdrachtseffect op met name organen waarschijnlijk maximaal zal zijn en anderzijds door toediening van zware metalen in de vorm van riool-slib en haven- of rivierslib, slibsoorten die in de praktijk worden toegepast op cultuurgrond. Vooral grasland zou in de veehouderij een rol kunnen spelen bij de overdracht van kwik naar dierlijke producten (148).

Het dierexperimentele gedeelte, dat wil zeggen voeding en monstername is door het IVVO uitgevoerd, terwijl de analyses zijn uitgevoerd door het RIKILT.

De in de weide gehouden of op stal gehuisveste proefdieren zijn geselecteerd (op leeftijd, gewicht) en gedurende een bepaalde periode op een rantsoen gezet van per onderzoek verschillende samenstelling. Kwik is toegediend in een dagelijkse hoeveelheid, overeenkomend met de in de verordening van het Produktschap voor Veevoeder vermelde maximum-

gehalte van 0,1 mg per kg voeder, herleid tot een vochtgehalte van 12% (= 88% d.s.). Kwik is toegediend in de vorm van acetaat opgelost in water verwerkt met het voer (OV) of in de vorm zoals aanwezig in havenslib (H) of rioolslib (R), eveneens vermengd met het voer. De berekening van de toegediende hoeveelheid kwik per dag is gebaseerd op de totale droge stof-opname per dag, bij de vleesstieren variërend van begin (t_o) tot eind (t_e) van de proef.

Door de bepaling van de afzonderlijke kwikgehalten van de samenstellende componenten van het voer en de aan de dieren verstrekte hoeveelheden van deze componenten in het rantsoen, kan het gemiddelde gehalte aan kwik in het totale rantsoen worden berekend.

Gedurende het onderzoek zijn regelmatig monsters van het verstrekte voer genomen. Vlees, weefsel en organen zijn gemonsterd tijdens en na het slachten van de proefdieren. De vleesmonsters zijn genomen op 3 plaatsen, voorhand, middenhand en achterhand. Melk en bloed zijn in het overdrachtsonderzoek bij melkkoeien 1 maal per 3 maanden (totale blootstelling: 24 maanden) gemonsterd (148).

De proefgegevens en de resultaten van het overdrachtsonderzoek zijn respectievelijk samengevat in tabel 7.5 en 7.6.

Tabel 7.5 Onderzoek naar de overdracht van kwik in diervoeders naar dierlijke produkten.
1. Algemene proefgegevens

Proefdier	Proefplan ^a	N ^b	leeftijd- begin (t_o)	gem. gewicht $t_o - t_e$ (in kg)	Samenstelling rantsoen ^c	Tijdsduur toediening	Dosering voer (kg d.s./dag)	Gem. Hg-gehalte totale rantsoen (mg/kg voer, dag 12% vocht)
melkkoeien	C weide	12	géén		G K W	3 mnd	15	< 0,02
"	OV weide	12	opgave		G K _{ov} W	3 mnd	15	0,11
"	C stal	8	2-5,5 jr	géén	K _c	24 mnd	ca. 21	< 0,02
"	OV stal	8	2,25-5,5 jr	opgave	K _{ov}	24 mnd	K _i H of	0,09
"	H stal	8	2,25-5,5 jr		K _h	24 mnd	ca. 31	0,18
"	R stal	8	2,25-5,5 jr		K _r	24 mnd	K _i GK	0,06
mestlammeren	C weide	8	10 wkn	35,2-56,9	G K W	14 wkn	1	< 0,02
"	OV weide	8	10 wkn	35,3-59,2	G K _{ov} W	14 wkn	1	0,08
"	C stal	8	10 wkn	35,5-54,6	H K _c W	14 wkn	1	< 0,02
"	OV stal	8	10 wkn	35,3-55,6	H K _{ov} W	14 wkn	1	0,14
"	H stal	8	10 wkn	35,3-57,3	H K _h W	14 wkn	1	0,27
"	R stal	8	10 wkn	35,3-54,9	H K _r W	14 wkn	1	0,17
vleesstieren	C stal	8	10 mnd	284-463	K _c MW	5 mnd	4,6-8,9	0,01
"	OV stal	16	10 mnd	272-450	K _{ov} MW	5 mnd	4,5-8,6	0,10
"	C stal	6	9 mnd	280-458	K _c MW	6 mnd	5,8-8,0	< 0,01
"	H stal	6	9 mnd	279-474	K _h MW	6 mnd	5,4-9,0	0,07
"	R stal	6	9 mnd	283-478	K _r MW	6 mnd	5,3-8,6	0,045

Bron: melkkoeien (151,148); mestlammeren (153); vleesstieren (152).

N.B. Toelichting bij tabel 7.5

- a) proefplan : c = controlegroep, OV = groep oplosbare verbindingen, H = groep havenslib, R = groep rioolslib
- b) N : aantal proefdieren per groep bij de aanvang van het onderzoek (t₀)
- c) samenstelling rantsoen: G = gras, Gk = graskuïl, H = hooi, K_i = krachtvoer (met i = C, OV, H, R) vermengd met kwik in de vorm C, OV, H en R (zie proefplan; C = geen extra hoeveelheid kwik), M = maïssilage, W = water

Tabel 7.6 Onderzoek naar de overdracht van kwik van diervoeders naar dierlijke produkten.
2. Resultaten van het onderzoek

Proefdier	Proef- plan ^a	Geanalyseerde monsters ^b	Gemiddelde Hg-gehalten in mg per kg vers produkt ^c														
			vlees	n	lever	n	nier	n	melk	n	bloed	n	bot	n	div. organen	n	
melkkoeien	C	VLNM	0,003		0,007		0,009		0,002								
"	OV	"	0,004		0,010		0,024		0,001								
"	C	idem +	0,002	2	0,003	2	0,005	2	< 0,0005	2	0,002	1	< 0,001	1	0,001-0,003	1	
"	OV	BlBoHaHeMiZ	0,002	2	0,026	2	0,079	2	0,0005	2	0,002	2	< 0,001	1	0,001-0,007	1	
"	H	"	0,001	1	0,014	1	0,050	1	0,002	1	0,001	1	< 0,001	1	0,001-0,005	1	
"	R	"	0,002	2	0,009	2	0,027	2	0,001	2	0,001	2	< 0,001	1	0,001-0,003	1	
mestlammeren	C	VLN He	< 0,001	6	0,014	4	0,18	4							< 0,001	1	
"	OV	"	0,003	6	0,013	4	0,14	4							< 0,001	1	
"	C	"	0,002	6	0,016	4	0,24	4							< 0,001	1	
"	OV	"	0,001	6	0,028	4	0,36	4							0,001	1	
"	H	VLN	0,001	6	0,037	4	0,26	4									
"	R	"	0,001	6	0,034	4	0,24	4									
vleesstieren	C	VLN BoHaHeTZ	0,004	6	0,008	4	0,014	4					< 0,001	4	0,002-0,004	2-4	
"	OV	"	0,005	13	0,024	8	0,075	8					< 0,001	4	0,002-0,005	2-4	
"	C	"	0,001	2	0,002	6	0,005	6					< 0,001	3	0,001-0,002	1	
"	H	"	0,002	2	0,026	6	0,068	6					< 0,001	3	0,001-0,005	1	
"	R	"	0,001	2	0,008	6	0,020	5					< 0,001	3	0,001-0,002	1	
LAC-norm ^d	T ('79)		0,1		0,2		0,4										
Idem	T ('83)		0,05		0,05		0,1										

Bron: melkkoeien (151,148); mestlammeren (153); vleesstieren (152);
LAC-normen (148,151,162).

N.B. Toelichting bij tabel 7.6:

- a) zie toelichting bij tabel 7.5.
- b) geanalyseerde monsters: Bl = bloed, Bo = bot, Ha = hart; He = hersenen, L = lever, M = melk, Mi = milt, N = nier, T = testis, V = vlees, Z = zwezerik.
- c) onderstreepte gemiddelde gehalten: groep monsters waarin in één of meerdere monsters een Hg-gehalte is aangetoond die de LAC-norm van 1983 overschrijdt; voor toelichting zie tekst.
- d) LAC-normvoorstel geldend voor dierlijke produkten van rund en varken; eerste voorstel dateert uit 1979 (T('79)), tweede voorstel uit 1983 (T('83)).

7.3.2 Bespreking van de resultaten

De kwikgehalten in vlees ($\leq 0,005$ mg/kg v.p.) en melk ($\leq 0,002$ mg/kg v.p.) zijn voor zowel de controlegroepen als de proefgroepen laag te noemen. In lever zijn de kwikgehalten hoger ($\leq 0,037$ mg/kg v.p.) en de hoogste concentraties worden aangetroffen in de nier ($\leq 0,36$ mg/kg v.p.).

De kwikgehalten in vlees, levers en nieren van de controlegroepen zijn, met uitzondering van de mestlammeren, vergelijkbaar met de mediaanwaarden gevonden in het VREK-signaleringsprogramma (143 t/m 146).

De gehalten in vlees liggen ruimschoots onder de LAC-norm (Richtnorm T) van 1979 en slechts één vleesmonster uit de groep mestlammeren gehouden in de weide, die kwik in oplosbare vorm kregen toegediend overschrijdt met een gehalte van 0,10 mg/kg v.p. de LAC-norm van 1983. Er is geen verschil in het kwikgehalte van vleesmonsters uit de voor-, midden- en achterhand (153).

Hoewel een zichtbare verhoging in het kwikgehalte van de lever heeft plaatsgevonden voldoen alle monsters aan de norm van 1979.

Drie levermonsters van de op stal gehuisveste mestlammeren die kwik in oplosbare vorm, in havenslib en in rioolslib kregen toegediend, overschrijden met gehalten van 0,052, 0,055 en 0,056 mg/kg v.p. de LAC-norm van 1983.

Het grootste aantal overschrijdingen van de LAC-norm voor nier van 1983 zijn waarneembaar bij het overdrachtsonderzoek met mestlammeren: alle niermonsters (24 stuks) overschrijden de norm van 1983 (spreiding: 0,12-0,51 mg/kg v.p.). Eén niermonster afkomstig van de op stal gehuisveste groep mestlammeren, gevoerd met kwik in oplosbare vorm, overschrijdt zelfs de norm van 1979 (9,51 mg/kg v.p.).

Overdracht van kwik vanuit het voer kan alleen bij de nier en de lever worden geconstateerd (148,151,152,153). De mate van overdracht kan voor lever en nier worden gerelateerd aan het kwikgehalte in het totale rantsoen.

Bij melkkoeien vindt de grootste overdracht (naar lever en nier) plaats bij toediening van kwik in de vorm van opgelost acetaat (148). Bij vleesstieren komen de lever- en niergehalten aan kwik van oplosbare verbindingen (OV) goed overeen met die van de proefgroep havenslib (H). Er vindt geen overdracht plaats naar vlees (148,151),

andere organen dan lever en nier (148,152,153), bloed (148) en bot (148,152). De in de diverse organen gevonden gehalte aan kwik, komen grotendeels overeen met die in vlees.

Enige overdracht naar melk kan worden waargenomen bij toediening van kwik in de vorm van haven- en rioolslib (148). De gehalten in melk liggen echter ruimschoots onder de ontwerpnorm van 0,01 mg/kg van het Ministerie van WVC.

7.4 Conclusies

In tabel 7.7 worden de resultaten van het VREK-programma en het overdrachtsonderzoek met elkaar vergeleken voor rundvlees, rundernier en runderlever.

Tabel 7.7 Een vergelijking van het VREK-signaleringsonderzoek en het IVVO-RIKILT-overdrachtsonderzoek voor rundvlees, rundernier en runderlever.

Dierlijke Produkt	VREK-programma spreiding in de mediaanwaarden (mg/kg v.p.)	IVVO-RIKILT-overdrachtsonderzoek ^a , spreiding in de gemiddelde waarden (mg/kg v.p.)	
		controlegroep	proefgroep
rundvlees	< 0,001 - 0,004	0,001 - 0,004	0,001 - 0,005
rundernier	0,005 - 0,006	0,005 - 0,014	0,020 - 0,079
runderlever	0,001 - 0,002	0,002 - 0,008	0,008 - 0,026
kwikgehalte rantsoen ^b (mg/kg/dag)	praktijkomstan- digheden	< 0,02	0,045 - 0,18

Bron: VREK-gegevens (143 t/m 146); overdrachtsonderzoek (148,151,152)

N.B. a Het overdrachtsonderzoek betreft het onderzoek met melkkoeien (148,151) en met vleesstieren (152). De weergegeven gemiddelde waarden betreffen gecombineerde gegevens van beide studies: controlegroep = groep C; proefgroep = groep OV, H en R (zie paragraaf 7.3).

b Kwikgehalte van rantsoen betrokken op een vochtgehalte van 12% (= 88% droge stof).

Een kwikgehalte van minder dan 0,02 mg per kg voer (12% vocht) per dag leidt volgens deze gegevens tot gehalten van kwik in het vlees die

overeenkomen met de mediaanwaarden gevonden in het VREK-signaleringsonderzoek (0,001 - 0,004 mg/kg). De gemiddelde gehalten gevonden in de nier en de lever zijn bij hetzelfde rantsoen hoger dan de gevonden mediaanwaarden in het VREK-programma, ofschoon de gehalten nog wel binnen het traject van de kwikgehalten betrokken op alle VREK-monsters zijn gelegen (zie tabel 7.2).

Een verhoogd kwikgehalte in het dagelijkse rantsoen (0,045 - 0,18 mg/kg) leidt ten opzichte van de contrôlegroep niet tot een hoger kwikgehalte van het vlees. Er treedt echter wèl een duidelijke verhoging op in het kwikgehalte van de lever en (vooral) van de nier. Een significante overdracht vanuit het voer naar de lever en de nier is geconstateerd bij toediening van extra kwik in de vorm van opgelost acetaat en in de vorm van havenslib (kwikgehalte van het rantsoen respectievelijk 0,09 - 0,11 mg/kg en 0,07 - 0,18 mg/kg).

Vooralsnog zijn de kwikgehalten in de verschillende dierlijke producten, gevonden onder praktijkomstandigheden (VREK-onderzoek), niet alarmerend: richtnormen worden niet en aktiegrenzen worden nauwelijks overschreden (zie tabel 7.2). Bij blootstelling van landbouwhuisdieren aan verhoogde kwikgehalten in het voer zullen lever en nier de eerste organen zijn waarin verhoogde kwikgehalten kunnen worden aangetroffen. Enige voorzichtigheid moet worden betracht bij de blootstelling van deze dieren op plaatsen waar hogere kwikgehalten in het voer worden aangetroffen (uiterwaarden, havenslibpolders) (zie paragraaf 6.2).

Hoofdstuk 8 EXPOSITIE VAN DE MENS

Samenvatting

Door de FAC/WHO is in 1972 de aanvaardbare opname van kwik via de buitenlucht, het drinkwater en het voedsel gesteld op 300 µg per persoon per week, waarvan niet meer dan 200 µg in de vorm van methyلكwik aanwezig mag zijn.

De blootstelling aan kwik in de buitenlucht en in drinkwater is laag. Gaat men uit van een gemiddeld kwikgehalte in de buitenlucht van 10 ng/m³ (1974; zie hoofdstuk 4) en een ademhalingsvolume van 20 m³ lucht per dag dan bedraagt de blootstelling 1,4 µg per persoon per week (waarvan ca. 80% wordt opgenomen). Het kwikgehalte van het uitgaande water van de Nederlandse pompstations was in 1983 kleiner dan 0,05 µg/l. Bij een consumptie van gemiddeld 2 l water per persoon per dag is dit een blootstelling aan maximaal 0,7 µg kwik per persoon per week.

De blootstelling aan kwik via het voedsel bedraagt bij een gemiddeld voedselpakket ca. 8,8 µg per persoon per dag (61,6 µg per persoon per week) waarvan ca. 1,6 µg per dag in de vorm van methyلكwik. Uitgaande van dit voedselpakket van een gemiddelde samenstelling is een eenmalige overschrijding van de aanvaardbare opname van 43 µg per persoon per dag vrijwel uitgesloten en een systematische overschrijding in zijn geheel uitgesloten (uitgaande van de maximale kwikgehalten in voedingsmiddelen over de periode 1972-1982).

Uit onderzoek naar het kwikgehalte in dagmenu's blijkt dat de gemiddelde hoeveelheid kwik in een dagmenu 5-8 µg kwik bedraagt (mediaan 4-6 µg). In dagmenu's is een maximale hoeveelheid kwik van 92 µg gevonden (1978). Hieruit blijkt dat de aanvaardbare dagelijkse opname via het voedselpakket wel overschreden kan worden. Met name bij een hoge zoetwatervis-consumptie kan de aanvaardbare opname overschreden worden, waarbij de aanvaardbare opname voor methyلكwik eerder overschreden wordt dan die voor totaalkwik. Uit onderzoek uit 1974 naar het kwikgehalte in het bloed en het haar van een deel van de Nederlandse bevolking bleek, dat de norm voor het kwikgehalte in het bloed (20 µg/l) bij een lage (zoetwater)visconsumptie al overschreden werd.

Het kwikgehalte in vis is sinds 1974 weliswaar gedaald (met ca. 50% (globale indicatie, zie hfdst. 5)) maar het is niet uitgesloten dat door een hoge (zoetwater)visconsumptie de aanvaardbare waarden (ADI en kwikgehalte in bloed) nog overschreden kunnen worden.

De aanvaardbare wekelijkse opname is gebaseerd op volwassen personen. Het prenatale leven is veel gevoeliger voor methyلكwik-intoxicatie, zodat vrouwen tijdens en voor een zwangerschap als verhoogde risicogroep moeten worden beschouwd. In een onderzoek uit 1974 werd een kwikgehalte in het haar van 1 persoon gevonden, waarbij al teratogene effecten kunnen optreden. Deze persoon consumeerde veel vis, waaronder zoetwatervis.

Uit recent onderzoek blijkt dat er, afhankelijk van omstandigheden, aanzienlijke hoeveelheden kwik uit amalgaamvullingen kunnen vrijkomen. Hoeveel van dit vrijgekomen kwik wordt opgenomen is nog niet bekend. Verder onderzoek is wel gewenst.

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de blootstelling van de mens aan kwik via de lucht, het drinkwater en het voedsel besproken. Door de FAO/WHO is in 1972 een aanvaardbare opname door de mens voorgesteld van 300 µg per persoon per week, waarvan niet meer dan 200 µg als methyلكwik aanwezig mag zijn (resp. 43 en 28 µg/dag (ADI-waarden)). Deze hoeveelheden gelden voor volwassen personen en komen overeen met respectievelijk 5 en 3,3 µg per kg lichaamsgewicht (10).

Uit recent onderzoek blijkt dat amalgaamvullingen ook een bijdrage aan de kwikexpositie van de mens kunnen leveren (154). In de uitgeademde lucht van mensen met amalgaamvullingen zijn kwikgehalten tot 85,5 µg/m³ gevonden (zie tabel 8.1). Het kwikgehalte in de uitgeademde lucht is afhankelijk van de conditie van het contactoppervlak van de vullingen en de lucht en kan daardoor sterk variëren en beïnvloed worden door bijvoorbeeld eten en tandenpoetsen.

In hoeverre het kwikgehalte van de uitgeademde lucht een maat is voor het kwikgehalte van de ingeademde lucht is niet bekend. Uit metingen waarbij het kwikgehalte na uitademing via de mond en via de neus is bepaald blijkt dat een groot deel van het kwik in de longen geabsor-

beerd wordt (13 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij uitademing via de mond en 0,2 - 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij uitademing via de neus) (154).

De blootstelling aan kwik door amalgaamvullingen is afhankelijk van de hoeveelheid lucht die door de mond geïnhaleerd wordt. Dit kan zowel per persoon als in de tijd sterk variëren. Op grond van de beschikbare informatie kan geconcludeerd worden dat de bijdrage aan de blootstelling met kwik uit amalgaamvullingen groot kan zijn, maar dat verder onderzoek meer inzicht moet geven in de werkelijke blootstelling. In dit rapport is de blootstelling aan kwik uit amalgaamvullingen niet opgenomen in de bepaling van de expositie van de mens.

Tabel 8.1 Kwikgehalte in de uitgeademde lucht door amalgaamvullingen

Kwikconcentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Opmerking	referentie
0,2 - 28 (gemiddeld 3,1)	167 personen met amalgaamvullingen, voor het tandenpoetsen	Patterson e.a. 1985 (154)
0,1 - 62 (gemiddeld 8,2)	104 personen met amalgaamvullingen en 2 zonder, na het tandenpoetsen	Patterson e.a. 1985 (154)
0,008 - 0,1 (gemiddeld 0,06)	5 personen zonder amalgaamvullingen	Patterson e.a. 1985 (154)
0,1; 0,2; 1,0; 2,1 (gemiddeld 0,85)	4 personen met amalgaamvullingen	Stock 1939
0,1 - 2,61 (gemiddeld 0,88)	40 personen met amalgaamvullingen	Svare e.a., 1981
0,08 - 85,5 (gemiddeld 11,7)	idem, na 10 minuten kauwen op kauwgom	Svare e.a., 1981

Bron: ref. 154

8.2 Expositie via de lucht, het drinkwater en het voedsel

8.2.1 Expositie via de buitenlucht

Bij een kwikgehalte in de buitenlucht van 10 ng/m^3 (hoofdstuk 4) en een ademhalingsvolume van 20 m^3 per dag bedraagt de expositie aan kwik via de buitenlucht 200 ng per persoon per dag ofwel 1,4 μg per persoon per week (waarvan ca. 80% in het lichaam opgenomen wordt). De atmosfeer is de enige expositie bron voor metallisch kwik (2).

In 1976 is door de GG & GD van de gemeente Amsterdam in samenwerking met het Coronel-Laboratorium een bevolkingsonderzoek onder vrouwen uitgevoerd om na te gaan of de kwikuitstoot van een fabriek in Amsterdam-Noord leidt tot een verhoogde blootstelling aan kwik van de direkt omwonenden (155). Hiervoor is van 94 vrouwen uit Amsterdam het kwikgehalte in het bloed bepaald (waarvan 49 binnen een straal van 1 km van het lozingspunt woonden, de overige minstens 3 km verwijderd). Omdat visconsumptie tot een verhoogd kwikgehalte in het bloed kan leiden zijn alleen vrouwen onderzocht die maximaal eenmaal per week vis consumeerden. Uit dit onderzoek bleek dat er geen bijdrage van de kwikopname door de emissie kon worden aangetoond. De mediaan van het kwikgehalte bedroeg 2,2 µg/l en is vergelijkbaar met de resultaten uit ander onderzoek in Nederland (zie tabel 8.5).

8.2.2 Expositie via het drinkwater

Het kwikgehalte van het uitgaande water van de Nederlandse pompstations was in 1983 kleiner dan 0,05 µg/l (62). Neemt men aan dat het kwikgehalte op de aftappunten eveneens kleiner dan 0,05 µg/l is en dat gemiddeld 2 l water per persoon per dag geconsumeerd wordt (2) dan is de dagelijkse opname kleiner dan 0,1 µg/persoon dag ofwel 0,7 µg/persoon week. Over de speciatie van kwik in drinkwater is vrij weinig bekend, maar aangenomen wordt dat het voornamelijk in de vorm van Hg^{2+} aanwezig is (3).

8.2.3 Expositie via het voedsel

De blootstelling aan kwik via het voedsel kan worden bepaald door uit te gaan van de gemiddelde samenstelling van het voedselpakket en de gemiddelde kwikgehalten daarvan of door het totaal voedselpakket van een geselecteerde groep mensen te onderzoeken. In het eerste geval worden de verschillen in het voedselpakket, de eetgewoonten van de afzonderlijke personen en de spreiding in de kwikgehalten van het voedsel weggemiddeld, in het tweede geval ontstaat een beeld van de spreiding in de opname van de afzonderlijke personen en het gehalte in de verschillende voedingsmiddelen na bereiding daarvan.

Door CIVO-TNO is van juni 1976 tot juli 1978 het voedselpakket van 16- tot 18-jarige mannelijke personen op een groot aantal stoffen

waaronder kwik onderzocht (156). In 51 van de 144 onderzochte monsters werd kwik gevonden. De maximum opname bedroeg 25 µg/dag bij een mediaan van 5 µg/dag. Door het RIV zijn in de zomer van 1976 en het begin van 1978 100 dagmenu's van volwassenen onderzocht. De mediaan opname bedroeg resp. 6 en < 5 µg/persoon dag met een maximum van 92 µg/persoon dag (157). In tabel 8.2 zijn de gecombineerde resultaten weergegeven.

Tabel 8.2 Kwik in dagmenu's (156,157).

		hoeveelheid kwik (µg)		
		med.	gem.	max.
CIVO-TNO	1976-1978	4	5	25
RIV	1976	6	8	
RIV	1978	< 5	- *	92

* Geen gemiddelde berekend omdat het kwikgehalte in een groot aantal monsters beneden de detectiegrens lag.

Door de Hoofdinspectie voor de Volksgezondheid en de Keuringsdienst van Waren is een lijst met de gemiddelde gewogen samenstelling van het Nederlandse voedselpakket samengesteld. Uitgaande van deze lijst en het gemiddelde kwikgehalte van de verschillende produkten kan een totale gemiddelde blootstelling van 8,8 µg/persoon dag worden berekend. In tabel 8.3 is deze lijst, de gemiddelde kwikgehalten en de blootstelling weergegeven. Ter vergelijking is een lijst met maximale kwikgehalten van de verschillende voedingsmiddelen in de periode 1972-1982 opgenomen. (Over het algemeen zijn geen jaarlijkse bepalingen uitgevoerd. Deze lijst geeft dus de hoogste waarden die gemeten zijn weer.) Bovendien zijn in tabel 8.3 de gemiddelde gehalten en de spreiding in de gehalten van een aantal produktklassen uit het CIVO-TNO dagmenu-onderzoek opgenomen. Deze gehalten zijn bepaald na de bereiding van de betreffende produkten voor consumptie. Daarnaast zijn de meest recente gegevens over de kwikgehalten in Nederlandse produkten en de ontwerpnormen voor de diverse produkten in tabel 8.3 opgenomen. Uit de tabel blijkt dat de gemiddelde blootstelling volgens deze methode berekend redelijk overeenkomt met de blootstelling bepaald op basis van dagmenu's (tabel 8.2). De maximale theoretische blootstel-

ling op basis van de hoogst gemeten kwikgehalten in de periode 1972-1982 is van dezelfde orde-grootte als de aanvaardbare dagelijkse opname van de mens via het voedsel. Dat de maximale blootstelling zelfs nog iets onder de aanvaardbare dagelijkse opname ligt, betekent dat op basis van het in tabel 8.3 beschreven voedselpakket de kans op een eenmalige opname van ca. 40 µg erg klein is en de kans op een dagelijkse opname van ca. 40 µg uitgesloten is.

Tabel 8.3 Gemiddelde en maximale blootstelling aan kwik door de voeding bij een gemiddeld voedselpakket

Levensmiddel	Dagelijkse consumptie (g)	Gemiddelde kwikgehalte ¹ (µg/kg)	Blootstelling (µg) ¹	Hoogste kwikgehalte periode 1972-1982 ³	Theoretisch maximale blootstelling (µg) periode 1972-1982	Gemiddelde kwikgehalte menu's	Spreiding kwikgehalte dag-menu ⁴	Gemiddelde kwikgehal-ten Neder-landse produkten	(Ontwerp) norm ¹² (µg/kg)
graanprodukten	161	10	1,6	30	4,8	5	5-20	5-8 ⁵	30
aardappelen	166	4	0,7	8	1,3	8	5-20	3 ³	20
groenten	153			40 *	6,1	5	5-10	0,3-1,8 ⁵	30
peulvruchten	4	3	0,5	6	0,0				30
fruit	160	1	0,2	8	1,3			1,1-1,4 ⁵	10
noten	10	5	0,0	10	0,1				
koffie	15			20	0,3				
thee	1	1	0,0	2	0,0				
cacao	8			2	0,0				
suiker	100	1	0,1						
plantaard. vetten	56	5	0,3			-	6-9		
bier	220	0	0,0	0	0,0				
wijn, gedestill.	41	5	0,2	0	0,0				
tot. plantaardig			3,6		13,9				
vlees	144,5			57	8,2				
nier	1	11	1,6	140	0,1		5-10	1-75 ⁶	50
lever	4,5			38	0,2			1-280 ⁶	100
melk	420	3	1,3	14	5,8			1-38 ⁷	50
melkprodukten								0,07 ⁸	10
kaas	24	10	0,2	2				0,28 ⁸	
zoetwatervis	14	0,2 ²	120	1,7	2400	0,5		220-490 ⁹	
zeevis		14,2 ²			700	9,8	70	90-140 ¹⁰	1000
schaal- en schelpd.	2			200	0,4			50-60 ¹¹	
eieren	29	10	0,3	8	0,2			< 5 ⁶	30
Tot. dierlijk			5,2		25,2				
totaal			8,8		39,1				

* exclusief geconserveerde champignons (zie tekst)

- 1 bron: ref. 158
- 2 bron: ref. 159
- 3 bron: ref. 33
- 4 bron: ref. 156
- 5 bron: dit rapport, periode 77-79 (tabel 6.11)
- 6 bron: dit rapport, periode 70-83 (tabel 7.2)
- 7 bron: ref. 160, 1984
- 8 bron: ref. 160, 1984, melkpoeder
- 9 bron: dit rapport, periode 77-84, aal en snoekbaars monitoring programma Nederlandse Visserijprodukten (tabel 5.22)
- 10 bron: idem, tong, kabeljauw, haring
- 11 bron: idem, mossel, garnaal
- 12 bron: ref. 165

Het in tabel 8.3 beschreven gemiddelde voedselpakket en de daaruit berekende blootstelling aan kwik via het voedsel geeft geen garantie dat de aanvaardbare dagelijkse opname van 43 µg/persoon dag niet overschreden wordt door personen of groepen met een van tabel 8.3 afwijkend voedselpatroon. Zo is met het oog op de hoge consumptie van zeewier in sommige jaargetijden (5-15%) door mensen met een macrobiotische voeding een onderzoek naar o.a. kwik in zeewiersoorten uitgevoerd (161). In één zeewiersoort (Hiziki) werd een mediaangehalte van 70 µg/kg (maximum 90 µg/kg) gevonden. Ook de invloed van geconserveerde voedingsmiddelen is niet uit tabel 8.3 af te leiden. Zo is in geconserveerde champignons een gemiddeld kwikgehalte van 26 µg/kg met een maximum van 110 µg/kg gevonden tegen een gemiddelde van 11 µg/kg met een maximum van 17 µg/kg in verse champignons (33). Uit tabel 8.3 blijkt echter dat een hoog kwikgehalte in het genoemde voedselpakket waarschijnlijk geen aanleiding zal geven tot een onaanvaardbaar hoge opname. De 92 µg kwik in het dagmenu uit het RIV-onderzoek is bijvoorbeeld niet te verklaren uit het gepresenteerde voedselpakket.

Kijkt men naar de hoeveelheid geconsumeerde produkten en de blootstelling per produktsort dan is de hoogste belasting afkomstig van graanprodukten, vleeswaren en vis. Van deze produkten is de hoeveelheid geconsumeerde vis, met name de zoetwatervis, erg laag. Hieruit blijkt duidelijk dat een verhoogde visconsumptie direkt zal leiden tot een verhoogde kwikopname.

Om de aanvaardbare wekelijkse opname van kwik te overschrijden zou echter ruim 1400 gram aal per week moeten worden geconsumeerd (gemiddelde kwikgehalte 230 µg/kg; tabel 5.22). Gaat men uit van de aanvaardbare opname van methyلكwik (200 µg/persoon week) dan zou bij een methyلكwikgehalte in vis van 90% ca. 1000 gram aal per week kunnen worden geconsumeerd. Voor snoekbaars (gemiddeld 460 µg kwik/kg) wordt de aanvaardbare opname van methyلكwik bereikt bij een consumptie van 500 gram per week. In hoeverre er personen of bevolkingsgroepen in Nederland zijn met een dergelijk hoge zoetwatervis-consumptie is niet bekend.

Voor zover bekend wordt alleen bij een hoge visconsumptie de aanvaardbare opname van methyلكwik van 200 µg/persoon week (28 µg/persoon dag) eerder overschreden dan de aanvaardbare opname van totaalkwik van 300 µg/persoon week (43 µg/persoon dag). Uit monitoring-, overdrachts-

onderzoek en literatuurgegevens is geschat dat de methyلكwikbelasting ten gevolge van consumptie van dierlijke produkten (excl. aquatische organismen) nog geen 10% van de totale blootstelling aan methyلكwik bedraagt (resp. 0,15 en 1,55 µg per dag). Het methyلكwikgehalte in vlees, lever, nier en eieren bedraagt resp. ca. 20%, 35%, 6% en 50% (159).

De aanvaarbare opname geldt in principe voor volwassen personen. Omdat het prenatale leven gevoeliger is voor methyلكwikintoxicaties (naar schatting 2-5 maal zo gevoelig (22)) moeten zwangere vrouwen als verhoogde risikogroep beschouwd worden. Methyلكwik wordt langzaam uit het lichaam geëlimineerd zodat dit ook geldt in de periode voor een zwangerschap. Bepaald men de aanvaarbare opname van kwik per kg lichaamsgewicht, dan moet de aanvaarbare opname voor kinderen evenredig naar het lichaamsgewicht berekend worden. In beide gevallen wordt de aanvaarbare opname van kwik verlaagd en kan bij een hogere zoetwatervisconsumptie de aanvaarbare opname van methyلكwik overschreden worden. Bij zwangere vrouwen zou dit al het geval zijn bij consumptie van 200-500 g aal per week of bij 100-250 g snoekbaars. Voor kinderen van 15 kg lichaamsgewicht wordt de aanvaarbare opname van methyلكwik al bereikt bij een wekelijkse consumptie van 250 g aal of 125 g snoekbaars.

8.3 Kwikgehalten in bloed en haar

Een andere methode om de blootstelling van de mens aan kwik te evalueren berust op de bepaling van het kwikgehalte in het bloed. Het kwikgehalte in het bloed wordt als een maat voor recente blootstelling beschouwd (155). In Nederland zijn een aantal van dergelijke onderzoeken uitgevoerd waarbij onder andere ook naar het effect van visconsumptie en van de atmosferische kwikemissie uit een puntbron op het kwikgehalte in het bloed gekeken werd (30,161,162). Tussen de kwikemissie via een puntbron en het kwikgehalte in het bloed werd geen verband gevonden, maar wel tussen de visconsumptie en het kwikgehalte in het bloed. Dit laatste is ook in buitenlands onderzoek gevonden. Over het algemeen zijn kwikgehalten in het bloed in het Nederlands onderzoek laag in vergelijking met buitenlandse gegevens. Voor het

kwikgehalte in bloed wordt 200 µg/l beschouwd als grens waarboven intoxicaties kunnen optreden. Door een veiligheidsfactor van 10 in te voeren heeft de FAO/WHO gesteld dat een bloedspiegel van 20 µg/l aanvaardbaar is (10).

Uit tabel 8.4 blijkt dat deze waarde bij een lage visconsumptie (maximaal 1 x per week) al overschreden kan worden. Bij het onderzoek naar de relatie tussen visconsumptie en het kwikgehalte in bloed is bij een aantal personen ook het kwikgehalte in het hoofdhaar bepaald (tabel 8.4). Het kwikgehalte in het haar is een indikator voor chronische expositie aan alkylkwikverbindingen. Uit de tabel blijkt dat mensen die veel vis eten een hoger kwikgehalte in het haar hebben, maar de absolute waarden zijn niet hoog. De eerste symptomen van alkylkwikvergiftiging kunnen optreden bij een kwikgehalte in het hoofdhaar van volwassenen van ca. 200 µg/g. Bij één persoon werd een kwikgehalte in het haar van 13,2 µg/g gevonden (en een kwikgehalte in het bloed van 40,5 µg/l). Deze persoon consumeerde veel vis. Teratogene effecten kunnen al optreden bij een kwikgehalte in het haar van de moeder van 10 - 20 µg/g (zie hoofdstuk 1).

Uit dit onderzoek bleek ook dat het kwikgehalte in het haar waarschijnlijk door uitwendige contaminatie met kwikbevattende shampoo verhoogd kan worden (30) (In shampoo en crèmes met non-ionogene werking is een fenylkwikgehalte van 30 ppm toegestaan (23)).

8.4 Conclusies

De blootstelling aan kwik van de Nederlandse bevolking via de lucht, het water en het voedsel bedraagt gemiddeld ca. 5-10 µg/persoon dag. Een incidentele overschrijding van de aanvaardbare opname van 43 µg/persoon dag kan voorkomen en is eerder het gevolg van een van het gemiddelde voedselpakket afwijkende samenstelling dan van een van het gemiddelde afwijkend kwikgehalte van het geconsumeerde voedsel. Bij een hoge zoetwatervis-consumptie is een systematische overschrijding van de aanvaardbare opname mogelijk, waarbij de aanvaardbare opname voor methyلكwik (28 µg/persoon dag) eerder overschreden wordt dan voor totaal kwik. In hoeverre er personen en/of groepen onder de Nederlandse bevolking zijn die een dergelijk hoge zoetwatervis-consumptie vertonen is niet bekend.

De aanvaardbare opname van kwik is gebaseerd op volwassen personen van 60 kg lichaamsgewicht. Omdat prenataal leven gevoeliger voor methyلكwik is moeten vrouwen voor en tijdens een zwangerschap als bevolkingsgroep met een verhoogd risico beschouwd worden. Bij kinderen waarvan de hoeveelheid geconsumeerd voedsel per kg lichaamsgewicht groot is kan de aanvaardbare opname van kwik, met name van methyلكwik, berekend per kg lichaamsgewicht relatief eerder overschreden worden.

Uit onderzoek naar het kwikgehalte in bloed blijkt dat bij een zoetwatervisconsumptie van maximaal 1x per week het aanvaardbare kwikgehalte in het bloed van 20 µg/l al overschreden kan worden. Uit onderzoek naar het kwikgehalte in het haar werd bij één persoon een kwikgehalte van 13,2 µg/g gevonden (en een kwikgehalte in het bloed van 40,5 µg/l). Deze persoon consumeerde veel vis, waaronder zoetwatervis. Teratogene effecten kunnen al optreden bij een kwikgehalte in het haar van 10-20 µg/g.

Uit onderzoek naar het kwikgehalte in de uitgeademde lucht blijkt dat amalgaamvullingen een grote bijdrage aan de expositie van de mens kunnen leveren. Bij sommige personen werd een kwikgehalte boven de MAC-waarde (50 µg/m³) gevonden. In dit rapport is geen schatting gemaakt van de opname van kwik uit amalgaamvullingen, omdat er nog

onvoldoende inzicht is in de hoeveelheid kwik uit de vullingen die met de ingeademde lucht wordt opgenomen. Bij de samenstelling van een controlegroep bij epidemiologisch onderzoek moet voorlopig wel rekening worden gehouden met opname van kwik uit de vullingen. Mogelijk moeten bestaande resultaten geherinterpreteerd worden.

Literatuur

1. Wallace, R.A., W. Fulkerson, W.D. Shults, W.S. Lyon
Mercury in the environment: The Human element ORNL-NSF. Environmental program, 1971.
2. US Environmental Protection Agency
Mercury Health Effects Update: Health Issue Assessment - Final Report. Report no. EPA-600/8-84-019F, August 1984.
3. d'Itri, F.M.
The environmental mercury problem. CRC Press, 1972.
4. Beneš, P., B. Havlik
Speciation of mercury in natural waters. In: The biochemistry of mercury in the environment, Ch. 8. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 175-202, 1979.
5. Matheson, D.H.
Mercury in the atmosphere and in precipitation. In: The biochemistry of mercury in the environment, Ch. 5. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 113-130, 1979.
6. Andren, A.W., J.O. Nriagu, ed.
The global cycle of mercury. In: The Biogeochemistry of mercury in the environment, Ch. 1. Topics in environmental health, Vol. 3, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, pp. 1-22, 1979.
7. Zegers, P., R.H. van Enk
Environment and quality of life. On the origin, behaviour and movement of environmental mercury in Europe. A literature survey. Commission of the European communities, Eur. 5660e, Luxembourg, 1977.
8. Groot, A.J. de, J.J.M. de Goeij, C. Zegers
Contents and behaviour of mercury as compared with other heavy metals in sediments from the rivers Rhine and Ems. Geologie en Mijnbouw, Vol. 50 (3), pp. 393-398, 1971.
9. Andersson, A.
Mercury in soils. In: The biochemistry of mercury in the environment, Ch. 4. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 79-112, 1979.
10. WHO
Environmental health criteria 1. Mercury, Geneva, 1976.
11. Junge, C.E.
Basic considerations about trace constituents in the atmosphere as related to the fate of globale pollutants. In: Fate of pollutants in the air and water environments. Part 1. Ed. I.H. Suffet. Advances in environmental science and technology, Vol. 8, pp. 7-25, 1977.

12. Iverfeldt, A., O. Lindquist
Distribution equilibrium of methyl-mercury-chloride between water and air. Atmospheric environment. Vol. 16, no. 12, p. 2917-2925, 1982.
13. Okouchi, S., S. Sasaki
The measurement of the distribution equilibrium constant of metallic mercury for $Hg_{(aq)} = Hg_{(gas)}$. Bull.Chem.Soc.Jpn. 54, 2821-2822, 1981.
14. Okouchi, S., S. Sasaki, Y. Harano
The mercury volatilisation rate from water to the atmosphere. Bull.Chem.Soc.Jpn. 57 (2), pp. 338-340, 1984.
15. Bisogni Jr., J.J.
Kinetics of methyl mercury formation and decomposition in aquatic environments. In: zie ref. 3.
16. Lexmond, Th.M., F.A.M. de Haan, M.J. Frissel
On the methylation of inorganic mercury and the decomposition of organo-mercury compounds - a review. Neth.J.Agric.Sci. 24, pp. 79-97, 1976.
17. Beyer, K., A. Jernelöv
Methylation of mercury in aquatic environments. In: The biochemistry of mercury in the environment, Ch. 9. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 203-210, 1979.
18. Huckabee, J.W., J.W. Elwood, S.G. Hildebrand
Accumulation of mercury in fresh water biota. In: The biochemistry of mercury in the environment, Ch. 12. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 277-302, 1979.
19. Luten, J.B., A. Ruiter, T.M. Ritskes, A.B. Rauchbaar, G. Riekwel-Booy
Mercury and selenium in marine and fresh water fish. J. of food science, Vol. 45 (3), p. 416-419, 1980.
20. Biddinger, G.R., S.P. Gloss
The importance of tropic transfer in the bioaccumulation of chemical contaminants in aquatic ecosystems. Residue Reviews, Vol. 91, p. 103-143, 1984.
21. Friberg, L., J. Vostal
Mercury in the environment, an epidemiological appraisal. CRC press, 1972.
22. Piotrowski, J.K., D.O. Coleman
Environmental hazards of heavy metals: summary evaluation of lead, cadmium and mercury. Monitoring and Assessment Research Centre, Chelsea College, 1980.

23. Léonard, A., P. Jacquet, R.R. Iauwerys
Mutagenicity and teratogenicity of mercury compounds, Mutation Research 114, pp. 1-18, 1983.
24. Kazantzis, G.
Mercury. In: Metals in the environment, Ch. 8. Ed. H.A. Waldron. Academic Press, pp. 221-261, 1980.
25. Chang, L.W.
Pathological effects of mercury poisoning. In: The biogeochemistry of mercury in the environment. Ch. 20. Ed. J.O. Nriagu. Topics in environmental health, Vol. 3. Elsevier/North Holland Biomedical Press, pp. 519-580, 1979.
26. Robinson, J.B., O.H. Tuovinen
Mechanisms of microbial resistance and detoxification of mercury and organomercury compounds. Micr. Reviews, Vol. 48 (2), pp. 95-124, June 1984.
27. Hamer, J.A. van den, H.W. Prins, J.L. Nooyen
Metallothioneïne beschermt zich tegen zware metalen. Chemisch Magazine, pp. 258-261, April 1984.
28. Komsta-Szumaska, E., D.R. Miller
A kinetic analysis of the interaction between methylmercury and selenium. Toxicology 33, pp. 229-238, 1984.
29. Airey, D.
Mercury in human hair due to environment and diet. Environmental Health Perspectives, Vol. 52, pp. 303-316, 1983.
30. Tonkelaar, G.M. den
Kwik in bloed en haar van de Nederlandse bevolking. In: "Vormt de kwikbelasting van de mens in Nederland een probleem?" Kwik colloquim, 1974. RIV-rapport no. 114/74, Tox., 1974.
31. WHO (1980)
Recommended Health-based Limits in Occupational Exposure to heavy metals, Technical Report Series 647, World Health Organisation Geneva, 116 pp.
32. CBS
Kwik in Nederland 1980. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1984.
33. Het contaminantenboekje, 1984
Een overzicht van stoffen die drink- en eetwaren verontreinigen. Staatsuitgeverij, pp. 24-27, 1984.
34. Organisation for Economic Cooperation and Development
Mercury and the environment. Studies of mercury use, emission, biological impact and control. OECD Paris, 1974.
35. Adam, K., P. Jöncke, H. Gattner, E. Zirngiebl
Quecksilber. In: Ullmanns Encyclopädie der Technischen Chemie 4 - Neubearbeitete und erweiterte auflage. Band 19, Verlag chemie GmbH, Weinheim, pp. 643-671, 1980.

36. Organisation for Economic Cooperation and Development
Measures to reduce all man-made emissions of mercury to the environment, 1982, Information exchange on Mercury - Summary report. OECD, Paris, 1985.
37. The environmental impact on mercury contained in primary batteries, Europile, 1983.
38. Gorter, J. (CBS)
Persoonlijke mededeling, 1985.
39. Theunissen, W.J., J.W. Copius Peereboom, P. Bos
Kwik, een balans voor Nederland over 1974. Instituut voor Milieuvraagstukken - Vrije Universiteit van Amsterdam, 1976.
40. Copius Peereboom, J.W.
In: Chemie, mens en milieu. Hoofdstuk 9: Kwik. Van Gorcum, Assen, 1976.

42. Witte, F.
(Afval)stroom uit batterijen. Chemiewinkel, Rijksuniversiteit Groningen, 1984.
43. CBS
Waterkwaliteitsbeheer. Deel A: Lozing van afvalwater, 1981. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1984.
44. Kolstee, W.J. (Emissieregistratie)
Persoonlijke mededeling, 1985.
45. Concept IMP-water 1985-1989 (juli 1985).
46. Jones, C.J., P.J. McGugan, P.F. Lawrence
An investigation of the degradation of some dry cell batteries under domestic waste landfill conditions.
Journal of Hazardous Materials, 2, pp. 259-289, 1977/1978.
47. Kooper, W.F.
Vuilstortplaatsen en hun effect op de kwaliteit van het grondwater - een literatuurstudie. RID-mededeling 83-5, 1983.
48. IVA
Jaarverslag 1983.
49. Duvoort-van Engers, L.E.
Zuiveringsslib, produktie, bestemming en kwaliteit 1976-1980. H₂O (16), nr. 25, p. 586-588, 1983.
50. Hinkamp, W. (1983)
Zuiveringsslib als afvalstof - verslag van een stage-onderzoek bij de Stichting Centrum Milieubeheer Zuid-Holland naar de problematiek van het zuiveringsslib in Nederland en in Zuid-Holland. Stichting Centrum Milieubeheer, 1983.

51. Unie van Waterschappen
Jaaroverzicht 1980-1981 van de Begeleidingscommissie Richtlijn zuiveringsslib.
52. Unie van Waterschappen
Overzicht april 1981-december 1982 van de Begeleidingscommissie Richtlijn zuiveringsslib.
53. Unie van Waterschappen
Jaaroverzicht 1983 van de Begeleidingscommissie Richtlijn zuiveringsslib.
54. Unie van Waterschappen
Richtlijn voor de afzet van vloeibaar zuiveringsslib ten behoeve van gebruik op bouw- en grasland, 1980 + wijzigingsbesluit 1984.
55. IB-Jaarverslag 1983
56. Paul, P.G., J.A. Somers, D.W. Scholte Ubing
Belasting van de bodem in Nederland met zware metalen. De Ingenieur, nr. 8, pp. 15-19, 1981.
57. Coördinatie Commissie Berging Baggerspecie
Verwerking van baggerspecie uit havens en vaargeulen van Zuid-Holland. Deel A: Voorlopig Beleidsplan, 1980.
58. Zware metalen in sedimenten van de Waddenzee. Waterloopkundig Laboratorium, M1839, juli 1983.
59. Gemeente Rotterdam, Rijkswaterstaat & Openbaar Lichaam Rijnmond
Projectnota/Milieu-effectrapport: grootschalige locatie voor de berging van baggerspecie uit het benedenriviereengebied. Gemeentedrukkerij Rotterdam, 1984.
60. van de Meent, D., J. van Oosterwijk, T. Aldenberg
RID-VEWIN meetnet regenwater 1978-1982. Deel 1: Samenvatting en statistische bewerking van de meetresultaten. ECOWAD-84-01, RIVM, 1984.
61. Brinkman, F.J.J.
Meetnet regenwaterkwaliteit. H₂O nr. 21, pp. 474-476, 1978.
62. Minderhoud, A.
Persoonlijke mededeling. RIVM, 1985.
63. Vermeulen, A.J., G. Ellerbroek
Enige oriënterende metingen van het totaal-kwikgehalte van de buitenlucht in de provincie Noord-Holland (1974). Provinciale Waterstaat van Noord-Holland. Haarlem, 1975.
64. Niet-gepubliceerde gegevens Interuniversitair Reactor Instituut Delft.
65. Bruin, M. de
Onderzoek met behulp van korstmossen naar de luchtverontreiniging met zware metalen in de Kempen. IRI report 13385-16, 1985.

66. Wallin, T.
Deposition of airborne mercury from six swedish chlor-alkali plants surveyed by moss analysis. Environ.Poll. 10, pp. 101-115, 1976.
67. Lodenius, M., E. Tulisalo
Environmental mercury contamination around a chloor-alkali plant. Bull.Environm.Contam. Toxicol. 32, pp. 439-444, 1984.
68. Galloway, J.N., J.D. Thornton, S.A. Norton, H.L. Volchok, R.A.N. McLean
Trace metals in atmospheric deposition: a review and assessment. Atmospheric Environment, Vol. 16, no. 7, pp. 1677-1700, 1982.
69. Centraal Bureau voor de Statistiek
Algemene Milieustatistiek 1979-1982, p. 25, 1983.
70. Paroubek, Z.A.
Luchtemissie bij thermische behandeling van de brandbare fractie. Milieutechniek nr. 1, pp. 10-11, 1985.
71. De waterkwaliteit van de Rijn in Nederland in de periode 1970-1981. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 82-061, 1982.
72. De waterkwaliteit van de Rijn in Nederland, supplement 1983. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 84-097, 1984.
73. De waterkwaliteit van de Maas in Nederland in de periode 1953-1980. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 81-048, 1981.
74. De waterkwaliteit van de Maas in Nederland in de periode 1981-1984. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Directie Limburg, Notanr. 85-07, 1985.
75. De waterkwaliteit van de Westerschelde in de periode 1964-1981. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 82-063, 1982.
76. De waterkwaliteit van de Noordzee, 1975-1982. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 83-084, 1983.
77. De waterkwaliteit van de Waddenzee 1971-1981. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater. Notanr. 82-065, 1982.
78. Zware metalen in aquatische systemen, bijlage 1 Geothermische inventarisatie. Waterloopkundig Laboratorium, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. TNO-Maatschappelijke Technologie.
79. Joint Monitoring Programme 1983. The Netherlands. Rijksinstituut voor Zuivering Afvalwater, augustus 1984.
80. Gegevens verstrekt door het RIZA.

81. Inventarisatie kwaliteit van waterbodems, deel I. Concept verslag R2120. Waterloopkundig Laboratorium, 1985.
82. Metaalbelasting van afgezette sedimenten in het Haringvlietbekken sinds de afsluiting in 1970. IB/Waterloopkundig Laboratorium, rapport 1702.
83. Zware metalen en fosfor in afgezet slib in het Rotterdamse havengebied en enkele zoetwaterlokaties ten oosten en zuiden daarvan in 1979-1980. IB/Waterloopkundig Laboratorium, rapport M1717.
84. Beschrijving waterkwaliteit in het IJsselmeergebied. Nota ZZWB-N-76007.
85. Concept rapport Miveos
Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, 1985.
86. Zware metalen in aquatische systemen. Overzicht van het onderzoek en conclusies. TNO-MT, IB, WL, 1984.
87. Zware metalen in sedimenten van de Waddenzee. Waterloopkundig Laboratorium Delft. M1839, 1983.
88. Pieters, H., J. Speur, N. Wassenaar
Total mercury content in fish from Dutch waters in relation to biological parameters and pollution level. International council for the exploration of the sea. Marine Environmental Quality Committee, CM1983/E:19, 1983.
89. LAC-Jaarverslag 1981.
90. Vos G. (RIKILT)
Persoonlijke mededeling, 1985.
91. Goor, B.J. van (IB)
Persoonlijke mededeling, 1985.
92. Pieters, H., N. Wassenaar, J. Geerdes.
Totaal kwikbepaling (RIVO-methode) en een kwikonderzoek in rode aal uit Nederlandse oppervlaktewateren. Rijksinstituut voor Visserijonderzoek IJmuiden, CA 81-03, 1981.
93. Vaessen, H.A.M.G., A. van Ooik, J. Zuydendorp, K. Tolsma en Dr. P.L. Schuller
De aal (*Anguilla anguilla*) als graadmeter voor de belasting van het aquatisch milieu met arseen, seleen, koper, kwik, mangaan en zink. Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, rapport no. 176/80 LCLO, 1980.
94. Driel, W. van & K.W. Smilde
Heavy metal contents of Dutch arable soils. Landwirtsch. Forsch. 1981, p. 305-313, 1982.
95. Edelman, Th.
Achtergrondgehalten van een aantal anorganische en organische stoffen in de bodem van Nederland, een eerste verkenning. Bodembescherming 34, 56 pp. + bijlagen, 1983.

96. Tjioe, P.S., J.J.M. de Goeij & J.P.W. Houtman
Extended automated separation techniques in destructive NAA application to various biological materials including human tissues and blood. Proceed. 5th International Conference on Modern Trends in Activation Analyses. München, 1976. Uit ref. 94.
97. Hatch, W.R. & W.L. Ott
The Determination of submicrogram quantities of mercury with atomic absorption spectrafotometry. Analytical Chemistry 40, 1968. Uit ref. 95.
98. Bakker, H. de & J. Schelling
Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. PUDOC, Wageningen, 1966. Uit ref. 95.
99. McKeague, H.A. & M.S. Wolynetz
Background levels at minor elements in some Canadian soils. Geoderma 24, p. 299-307, 1980. Uit ref. 93.
100. Ministerie van VROM
Toetsingstabel voor de beoordeling van de concentratieniveaus van diverse verontreinigingen in de bodem. Leidraad Bodemsanering, afl. 1, juli 1983.
101. Heidinga, M.C., J.H. Koeman, J.J.M. de Goeij, C. Zegers, J.H.P. Verweij, W. van Driel & A.J. de Groot
Onderzoek naar de accumulatie van kwik in de uiterwaarden van de Rijn. TNO-nieuws 26, p. 382-385, 1971.
102. Van de Ven, W.S.M., J. Gerbens, W. van Driel, J.J.M. de Goeij, P.S. Tjioe, C. Holzhauer & J.H.P. Verweij
Spoorelementgehalten in koeien uit gebieden langs Rijn en IJssel. Landbouwk. Tijdschr. 89, p. 262-269, 1977.
103. Poelstra, P., M.J. Frissel, N. van der Klugt & D.W. Bannink
Accumulation and distribution of mercury in Dutch soils. Neth.J.Agric.Sci. 21, p. 77-84, 1973.
104. Melton, R.J. et al.
Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 35, p. 850-851, 1971. Uit ref. 103.
105. Driel, W. van
Contaminanten in havenslib-samenstelling van de bovenlaag van 22 loswallen. IB Haren, maart 1980. 50 pp. + bijlagen + aanvullende gegevens, 1980.
106. Provinciale Waterstaat van Noord-Holland
Dienst voor de Milieuhygiëne. Een oriënterend onderzoek naar het voorkomen van enkele bestrijdingsmiddelen en hun omzettingsprodukten in een zandige bodem aan de Kadijk te Heemstede, december 1983.
107. TAUW
Technisch Adviesbureau van de Unie van Waterschappen B.V. Rapport: "Onderzoek naar de aanwezigheid van residuen van gewasbeschermingsmiddelen op voormalige bloembollenpercelen Elsbroeker End en het Gemeentelijk Volkstuinencomplex te Hillegom" in opdracht van Openbare Werken Hillegom, 1984.

108. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Voorlopige samenvatting van resultaten van een inventarisatie van cadmium en lood in gewas en grond op tarwepercelen in Nederland. Discussievoorbeeld en uitwerking.
IB-Nota 91, 28 pp. + bijlagen, 1980.
109. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid
Voorlopige samenvatting van resultaten van een inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in vruchten en grond op appelboompercelen in Nederland.
IB-Nota 100, 43 pp. + bijlagen, 1982.
110. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in grond van appelboompercelen in Nederland: aanvulling van de resultaten in Nota 100.
IB-Nota 112, 21 pp. + bijlagen, 1982.
111. IB
Voorlopige samenvatting van resultaten van een inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. III. Aardappelpercelen.
IB-Nota 101, 28 pp. + bijlagen, 1982.
112. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen in Nederland: aanvulling van de resultaten in Nota 101. IIIA. Aardappelpercelen.
IB-Nota 134, 18 pp. + bijlage, 1984.
113. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. IV. Spinazie.
IB-Nota 104, 28 pp. + bijlagen, 1982.
114. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. I. Tarwepercelen.
IB-Nota 107, 38 pp. + bijlagen, 1982.
115. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. V. Glaskomkommerpercelen.
IB-Nota 111, 15 pp. + bijlagen, 1982.
116. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. VI. Waspeen.
IB-Nota 114, 29 pp. + bijlagen, 1983.
117. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. VII. Gerst.
IB-Nota 118, 28 pp. + bijlagen, 1983.

118. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. VIII. Kastomaatpercelen.
IB-Nota 124, 14 pp. + bijlagen, 1984.
119. IB
Inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland. IX. Kassla.
IB-Nota 128, 14 pp. + bijlagen, 1984.
120. Salomons, W. & A.J. de Groot
In: Krumbein, Wolfgang E. Environmental biogeochemistry and geomicrobiology, Vol. I: The Aquatic Environment. Ann. Arbor Sci., Mich., p. 149-162, 1978. Uit ref. 105.
121. Frank, R., K. Ishida & P. Suda
Metals in agricultural soils of Ontario.
Can.J.Soil Sci. 56, p. 181-196, 1976. Uit ref. 116.
122. Kick, H., H. Bürger & K. Sommer
Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr, und Co in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden Nordrhein-Westfalens.
Landwirtsch. Forsch. Sonderh. 33, p. 12-21, 1980. Uit ref. 114.
123. Brüne, H. & R. Ellinghaus
Schwermetallgehalte in landwirtschaftlich genutzten Ackerböden Hessens.
Landwirtsch. Forsch. Sonderh. 38, p. 338-349, 1982. Uit ref. 117.
124. Hoffmann, G., P. Schweiger, W. Scholl & R. Schmid
Grundbelastung der Böden von Baden-Württemberg mit Schermetallen.
Landwirtsch. Forsch. Sonderh. 38, p. 324-327, 1982. Uit ref. 112.
125. Wimmer, J. & E. Haunold
Untersuchungen über den Quecksilbergehalt österreichischer Böden mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse. Bodenkultur 24, p. 25-30, 1973. Uit ref. 117.
126. Andersson, A.
Grundförbättring 20, p. 95, 1967. Uit ref. 113.
127. Temmerman, L.O. de, J.R. Istas, M. Hoenig, S. Duprie, G. Ledent, H. van Elsen, H. Baeten & A. de Meijer
Onderzoek naar de "normale" gehalten aan spoorelementen in een aantal Belgische bodems als basis voor de detectie en het onderzoek van bodemvervuiling. Landbouwtijdschrift nr. 2, Jg. 35, maart-april 1982. Uit ref. 95.
128. Turekian, K.K. & K.H. Wedepohl
Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Am. Bull. 72, p. 175, 1981. Uit ref. 94.
129. Vinogradow, A.P.
Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth crust. Geochemistry, 641, 1982. Uit ref. 94.

130. Ministerie van WVC
Bewakingsprogramma "Mens en Voeding"
VAR 1983
131. Aichberger, K.
Quecksilbergehalte von Getreide und Marktgemüse.
Bodenkulture 27, 4, p. 369-375, 1976. Uit ref. 118.
132. Barudi, W.K. & H.J. Bielig
Gehält an Schwermetallen (Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber) in
overirdisch wachsenden Gemüse und Obstarten.
Z. Lebensm. Unters. Forsch. 170, p. 254-257, 1980. Uit ref. 118.
133. Cross, J.D., I.M. Dale, E.H. Smith & L.B. Smith
Dietary mercury in the Glasgow area.
J. Radioanal. Chem. 48, p. 159-167, 1978. Uit ref. 118.
134. Gomez, M.I. & P. Markalis
Mercury content of some foods.
J. Food Sci. 39, p. 673-675, 1974. Uit ref. 114.
135. Koivistoinen, P.
Mineral element composition of Finnish foods.
Acta Agric. Scand. Suppl. 22, p. 1-71, 1980. Uit ref. 114.
136. Loman, H.
Enige literatuurwaarden van gehalten aan cadmium, lood, kwik en
arsen in voedingsmiddelen.
IB-Nota 70, 29 pp, 1979. Uit ref. 116.
137. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food
Working party on monitoring of foodstuffs for mercury and other
heavy metals. First report: survey of mercury in food.
Her Majesty's Stationary Office London, 1971. Uit ref. 117.
138. Ocker, H.D. & A.G. Hack
Toxische Schwermetalle in Getreide.
Getreide, Mehl, Brot 28, p. 305-308, 1975. Uit ref. 114.
139. Quinche, J.P. & V. Dvorak
La mercure dans des végétaux et des sols de Suisse.
Romand. Rech. Agron., Suisse 14, p. 323-337, 1975. Uit ref. 113.
140. Roorda van Eijsinga, J.P.N.L.
Het gehalte aan zware metalen in sla geteeld onder glas. Een
voorlopige oriëntatie. Naaldwijk, 1976. Uit ref. 119.
141. Varo, P. M. Nuurtano, E. Saari & P. Koivistoinen
III. Annual variations in the rivieral element composition of
cereal grains.
Acta Agric. Scand. Suppl. 22, p. 27-36, 1980. Uit ref. 117.
142. Duyvenbouden, W. van (RIVM, Leidschendam)
Persoonlijke mededeling, april 1985.

143. Veen, N.G. van der & A.W. Hoff
Gehalten aan lood, cadmium, kwik en arseen in monsters vlees en organen van runderen en varkens. RIKILT-Verslag 81.58, 1981 (Discussienota).
144. Veen, N.G. van der
Gehalten aan lood, cadmium, kwik en arseen in monsters vlees en organen van runderen, varkens, schapen en pluimvee, alsmede eieren. RIKILT-Verslag 82.30, 1982.
145. Veen, N.G. van der, et al.
Gehalten aan lood, cadmium, kwik en arseen in monsters vlees en organen van runderen, varkens, schapen en pluimvee, bemonsterd in 1982 en vergeleken met de resultaten over 1981. RIKILT-Verslag 83.30, 1983.
146. Vos, G.
Gehalten aan lood, cadmium en kwik in monsters vlees en organen van runderen, varkens, schapen en pluimvee, bemonsterd in 1983 en vergeleken met resultaten over voorgaande jaren. RIKILT-Rapport 84.38, 1984.
147. Veen, N.G. van der
Gehalten aan cadmium, lood, kwik en arseen in vlees, lever en nieren van paarden en kalveren. RIKILT-Verslag 83.26, 1983.
148. Vreman, K. & N.G. van der Veen
Overdracht van cadmium, lood, kwik en arseen bij melkkoeien gevoerd met oplosbare verbindingen of met havenslib of rioolslib. Rapport IVVO no. 148 (1982).
149. Heidinga, M.C., J.H. Koeman, J.J.M. de Goeij, C. Zegers, J.H.P. Verweij, W. van Driel, A.J. de Groot
Onderzoek naar de accumulatie van kwik in de uiterwaarden van de Rijn. TNO-nieuws 26, p. 382-384, 1970.
150. Ven, W.S.M. van de, J. Gerbens, W. van Driel, J.J.M. de Goeij, P.S. Tjioe, C. Holzhauer, J.H.P. Verweij
Spoorelementgehalten in koeien uit gebieden langs Rijn en IJssel. Landbouwkundig Tijdschrift 89, p. 262-269, 1977.
151. Vreman, K. & W.G. de Ruig (IVVO-RIKILT)
Orale toediening met het voer van arseen, lood, cadmium en kwik aan melkkoeien en jonge vleesstieren: gehalten aan deze metalen in voeders en dierlijke produkten. Documentatierapport no. 63 (Samenvatting van de voordracht Studiedag Voedingsfysiologisch onderzoek op vrijdrag 11 januari 1980 in het IAC te Wageningen), 1980.
152. Veen, N.G. van der & K. Vreman
Overdrachtsonderzoek van cadmium, lood, kwik en arseen vanuit diervoeders, waaraan oplosbare verbindingen, havenslib of rioolslib zijn/is toegevoegd, naar dierlijke produkten van vleesstieren (IVVO-RIKILT, "proefplan C/D). RIKILT-Verslag 82.59, 1982.

153. Veen, N.G. van der & K. Vreman
Overdracht van lood, cadmium, kwik en arseen van diervoeders naar dierlijke produkten van mestlammeren (IVVO-RIKILT "proefplan E/F"). RIKILT-Verslag 81.33, 1981.
154. Patterson, J.E., B.G. Weissberg, P.J. Dennison
Mercury in human breath form dental amalgams.
Bull. Environm. Contam. Toxicol. 34, pp. 459-468, 1985.
155. del Castilho, P.
Het voorkomen van kwik in bloed bij vrouwen in verschillende stadsdelen van Amsterdam; relevantie van de kwikuitwerp van een fabriek in Amsterdam-Noord. Coronel Laboratorium, U.v.A., 1976.
156. de Vos, R.H., W. van Dokkum, P.D.A. Olthof, J.K. Quirijs, T. Muys, J.M. van der Poll
Pesticides and other chemical residues in Dutch total diet samples (june 1976-july 1978). *Fd.Chem.Tox.*, Vol. 22, no. 1, pp. 11-21, 1984.
157. RIV (nu RIVM)
Uit ref. 32.
158. Hoofdinspectie voor de Volksgezondheid voor de levensmiddelen en de keuring van waren.
159. van der Veen, N.G.
Voorkomen van methylkwik in producten van dierlijke oorsprong. RIKILT - Lab. zware metalen. Verslag 81.80, 1981.
160. Koops, J., D. Westerbeek
Mercury in milk and milk products, 2. The mercury content of milk, milk powder and cheese produced in the Netherlands. *Neth. Milk.Dairy.J.* 38, pp. 241-249, 1984.
161. Luten, J.B.
Sporelementen in voor de consumptie bestemde zeevieren. *Voeding*, 44, nr. 7, pp. 202-236, 1983.
162. LAC-Jaarverslag 1983
163. Normstelling voor zware metalen in oppervlaktewater. Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, 1984.
164. Tonkelaar, E.M. den, G.J. van Esch, B. Hofman
Onderzoek naar kwik-, lood-, cadmium-, arseen- en seleengehalte in bloed van de Nederlandse bevolking (4e Interimrapport). RIV rapportno. 125/76. *Tox.* 1976.
165. Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur
Ontwerpnormen voor cadmium, lood en kwik, 1983.
166. Onderzoek centrale stortplaats Openbaar Lichaam Vuilverbranding Twente.
IVA-rapport SVA/2030, 1976 (uit ref. 32).
167. Spijk, S.J., W. Enterman
Onderzoek naar een monster percolatiewater op metalen. Rapport CL-TNO, CL 76/64, 1976 (uit ref. 32).