

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN

Rapport nr. 714801005

**De kwaliteit van het grondwater op een diepte  
tussen 5 en 30 meter in Nederland in het jaar 1992  
en de verandering daarvan in de periode 1984-1993**

G. van Drecht, H.F.R. Reijnders, L.J.M. Boumans,  
W. van Duijvenbooden

april 1996

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Drinkwater, Water en Landbouw en Directie Bodem. Opdrachtbrief nr. BWS/05N5416, dd. 1985-12-11, project Monitoring bodem- en grondwaterkwaliteit (MAP-nummer 714801, mijlpaal 21)

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,  
tel. 030 - 274 91 11; fax. 030 - 274 29 71

**VERZENDLIJST**

1	DGM/Directie Drinkwater, Water, Landbouw - drs. G.J.E. Al
2	DGM/Bodem - mr. A.B. Holtkamp
3	plv. DG Milieubeheer - dr.Ir.B.C.J. Zoeteman
4	Directoraat-Generaal Milieubeheer (DGM), Directie Strategische Planning.
5	DGM/DWL, Hoofdafdeling Landbouw - ir. J. v.d. Kolk
6	DGM/DWL, Hoofdafdeling Drinkwater - ir. G.W. Ardon
7	Ir. J. van Vliet (DGM/DWL)
8	Ing. A. Balnikker (DGM/DWL)
9	Drs. M.M. Dorenbosch (DGM/DWL)
10	Ir. A. Roos (DGM/DWL)
11	Ir. J.G. Robberse (DGM/Bo)
12	Dr. J. Roels (DGM)
13	Ir. W. Cramer (DGM)
14	Directeur KIWA
15	Directeur AB-DLO Wageningen
16	Directeur Staring Centrum DLO Wageningen
17	Directeur IGG-TNO Delft
18	Directeur Centrum Landbouw en Milieu Utrecht
19	Directeur Centrum Milieustudies Wageningen
20	Directeur Centrum voor Milieukunde, RUL
21	Prof. dr. ir. R.A. Feddes (LUW)
22	Prof. dr. ir. C. van den Akker (TUD)
23	Prof. dr. P.A. Burrough (UU)
24	Dr. ir. J. Hoeks (SC-DLO)
25-36	Kontaktgroep meetnetten grondwaterkwaliteit
37	Ir. J. Taat (LGM, Delft)
38	Ir. H.A.M. Thunnissen (projektgroep LGN, SC-DLO, Wageningen)
39	Ir. C.G.E.M. van Beek (KIWA)
40	Drs. P.K. Baggelaar (KIWA)
41	Drs. C.A.J. Appelo (VU)
42	Dr. P.J. Stuijzand (KIWA)
43	Dr. G. Frapporti (IWACO)
44	Dr. ir. G. Loch (UU)
45	Drs. S.P. Vriend (UU)
46	Drs. P.F.M. Gaans (UU)
47	Ir. T.N. Olsthoorn (GWA, Vogelensang)
48	Ir. J.H.A.M. Steenvoorden (Staringcentrum-DLO)
49	Ir. F.R. Goossensen (Heidemij Advies)
50	Dr. ir. H.A.J. van Lanen (LUW)
51	Ir. S. van der Schaaf (LUW)
52	Dr. ir. Tj.A. Buishand (KNMI)
53	Ing. M. Juhazs (WML)
54	Ing. A.A. Peeters (Bilthoven)
55	Drs. T. Csengö (WMD)
56	Prof. dr. ir. W.H. van der Molen (Renkum)
57	Dr. D.J.G. Nota (LUW)
58	Drs. A.M.G. Bakker (LUW)
59	Ing. B. van der Weert (LUW)
60	Drs. G.J.W. Krajenbrink (Lab Oost)
61	J. Boland
62	Drs. P.C. Meeuwissen (Heidemij Advies)
63	Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
64	Directie RIVM - prof. ir. N.D. van Egmond
65	Directeur sector V RIVM - ir. F. Langeweg
66	Directeur sector III RIVM - dr. H.A. van 't Klooster

67	Hoofd Bureau MNV, RIVM - drs. R.J.M. Maas
68	Hoofd LBG, RIVM - ir. R. van den Berg
69	Hoofd LWD, RIVM - ir. A.H.M. Bresser
70	Hoofd LAC, RIVM - ir. H. van der Wiel
71	Hoofd LAE, RIVM - drs. L.H.M. Kohsiek
72	Hoofd LLO, RIVM - dr. D. Onderdelinden
73	Dr. ir. D. van Lith (LLO)
74	Dr. J.A. Hoekstra (BMV)
75	Ing. B. Kusse (LAE)
76	W. Schipper (WNK)
77	Dr. L.C. Braat (MTV)
78	Drs. R.J. van der Velde
79	Ir. C.R. Meinardi
80	Drs. E.J. Pebesma
81	Ir. T.J.M. Thewessen
82	Dr. ir. J.W. de Kwaadsteniet
83	Drs. W.J. Willems
84	Dr. ir. J.J.B. Bronswijk
85	D. Wever
86	Ir. B. Fraters
87	Ing. J.D. Kunst
88	Ing. H.F. Prins
89	Ir. J.H.C. Mülschlegel
90	Ir. R. Lieste
91	Ir. G.J. Heij
92	Ir. J.F.M. Versteegh
93	W.H. Willemsen
94	H.L.J. van Maaren
95	R. Jeths
96	Ing. L.F.L. Gast
97	Ir. E.C. van Swinderen
98	G. Kapsenberg
99	Drs. A. Tiktak
100	Drs. C. van Heerden
101	W. van Reemst
102	H. Breukers
103	Drs. J.G. Nienhuis
104	Dr. W. Slob
105	Dr. D. van der Meent
106	Ir. K. Kovar
107	Drs. A. van der Giessen
108	Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations RIVM
109	Bureau Rapportenregistratie
110-111	Bibliotheek RIVM
112-125	Auteurs
126-200	Bureau Rapportenbeheer
200-250	Reserve exemplaren

**INHOUD**

VERZENDLIJST	ii
INHOUD	iv
VOORWOORD	vi
ABSTRACT	vii
SAMENVATTING	viii
1. INLEIDING	1
2. GEGEVENSBEWERKING	3
2.1 Landelijk meetnet en provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit	3
2.2 Klassificatie van de waarnemingen	5
2.3 Berekeningen	10
3. RESULTATEN	15
3.1 Chloride	15
3.2 pH	17
3.3 Sulfaat	19
3.4 Aluminium	22
3.5 Stikstof	24
3.5.1 Nitraat	25
3.5.2 Ammonium	27
3.6 Fosfor	29
3.7 Kalium	31
3.8 Spoorelementen	33
3.8.1 Arseen	35
3.8.2 Lood	36
3.8.3 Chroom	37
3.8.4 Nikkel	38
3.8.5 Cadmium	40
3.8.6 Zink	41
3.8.7 Koper	42
4. CONCLUSIES	44

Lijst van begrippen en afkortingen	50
Literatuur	51
Bijlagen:	53
1 Figuren	54
2 Verandering van de grondwaterkwaliteit	118

## **VOORWOORD**

De volgende collega's hebben waardevolle bijdragen geleverd aan dit onderzoeksrapport:

Hans de Kwaadsteniet, Edzer Pebesma, Hans Bronswijk, Reinier van den Berg, Herman Prins (beheer gegevensbestand LMG), Jan Kunst (geografische gegevens), Cees van Heerden (tekenprogramma XY)

**ABSTRACT**

The National Groundwater Quality Monitoring Network was set up by the RIVM in the period 1979-1984. Since 1984 groundwater has been sampled every year at about 400 locations at depths of about 10 and 25 metres below land surface. After 1989 the number of locations increased because several Provincial Groundwater Quality Networks joined the National Network. In 1992 groundwater has been sampled at about 600 locations. About 25 chemical components and some physical properties were measured. Information on sampling depth, soil type and land use and region in the Netherlands was used to classify the data into groups.

This study resulted in estimates of mean concentrations and areal percentages of target value exceedance for the year 1992 and target value exceedance per region presented in the form of maps. The change in groundwater quality per group and region in the period 1984-1993 is also investigated. Correlation analysis was used to examine the relationship between concentrations and time.

## SAMENVATTING

In het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit wordt vanaf 1984 jaarlijks op circa 400 locaties grondwater bemonsterd op diepten van ca 10 en 25 m -mv. Sinds 1989 groeit het aantal locaties door de inrichting en de bemonstering van de provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit. In 1992 werden grondwatermonsters genomen op ongeveer 600 locaties. Van de monsters werden enkele fysische eigenschappen en de concentraties van ongeveer 25 componenten gemeten.

De waarnemingen werden in groepen ingedeeld op basis van de bemonsteringsdiepte (filterdiepte), grondgebruik, grondsoort, grondwatertrap en gebied. Twee diepteniveaus zijn onderscheiden: 1) het ondiepe grondwater tussen 5 en 15 m -mv en 2) het diepe grondwater tussen 15 en 30 m -mv. Onderzocht zijn de gemiddelde waarde van de grondwaterkwaliteit en het percentage waarnemingen boven de streefwaarde voor grondwater. Per fysisch-geografisch gebied en per eco-district zijn geschatte percentages oppervlakte boven de streefwaarde in kaartvorm gepresenteerd. De verandering van de grondwaterkwaliteit in de meetperiode 1984-1993 is gekwantificeerd als het verschil tussen de waarnemingen in 1984 en 1993. Voor de zandgebieden is het verloop in de tijd van de grondwaterkwaliteit weergegeven. De relatie tussen de grondwaterkwaliteit en de tijd is nader onderzocht op lineaire samenhang.

### Grondwaterkwaliteit in 1992

*Regionale eigenschappen* van gebieden, zoals hoogteligging, mariene invloed, organische stof en klei in de ondergrond zijn bepalend voor de grondwaterkwaliteit. De concentraties aan Cl, NH<sub>4</sub>, P, K en Cr zijn in het noorden en westen van het land van nature hoger dan in de zandgebieden. In enkele uitzonderlijke gevallen worden deze componenten in hoge concentraties aangetroffen in het zuiden en oosten van het land.

De *diepte* van het grondwater is een factor van betekenis. De concentraties aan SO<sub>4</sub>, Al, NO<sub>3</sub>, K, Ni, Cd en Zn zijn in het diepe grondwater i.h.a. lager dan in het ondiepe grondwater. De *pH* is in het diepe grondwater hoger dan in het ondiepe grondwater. *Kalium* komt in het ondiepe grondwater in de zandgebieden in hogere concentraties voor dan in het diepe grondwater. Dit wijst op uitspoeling van kalium. In het ondiepe grondwater onder landbouwgronden zijn ook hoge percentages waarnemingen boven de drinkwaternorm voor kalium gevonden. De hoge concentraties kunnen veroorzaakt zijn door de intensivering van het landbouwkundig grondgebruik gedurende de laatste 40 jaar.



Behalve in het westen en noorden van het land komen verhoogde *kalium-*, *ammonium-* en *fosfaat*concentraties voor in het grondwater onder bebouwd op zand (stedelijk gebied). Lekkende riolen en andere punt- en lijnbronnen zijn hiervan mogelijk de oorzaak.

De *pH*, *sulfaat-*, *aluminium-* en *nitraat*concentraties zijn ook aan elkaar gerelateerd. In het ondiepe grondwater van de hogergelegen delen van de zandgebieden is de *pH* lager en zijn de concentraties van  $\text{SO}_4$ , Al en  $\text{NO}_3$  hoger dan in het diepe grondwater. Dat zijn gevolgen van verzuring, die zich in het ondiepe grondwater van de kwetsbare gebieden eerder manifesteren.

Het algemene beeld van de gemiddelde *aluminium*concentratie vertoont veel overeenkomst met dat van de *pH*. De hoge gemiddelde concentraties in het grondwater van de zandgebieden blijken gekoppeld te zijn aan lage *pH*-waarden. De hoge percentages oppervlakte boven de drinkwaternorm in het ondiepe grondwater van de zandgebieden worden toegeschreven aan verzuring. De lage percentages oppervlakte boven de drinkwaternorm voor aluminium in het diepe grondwater hangen samen met de hogere *pH*-waarden. Deze hogere *pH*-waarden worden verklaard door de langere verblijftijden in het diepe grondwater.

In het ondiepe grondwater onder gras, maïs en akkerbouw op zand komen hogere *nitraat*concentraties voor. Met uitzondering van maïs op zand is de gemiddelde concentratie in het diepe grondwater duidelijk lager dan de streefwaarde. In het ondiepe grondwater van de zandgebieden is 10-35% van de waarnemingen boven de streefwaarde. In het noordelijk zandgebied is het percentage het laagst en in het zuidelijk zandgebied is het percentage het hoogst. In het diepe grondwater in het noordelijk en zuidelijk zandgebied zijn de percentages waarnemingen boven de streefwaarde het laagst en in het oostelijk en centraal zandgebied zijn de percentages het hoogst.

De concentraties aan *spoorelementen* in het grondwater liggen in het algemeen rond of onder de streefwaarden. Dit is niet bijzonder, aangezien de streefwaarden mede zijn bepaald op grond van de waarnemingen in het grondwatermeetnet. Uitzonderingen zijn de concentraties aan Cd, Ni en Zn, die vaak de streefwaarden overschrijden in het ondiepe grondwater van de hoger gelegen delen van het zuidelijk zandgebied. Dit wordt verklaard uit de combinatie van de factoren kwetsbaarheid, zuurgraad in het grondwater en diffuse belasting van de bodem in dit gebied.

### **Verandering van de grondwaterkwaliteit in de periode 1984-1993**

Bij hogere concentraties is in het algemeen ook de variatie in de concentraties groter. Voorbeelden hiervan zijn Cl, P en  $\text{NH}_4$ , met in het westen van het land hogere concen-

traties en tegelijk grotere variatie. Bij de pH en  $\text{NO}_3$  is de variatie in de concentraties in de zandgebieden juist groter dan in het westen van het land.

Voor nitraat wordt geconcludeerd dat het percentage waarnemingen boven de streefwaarde in het ondiepe grondwater van het oostelijk en het centraal zandgebied in de laatste vijf jaar hoger is dan in de vijf jaar daarvoor. In het diepe grondwater van het centraal zandgebied is het percentage de laatste jaren hoger dan daarvoor.

Het verschil in grondwaterkwaliteit tussen 1984 en 1993 en de lineaire samenhang tussen de grondwaterkwaliteit en de tijd is onderzocht. Op basis hiervan zijn duidelijke veranderingen vastgesteld voor:

Chloride en wel *daling* van de concentraties in

- het ondiepe en diepe grondwater onder maïs op zand (resp. 14 en 6  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar),
- het ondiepe grondwater onder gras op zand (10  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar),
- het ondiepe grondwater in het zuidelijk en het oostelijk zandgebied (resp. 9 en 10  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar).

Nitraat en wel *stijging* van de concentraties in

- het ondiepe grondwater van het centraal zandgebied (1,9  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar).

Kalium en wel *stijging* van de concentraties in

- het diepe grondwater van Nederland (0,5  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar).

De gemiddelde veranderingen zijn echter meestal klein in vergelijking tot de streefwaarden.

In zowel ondiep als diep grondwater zijn slechts weinig duidelijke veranderingen in de gemiddelde grondwaterkwaliteit gevonden. Stijging en daling van de grondwaterkwaliteit komt wel op verschillende locaties voor, maar binnen een groep of gebied zijn er vaak grote verschillen, zodat het groeps- of gebiedsgemiddelde niet duidelijk verandert. Het onderzoeken van veranderingen in de grondwaterkwaliteit op een ruimtelijk gedetailleerder niveau kan de diagnose van oorzaken van de veranderende grondwaterkwaliteit mogelijk verbeteren (zie bijvoorbeeld Pebesma en De Kwaadsteniet, 1995). Weergave van de grondwaterkwaliteit op een regionale of nationale schaal heeft tot doel te onderkennen welke ontwikkeling zich in de grondwaterkwaliteit voordoet en tegelijk een grondslag te vormen voor het advies over de richting, waarin verbetering mogelijk is. Een dergelijke richtingsbepaling moet daarom van toepassing zijn op grotere oppervlakten, omdat een naar iedere locatie gedifferentieerde aanpak niet hanteerbaar is.

## 1. INLEIDING

### Algemeen

In het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit worden sinds 1979 gegevens verzameld over de grondwaterkwaliteit op twee diepteniveaus (10 en 25 meter -mv). Alle onderzoeksactiviteiten vinden plaats in het project "Monitoring bodem- en grondwaterkwaliteit". De meetresultaten werden tot voor kort jaarlijks per provincie gepubliceerd (zie overzicht rapporten blz. 50). De meetresultaten zijn beschreven in diverse onderzoeksrapporten en in algemene milieukwaliteitsrapportages, waarvan de volgende titels de belangrijkste zijn:

- Grondwaterkwaliteit in Nederland (Duijvenbooden et al. 1989)
- Milieudiagnose 1991 (RIVM, 1992)
- Milieurapportage 1993 (RIVM, 1994)
- CCRX-jaarverslagen 1992, 1993, bijdragen diepe grondwaterkwaliteit
- Landelijk beeld grondwaterkwaliteit, methode en resultaten voor nitraat (Drecht et al., 1994)
- Een landsdekkend beeld van de Nederlandse grondwaterkwaliteit (Pebesma en De Kwaadsteniet, 1994)
- Een landsdekkend beeld van de verandering in de Nederlandse grondwaterkwaliteit op 5 tot 17 meter diepte: een vooruitblik (Pebesma en De Kwaadsteniet, 1995)

In de eerste vier rapporten wordt de grondwaterkwaliteit beschreven m.b.v. klassiek-statistische methoden. Het voorliggende rapport is een vervolg daarop. De laatste twee rapporten zijn gebaseerd op een combinatie van klassieke statistiek en geostatistiek, waarin de ruimtelijke samenhang van grondwaterkwaliteitsvariabelen wordt gemodelleerd en benut om ruimtelijk gedetailleerde grondwaterkwaliteitskaarten te maken.

### Processen, die de grondwaterkwaliteit kunnen beïnvloeden

Diffuse belasting van de bodem is de ruimtelijk gespreide toevoer van stoffen aan het bodemoppervlak door atmosferische depositie of door het gebruik van dierlijke mest, kunstmest of bestrijdingsmiddelen. Door inspoeling, activiteiten van grond dieren en grondbewerking worden de stoffen vermengd met de bovengrond. Afhankelijk van hun eigenschappen worden stoffen verdeeld over de vaste bodemdelen (sorptie) en het bodemvocht.

Een veranderde samenstelling van de bodem kan effecten hebben op bodemflora en -fauna, zoals bijvoorbeeld een afname van de vitaliteit (bijv. bos), en het verdwijnen

van soorten (bijv. heide) en het verschijnen van andere soorten (bijv. grassen). Veranderingen van de vegetatie zijn vaak zelf ook oorzaak van een verdergaande verandering van de kwaliteit van de bodem.

Door neerwaarts watertransport in de bodem, kan een verandering van de samenstelling van het bodemvocht op termijn leiden tot een verandering van de samenstelling van het bovenste grondwater en het oppervlaktewater. Of het diepere grondwater zal worden beïnvloed, hangt mede af van de fysisch-chemische eigenschappen van de doorstroomde formaties. Stagnatie van de verticale grondwaterstroming kan beïnvloeding van het grondwater voorkómen. Stagnatie treedt op als een formatie slecht doorlatend is voor water, bijvoorbeeld klei- en veenlagen. In dat geval is de formatie ook slecht doorlatend voor opgeloste stoffen. Het transport van grondwater naar dieper gelegen lagen kan ook geblokkeerd worden door kwel (opwaartse grondwaterstroming). Vaak zijn de doorlatendheid voor water en het sorptievermogen voor stoffen aan elkaar gekoppeld. Bijvoorbeeld bij klei, dat een kleine doorlatendheid en een groot sorptievermogen heeft. Naarmate het grondwater langer in een bepaalde formaties heeft gestroomd, zullen de eigenschappen van de formatie meer bepalend zijn voor de grondwater-kwaliteit. Bij gemakkelijk afbreekbare verbindingen speelt de chemische samenstelling van de formatie een belangrijke rol. Een formatie met gereduceerd materiaal (bijvoorbeeld organische stof of pyriet), wordt niet gemakkelijk gepasseerd door reduceerbare verbindingen, zoals nitraat. De fysisch-chemische aard van de formatie kan worden afgeleid uit de gemeten kwaliteit van grondwatermonsters (bijvoorbeeld zuurstofgehalte, redox of pH).

Beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit op diepten tussen 5 en 30 meter wordt verwacht in de zandgebieden, waar infiltratie en weinig sorptie optreedt. In infiltratiegebieden is de leeftijd of verblijftijd van het grondwater in jaren ongeveer gelijk aan de diepte in meters. Weinig of geen beïnvloeding wordt verwacht in klei- en veengebieden met kwel en stagnant grondwater en een groter sorptievermogen van de bodem.

### **Doelstelling van het onderzoek**

De doelstelling van het onderzoek is het beschrijven en zo mogelijk verklaren van de gemeten grondwaterkwaliteit. De doelstelling wordt uitgewerkt in drie onderdelen:

- 1) Beschrijving van de grondwaterkwaliteit in 1992 op diepten tussen 5 en 15 meter en tussen 15 en 30 meter onder maaiveld,
- 2) het maken van kaarten van de grondwaterkwaliteit in 1992,
- 3) beschrijving van de verandering van de grondwaterkwaliteit tussen 1984 en 1993.

## 2. GEGEVENSBEWERKING

### 2.1 Landelijk meetnet en provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit

Het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) is tussen 1979 en 1984 ingericht met als doel om de kwaliteit van het grondwater en de verandering daarin te meten in relatie tot de grondsoort, het grondgebruik en de hydrologische situatie.

Het meetnet bestaat uit circa 400 meetpunten, die verspreid zijn over het land. In gebieden met een diepe grondwaterspiegel (> 4 m -mv, bijv. de Veluwe) en in gebieden met zout of brak grondwater (bijv. Noord-Groningen) zijn minder meetpunten aanwezig dan in de overige gebieden. De reden is dat de installatie en bemonstering van meetpunten in gebieden met een diepe grondwaterspiegel duurder is en dat meetpunten in gebieden met zout of brak grondwater vanuit milieuhygiënisch opzicht minder interessant zijn. Meetpunten in gebieden met oeverinfiltratie en havenslibdepôts zijn niet gebruikt, omdat deze niet passen in een beschrijving van het landelijk beeld. Na uitdunning van het bestand van meetpunten bleven er voor het jaar 1992 circa 340 over. De locaties zijn in figuur 1a aangegeven.

Elk meetpunt is voorzien van drie filters op diepten van circa 10 m, 15 m en 25 m -mv (-mv = meter onder het maaiveld of grondoppervlak). Het filter op 15 m -mv is een reservefilter. De filters op diepten van 10 m en 25 m -mv worden jaarlijks bemonsterd.

Sinds 1991 zijn ook gegevens beschikbaar van een aantal afzonderlijke provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit (PMG's). Voor deze rapportage zijn de gegevens van vijf provinciale meetnetten beschikbaar (ca. 293 meetpunten). De provinciale meetnetten komen wat betreft doelstelling, inrichting en exploitatie overeen met het landelijk meetnet. De filterdiepten zijn echter niet altijd gelijk aan die van het LMG. Bij sommige provincies zijn ook filters op geringere diepte geplaatst. Verder blijkt de meetpunt dichtheid in sommige gebieden hoger te zijn dan gemiddeld (bijv. in zandgebieden of in gebieden met potentieel gevaar voor grondwaterverontreiniging). Na selectie van meetpunten van de PMG's, blijken er in 1992 circa 267 meetpunten over te zijn voor de beschrijving van het landelijk beeld (figuur 1b).

De grondwatermonsters worden geanalyseerd op de macrocomponenten: Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, K, Na, Mg, Ca, Fe, Mn, totaal-P, DOC, pH, EC (electrisch geleidingsvermogen) en de anorganische microcomponenten: Ba, Sr, Zn, Al, Cd, Ni, Cr, Cu, As en Pb. Incidenteel worden ook bestrijdingsmiddelen, organische chloorverbindingen en lanthaniden ed. geanalyseerd. Zie bijvoorbeeld Boland et al. (1994).

In tabel 1 is voor alle regelmatig gemeten componenten het aantal waarnemingen in het filterdieptetraject 5-15 m -mv gegeven (meetpunten in LMG- en PMG-bestan-

den). Per meetpunt is slechts één waarneming per dieptetraject gebruikt. Het aantal waarnemingen verschilt per component en per jaar. Daarvoor kunnen de volgende redenen worden aangevoerd:

- vanaf 1989 neemt het aantal meetpunten gestaag toe als gevolg van de provinciale meetnetten;
- de componenten Fe en Mn worden pas vanaf 1989 respectievelijk 1990 gemeten;
- de zware metalen worden pas vanaf 1989 regelmatig gemeten;
- in 1992 zijn totaal-P en Cr niet gemeten in het LMG;
- in 1993 zijn metingen van pH, EC niet beschikbaar, terwijl  $\text{NH}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , Cd, Cr, Cu en Pb niet gemeten zijn in het LMG.

Tabel 1 Aantal waarnemingen in het dieptetraject 5-15 m -mv per component en per jaar in de periode 1984-1993 (uitgezonderd meetpunten met oeverinfiltratie of havenslib)

component [eenh]		1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Ca	[g/m <sup>3</sup> ]	308	307	308	307	311	379	413	483	531	552
K	[g/m <sup>3</sup> ]	308	307	308	307	311	379	413	483	531	552
Mg	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	552
Na	[g/m <sup>3</sup> ]	308	307	308	307	311	379	413	483	531	552
NH <sub>4</sub> -N	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	200
Fe	[g/m <sup>3</sup> ]	0	0	0	0	0	379	413	483	531	552
Mn	[g/m <sup>3</sup> ]	0	0	0	0	0	71	413	483	531	552
H	[pH]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	0
DOC-C	[g/m <sup>3</sup> ]	0	307	307	307	0	72	413	460	482	503
EC	[mS/m]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	0
Cl	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	552
SO <sub>4</sub>	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	552
HCO <sub>3</sub>	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	151
NO <sub>3</sub> -N	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	531	552
totaal-P	[g/m <sup>3</sup> ]	311	307	308	307	311	379	413	483	225	552
Al	[mg/m <sup>3</sup> ]	0	39	33	307	0	0	413	483	531	552
As	[mg/m <sup>3</sup> ]	125	39	0	38	0	0	413	460	482	503
Ba	[mg/m <sup>3</sup> ]	0	0	0	0	0	36	413	460	482	552
Cd	[mg/m <sup>3</sup> ]	43	39	0	0	0	0	413	458	482	200
Cr	[mg/m <sup>3</sup> ]	43	0	0	0	0	0	413	460	176	151
Cu	[mg/m <sup>3</sup> ]	43	0	0	0	0	0	413	460	482	200
Ni	[mg/m <sup>3</sup> ]	125	0	0	0	0	0	413	460	482	200
Pb	[mg/m <sup>3</sup> ]	43	0	0	0	0	0	413	457	482	200
Sr	[mg/m <sup>3</sup> ]	0	0	0	0	0	0	384	460	482	552
Zn	[mg/m <sup>3</sup> ]	125	39	0	38	0	0	413	483	531	552

## 2.2 Klassificatie van de waarnemingen

De waarnemingen zijn gekenmerkt door de diepte van bemonstering of filterdiepte onder het maaiveld, het grondgebruik aan maaiveld, de grondsoort aan het aardoppervlak, het gebied of door een combinatie van deze kenmerken. Met een groep waarnemingen kan de kwaliteit van het grondwater met overeenkomstige kenmerken worden geschat.

### Filterdiepte

De waarnemingen zijn verdeeld naar de diepte van de filters, waaruit de grondwatermonsters zijn onttrokken. De meeste filters zijn geplaatst op diepten van circa 10 en 25 m -mv en hebben een lengte van 2 meter. Van dit stramien is bij de inrichting van de provinciale meetnetten soms afgeweken. Om de provinciale meetpunten toch te kunnen gebruiken zijn alle waarnemingen geklassificeerd op de diepte van het filter. Er zijn twee dieptetrajecten onderscheiden nl. 5-15 m -mv en 15-30 m -mv. Voor het traject 5-15 m -mv zijn filters gebruikt, die geheel liggen tussen de boven- en ondergrens van dit traject. Evenzo voor het traject 15-30 m -mv. Als meerdere waarnemingen in een traject beschikbaar zijn, is de waarneming van het diepst gelegen filter gebruikt, omdat het infiltratiegebied van het ondiepe filter te dichtbij ligt.

In het vervolg wordt met de aanduiding "ondiep grondwater" het grondwater in het dieptetraject 5-15 m -mv bedoeld. Dit is overwegend de laag grondwater met een dikte van circa 2 meter op een diepte van circa 10 m -mv. Analoog is met "diep grondwater" het grondwater in het dieptetraject 15-30 m -mv bedoeld. Dit is de laag grondwater met een dikte van circa 2 meter op een diepte van circa 25 m -mv.

### Grondsoort

Een geografisch bestand van het bodemtype volgens de bodemkaart 1:250000 (Steur et al., 1985) is omgezet in een gridcelbestand met het dominante bodemtype met een resolutie van 500x500m<sup>2</sup>. Dominant betekent in dit verband het bodemtype met de grootste oppervlakte binnen de gridcel. Daaruit is een gridcelbestand met de dominante grondsoort afgeleid door gebruik te maken van de hoofdindeling van de bodemkaart. Onderscheiden zijn de grondsoorten (laag-) veen, zand, dalgrond, zeeklei, rivierklei, löss/leem en oude klei (figuur 2). Dalgrond ontstond bij de ontginning van hoogveen in de voormalige veenkoloniën. Dit is volgens de bodemkaart geen aparte grondsoort, maar wordt toch apart beschouwd, omdat deze gronden te veel verschillen van het laagveen. Ook verschillen de dalgronden te veel van de zandgronden, omdat er zich veenresten in de ondergrond bevinden. De dominante grondsoort in een gridcel van 500x500m<sup>2</sup> is representatief gesteld voor het meetpunt in die gridcel. Meetpunten, waarvan de

coördinaten ontbreken, zijn niet gebruikt, omdat de grondsoort en het grondgebruik dan niet kan worden bepaald door gebruik te maken van geografische gegevensbestanden.

In het bestand van stamgegevens (onveranderlijke attributen bij de meetpunten, zoals de filterdiepten) is ook een grondsoort-attribuut opgenomen, maar dat bleek niet altijd overeen te komen met de dominante grondsoort in de gridcel. Het grondsoort-attribuut van het bestand van stamgegevens is alleen gebruikt in combinatie met het grondgebruik bebouwde grond (=stedelijk gebied), omdat de bodemkaart voor bebouwde grond geen betrouwbare informatie over het bodemtype bevat.

### **Grondgebruik**

Het grondgebruik per meetpunt is afgeleid uit de Landgebruiks-klassificatie van Nederland, het zg. LGN-bestand. Dit is een interpretatie van LANDSAT-satelliet-opnamen uit de periode 1986-1988 (Thunnissen et al. 1992). In het LGN-bestand is onderscheid gemaakt tussen 17 gewastypen. Om praktische redenen is het aantal gewastypen teruggebracht tot 6 klassen van grondgebruik (tabel 2). Als het representatieve grondgebruik van een meetpunt is beschouwd het dominante grondgebruik in een cirkelvormig gebied (straal=200m), dat bovenstrooms van het meetpunt is gelegen (Drecht et al. 1994).

Tabel 2 Aggregatie van gewastypen in het LGN-bestand tot zes klassen van grondgebruik.

grondgebruik	gewastypen LGN-bestand
nvt	buitenland, water
gras	gras
maïs	maïs
akkerbouw	aardappelen, bieten, graan, overige akkerbouw, kale grond
tuinbouw	glastuinbouw, boomgaard, bollenteelt en boomkwekerijen
bos&natuur	heide, loofhout, naaldhout, natuur
bebouwd	bebouwd (geen landbouw, natuur of water)

### **Eco-districten**

De waarnemingen van het meetnet zijn geklassificeerd naar het eco-district (Klijn, 1988). De indeling van Nederland in eco-districten is gebaseerd op geologie en geomorfologie. In tabel 3 staan de namen, codes en nummers van de eco-districten.



Tabel 3 Indeling in eco-districten, figuur 2 (naar Klijn, 1988).

nr.	code	district (extra plaatsaanduiding)
101	L1	krijtgebied (Zuid-Limburg)
102	L2	lössgebied (Zuid-Limburg)
201	P1	stuwwallen complex (bijv. Veluwe, Utrechtse Heuvelrug)
202	P2	geïsoleerde stuwwallen (bijv. Holterberg)
203	P3	keileemplateau (Drenthe)
204	P4	pleistocene opduikingen (bijv. Gaasterland)
205	P5	overige keileemgebieden (Achterhoek, Twente)
206	P6	horsten (o.a. de Peelhorst)
207	P7	oude rivierterrassen (Maasterrassen)
208	P8	zuidwestelijk zandgebied (westelijk Noord-Brabant)
209	P9	oostnederlands dekzandgebied
210	P10	glaciaal bekken (Gelderse Vallei)
211	P11	puinwaaier landschap (Veluwezoom)
212	P12	hoogveenlandschap (Veenkoloniën, De Peel)
213	P13	beekdalcomplexen (noordoost Nederland)
214	P14	Centrale Slenk (midden Noord-Brabant)
301	D1	kalkrijke duinen
302	D2	kalkarme duinen
401	H1	strandwallengebied (achter de duinen)
402	H2	rivierengebied
403	H3	jonge indijkingen
404	H4	zeeklei-inversie-landschap
405	H5	laagveengebied
406	H6	droogmakerijen (bijv. Haarlemmermeer)
407	H7	polders (bijv. Noord-Oost-Polder)
408	H8	deltagebieden (Biesbosch, IJsseldelta)
505	W5	verzoete zeearm (Lauwersmeerpolder)
999	S	stedelijk gebied (grote steden)

In figuur 2 zijn de contouren van eco-districten getekend op een grondsoortenkaart. Deze indeling is door Klijn gebruikt voor kwetsbaarheidskaarten voor o.a. verzuring en vermessing van het grondwater. De indeling in eco-districten is complex omdat veel eco-districten versnipperd voorkomen. De nauwkeurigheid van de berekeningen per district hangt ondermeer af van het aantal beschikbare meetpunten. Het aantal meetpun-

ten per district is soms klein. In 9 van de 28 districten is het aantal meetpunten kleiner dan 10. Bij klassificeren van de waarnemingen naar fysisch-geografische gebied zijn meer meetpunten per gebied beschikbaar en neemt de nauwkeurigheid toe.

Tabel 4 Indeling in fysisch-geografische gebieden op basis van de eco-districten (figuur 3)

nr	naam	districten (Klijn-code)
1	krijt- en lössgebied	L1,L2
2	zuidelijk zandgebied	P6,P7,P8,P14 (m.u.v. stukjes zand in Zeeuws-Vlaanderen)
3	centraal zandgebied	P1,P10,P11
4	oostelijk zandgebied	P2,P5,P9 (m.u.v. ged. ten noorden van het Vechtdal), P13 (m.u.v. Vechtdal)
5	noordelijk zandgebied	P3,P4 (m.u.v. pleistocene opduikingen in Friesland en Noord-Holland); P9 (ged. ten noorden van het Vechtdal); P12 (m.u.v. ged. ten zuiden van het Vechtdal); P13 (ged. in Drenthe of Groningen)
6	duinen&strandwallen	D1,D2,H1
7	rivierengebied	H2,P13 (Overijsselse deel Vechtdal)
8	zeekleigebied	H3,H4,H7,H8, pleistocene opduikingen in Noord-Holland en Texel (P4), zandgebiedjes in Zeeuws-Vlaanderen (P8)
9	laagveengebied	H5,H6, pleistocene opduikingen in Friesland (P4)
10	de zandgebieden	som van 2,3,4, en 5
11	Nederland	alle gebieden (1 t/m 9) bij elkaar, zonder grote steden, industriegebieden, schorren en kwelders

### **Fysisch-geografische gebieden**

De eco-districten zijn geaggregeerd tot grote gebieden. De gekozen aggregatie sluit aan bij de indeling in fysisch-geografische gebieden (LNV, 1990) en bij de eco-regio's (Klijn, 1988). Deze gebiedsindeling lijkt veel op een grondsoortenkaart. Bij de fysisch-geografische gebiedsindeling is het zandgebied gesplitst in de delen: zuidelijk -, centraal -, oostelijk - en noordelijk zandgebied (tabel 4, figuur 3).

### **Groepen van waarnemingen**

Met behulp van de geografische kenmerken per meetpunt zijn de waarnemingen van het meetnet grondwaterkwaliteit ingedeeld in groepen op basis van filterdiepte, grondgebruik, grondsoort en fysisch-geografisch gebied(en). Bij de keuze van de groepen is

eerst gekeken naar het beschikbare aantal waarnemingen. Groepen met minder dan 10 waarnemingen zijn niet beschouwd. De waarnemingen in het zeeleigebied en het laagveengebied zijn samengenomen, omdat de grondwaterkwaliteit in deze gebieden overeenkomt. Om het aantal groepen te beperken, zijn ook de waarnemingen in de vier zandgebieden samengenomen. Dalgronden zijn niet vertegenwoordigd omdat te weinig waarnemingen beschikbaar zijn. Na telling bleek dat ongeveer 78% van de beschikbare meetpunten is gebruikt voor de groepenindeling (tabel 5). Ongeveer 2,3 miljoen ha (77%) van de grondoppervlakte van Nederland is in deze groepen vertegenwoordigd.

De ligging van de meetpunten met het grondgebruik gras is aangegeven in figuur 4. In figuur 5 is de ligging van meetpunten met maïs, akkerbouw en bos aangegeven. Bij de groep gras op zand blijken relatief veel meetpunten te liggen in de Gelderse Vallei en het noordelijke deel van Noord-Brabant. Behalve bij de groep maïs op zand zijn de meetpunten in de verschillende groepen goed gespreid over de gebieden, die ze vertegenwoordigen.

Tabel 5 Grondgebruik, grondsoort, regio en aantal waarnemingen per groep

groep nr	fysisch-geografisch gebied code	nr	naam	grondgebruik klasse	grondsoort klasse	waarnemingen aantal	%
1	b/dz	6	duinen en strandwallen	bos (+natuur)	(duin-)zand	14	3
2	t/dz	6	duinen en strandwallen	tuinbouw	(duin-)zand	14	3
3	g/v	8,9	zeelei-,laagveengeb.	gras	veen	31	7
4	g/zk	8,9	zeelei-,laagveengeb.	gras	zeelei	23	5
5	a/zk	8,9	zeelei-,laagveengeb.	akkerbouw	zeelei	38	8
6	s/zk			bebouwd	Ze,La,Kv(*)	20	4
7	g/rk	7	rivierengebied	gras	rivierklei	19	4
8	s/rk	-		bebouwd	Ri(*)	13	3
9	g/z	10	zandgebieden	gras	zand	117	25
10	m/z	10	zandgebieden	maïs	zand	29	6
11	a/z	10	zandgebieden	akkerbouw	zand	23	5
12	b/z	10	zandgebieden	bos (+natuur)	zand	76	16
13	s/z	-		bebouwd	Za,Zr,Zo(*)	47	10
totaal						464	100

\*) grondsoort-attributen van stamgegevens: Ze=zeelei; La=laagveen; Kv=klei-op-veen; Ri=rivierklei; Za=humusarm zand; Zr=humusrijk zand; Zo=zand (humus onbekend)

### 2.3 Berekeningen

De waarnemingen van het LMG zijn op twee manieren opgevat nl.

1. als een groep aselechte en onafhankelijke metingen van de gemiddelde kwaliteit van het grondwater onder een bepaald grondgebruik en/of grondsoort in een gebied en
2. als individuen van een verdeling met eigenschappen, zoals het percentage waarnemingen boven een bepaalde waarde (bijv. streefwaarde).

Gemiddelden en percentages boven een bepaalde waarde zijn berekend per combinatie van grondgebruik en grondsoort of per gebied. De onzekerheid in deze getallen is uitgedrukt in 95%-betrouwbaarheidsintervallen, afgekort als **95%-BI** of **BI** (synoniemen zijn: 95%-schattingintervallen of 95%-waarschijnlijkheidsgebieden).

#### ad. 1) gemiddelde concentraties

Het 95%-BI voor de gemiddelde concentratie per combinatie grondgebruik/grondsoort is berekend uit het steekproef-gemiddelde en de standaardfout. Bij veel componenten zijn veel waarnemingen onder de detectiegrens. Deze waarnemingen hebben de waarde van de detectiegrens gekregen. Daardoor worden te hoge gemiddelden geschat. De 95%-BI zijn beperkt tot het positieve waardegebied omdat de concentratie van een component alleen positief kan zijn.

#### ad. 2) percentage overschrijding van een waarde

De mate waarin de gemeten concentraties bepaalde waarden (niveaus) overschrijden is in milieuhygiënisch opzicht interessanter dan de gemiddelde concentratie. Om de gemeten grondwaterkwaliteit te kunnen beoordelen is gebruik gemaakt van door het milieubeleid gehanteerde waarden voor grondwater of drinkwater (zo mogelijk de streefwaarde voor grondwater). Het percentage waarnemingen dat een streefwaarde overschrijdt, is een schatting voor het oppervlakte-percentages grondwater (in een gebied) met een concentratie hoger dan die streefwaarde. De onzekerheid daarin is aangegeven met het 95%-BI voor het percentage, dat is berekend m.b.v. de binomiale kansverdeling (Drecht et al.,1994). Percentages oppervlakte boven de streefwaarde (verkort: **OBS**) zijn geschat voor combinatieklassen grondgebruik/grondsoort, eco-districten, fysisch-geografische gebieden, de vier grote zandgebieden bij elkaar en voor heel Nederland.

De streefwaarden liggen in principe op een zogenaamd verwaarloosbaar risiconiveau. Streefwaarden zijn vastgelegd in het Beleidsstandpunt over de notitie Milieukwaliteitsdoelstellingen Bodem en Water of MilBoWa-notitie (VROM, 1992). Bij het vaststellen van de streefwaarden voor grondwater is gebruik gemaakt van de gegevens van

het LMG (VROM, 1991, blz. 35). Hierdoor is het evident dat het aantal overschrijdingen van de streefwaarde klein is (tabel 6).

Bij veel stoffen blijkt de streefwaarde in de buurt van het 95-percentiel van de gemeten grondwaterkwaliteit op grotere diepte te liggen. Overschrijding van de streefwaarde is derhalve een bijzonderheid en men kan onderzoeken waar deze bijzonderheid voorkomt. Bij een streefwaarde, die in een groot deel van Nederland wordt overschreden, vertoont de kaart van het % OBS te weinig regionale verschillen. In die gevallen is van de streefwaarde afgeweken. Voor de pH is geen streefwaarde beschikbaar. Bij slechts 3% van de monsters uit het diepe grondwater is de pH lager dan 5. Onderzocht is in hoeverre deze waarde wordt onderschreden.

Bij aluminium is 14% van de waarnemingen hoger dan het EG-richtniveau. Slechts 2% van de waarnemingen overschrijdt de drinkwaternorm. Bij chroom is 26% van de waarnemingen hoger dan de streefwaarde. Bij de behandeling van deze stoffen zullen andere waarden dan de streefwaarde gebruikt worden.

De percentages OBS zijn gekwalificeerd in termen van "zeer laag", "laag", "hoog" en "zeer hoog". Dit is gebeurd door de ligging van het BI voor het percentage OBS te vergelijken met enkele vaste percentages (10% en 20%). Figuur 6 is een illustratie van wat daarmee bedoeld wordt. De BI voor het percentage OBS per gebied zijn ook vastgelegd in kaarten. De gebieden zijn geklassificeerd op de in figuur 6 aangegeven wijze.

### **Verandering van de grondwaterkwaliteit**

In hoofdstuk 3 worden tijdsverlopen van gemeten concentraties afgebeeld. Deze afbeeldingen worden visueel geïnterpreteerd. Om het aantal afbeeldingen beperkt te houden zijn meestal alleen de resultaten voor de zandgebieden weergegeven. Daarnaast wordt de verandering van de grondwaterkwaliteit ook met statistische methoden beoordeeld. Door Drecht et al. (1994) is de regressiecoëfficiënt gebruikt voor de grootte en de lineaire samenhang met de tijd van de opgetreden verandering van de nitraatconcentratie in een filter. Hierbij zijn alle waarnemingen gebruikt. Beide aspecten van de verandering in de grondwaterkwaliteit zijn in het voorliggende rapport onderzocht en worden nu toegelicht.

#### **a. Verschillen**

Om te beoordelen of een verandering relevant (groot) is, wordt gekeken naar verschillen tussen de eerste en laatste waarneming in een filter. Het gemiddelde van deze verschillen is een schatting voor de gemiddelde verandering in een gebied. Indien de verwachtingswaarde van de gemiddelde verandering in een gebied gelijk is aan nul (nul-

Tabel 6 Overschrijding van normen in het grondwater op een diepte 15-30 m -mv op basis van meetgegevens van de landelijke en provinciale meetnetten grondwaterkwaliteit; streefwaarde (VROM, 1992); drinkwaternorm (Waterleidingbesluit, 1984); EG-richtniveau (EC, 1980).

stof	eenheid	waarde	herkomst	percentage waarn. > waarde	berekend voor: jaar	gebied
pH	pH-eenh	5	geen	97(*)	1992	Nederland
SO <sub>4</sub>	g/m <sup>3</sup>	150	streefwaarde	7	1992	Nederland
Al	mg/m <sup>3</sup>	50	EG-richtniveau	14	1992	Nederland
Al	mg/m <sup>3</sup>	200	drinkwaternorm	2	1992	Nederland
K	g/m <sup>3</sup>	12	drinkwaternorm	21	1992	Nederland
Cl	g/m <sup>3</sup>	100	streefwaarde	24	1992	Nederland
NO <sub>3</sub> -N	g/m <sup>3</sup>	5,6	streefwaarde	6	1992	Nederland
NH <sub>4</sub> -N	g/m <sup>3</sup>	2	streefwaarde	9	1992	zandgebied
NH <sub>4</sub> -N	g/m <sup>3</sup>	10	streefwaarde	35	1992	zeeklei/laagveengebieden
totaal-P	g/m <sup>3</sup>	0,4	streefwaarde	6	1991	zandgebied
totaal-P	g/m <sup>3</sup>	3	streefwaarde	14	1991	zeeklei/laagveengebieden
As	mg/m <sup>3</sup>	10	streefwaarde	6	1992	Nederland
Pb	mg/m <sup>3</sup>	15	streefwaarde	1	1992	Nederland
Cu	mg/m <sup>3</sup>	15	streefwaarde	0,4	1992	Nederland
Zn	mg/m <sup>3</sup>	65	streefwaarde	6	1992	Nederland
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0,4	streefwaarde	2	1992	Nederland
Cr	mg/m <sup>3</sup>	1	streefwaarde	26	1991	Nederland
Ni	mg/m <sup>3</sup>	15	streefwaarde	2	1992	Nederland

\*) geen overschrijding maar onderschrijding

hypothese), kan de kans op een grotere absolute waarde dan de gevonden gemiddelde waarde worden berekend. Hierbij wordt een normale verdeling aangenomen. Indien de gevonden gemiddelde waarde in het 5% uitzonderingsgebied ligt, wordt de nul-hypothese verworpen en wordt aangenomen dat de gebiedsgemiddelde concentratie in 1993 anders is dan in 1984. De richting van de gebiedsgemiddelde verandering wordt aangegeven door het teken.

#### b. Lineaire samenhang

De lineaire samenhang tussen de waarnemingen en de tijd in een filter is gekwantificeerd d.m.v. de correlatiecoëfficiënt. De correlatiecoëfficiënt heeft de waarde 1 indien een stijgende rechte lijn door alle waarnemingen kan worden getrokken en -1 indien de lijn daalt. In het algemeen kan geen rechte lijn door alle waarnemingen getrokken

worden. Naarmate de rechte lijn de waarnemingen beter benadert dan het gemiddelde van de waarnemingen neemt de absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt toe. De correlatiecoëfficiënt geeft geen informatie over de hellingshoek van de lijn. Indien in een groep meetpunten geen lineaire samenhang bestaat tussen concentraties in een filter en de tijd, is de verwachtingswaarde van de correlatiecoëfficiënt gelijk aan 0 (nulhypothese). De gevonden correlatiecoëfficiënten in de groep meetpunten worden gebruikt als schattingen van de verwachtingswaarde. We nemen aan dat de schatter normaal verdeeld is. Onder de nulhypothese is de verdeling van de schatter symmetrisch, zoals de normale verdeling. Onder de nulhypothese kan de kans op een grotere of kleinere waarde dan de gevonden gemiddelde correlatie worden berekend. De kans op een grotere waarde wordt berekend indien de gemiddelde verandering groter is dan nul. De kans op een kleinere waarde wordt berekend indien de gemiddelde verandering kleiner is dan nul. Indien de gemiddelde verandering in het 5% uitzonderingsgebied ligt, wordt besloten dat er lineaire samenhang is.

Synthese van a en b:

Indien de nulhypothese in beide gevallen (a en b) wordt verworpen en de gemiddelde verandering relevant groot is, wordt geconcludeerd dat de concentraties in het beschouwde gebied en gedurende de beschouwde periode **duidelijk** zijn veranderd, cq. duidelijk gedaald of gestegen.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor elk filter en voor de periode 1984-1993 (soms 1984-1992). In een jaar met weinig waarnemingen zijn de waarnemingen van dat jaar niet gebruikt (tabel 1). Een filter, waarbij aan het begin of aan het eind van de beschouwde periode een waarneming ontbreekt, is buiten beschouwing gebleven. Voor de tijd is het bemonsteringstijdstip gekozen. In elke reeks van waarnemingen is de hoogste waarde van de onderste analysegrens opgezocht. Daarna zijn de waarnemingen, die lager zijn dan deze hoogste waarde verhoogd tot die hoogste waarde van de onderste analysegrens. Dit is nodig om een schijnbare lineaire samenhang, die het gevolg is van toe- of afname van de onderste analysegrens, te onderdrukken. In bijlage 2 is het programma afgedrukt, waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd.

### Diffuse belasting

Bij de meeste stoffen wordt een schatting gegeven van de grootte van de diffuse belasting via atmosferische depositie en door gebruik van dierlijke mest en kunstmest (op landbouwgronden). De schattingen zijn ontleend aan het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (RIVM/KNMI, 1989) en aan gemiddelde gehalten in dierlijke mest volgens het handboek voor de rundveehouderij (PR, 1988). De waarnemingen van LMR-station De Bilt zijn verricht met een open regenmeter en zijn omgerekend naar deposities in g/(ha.a) en concentraties in mg/m<sup>3</sup>. De gegeven getallen voor De Bilt zijn bedoeld als een indicatie van de totale (droog en nat) atmosferische depositie (tabel 7).

Tabel 7 Regenwatersamenstelling en atmosferische depositie (droog en nat) te De Bilt, periode 1983-1987, bij een gemiddelde neerslag van 863 mm/jaar, (naar RIVM, 1989)

component	M g/mol	conc. µmol/l	depositie mmol/(m <sup>2</sup> .a)	depositie g/(ha.a)	conc. mg/m <sup>3</sup>
K	39	-	4,2	1638	190
Cl	35,5	-	102	36210	4200
SO <sub>4</sub>	96	-	55	52800	6100
NH <sub>4</sub> -N	14	-	99	13860	1600
NO <sub>3</sub> -N	14	-	47	6580	760
PO <sub>4</sub> -P	31	-	0,3	93	11
Zn	65,5	-	0,3	200	23
As	75	<0,01	<0,00863	<6,5	<0,75
Cd	112,5	0,002	0,0017	1,9	0,23
Cr	52	<0,01	<0,00863	<4,5	<0,5
Cu	63,5	0,07	0,060	38	4,4
Ni	58,5	0,02	0,017	10	1,2
Pb	207	0,08	0,069	143	17



### 3 RESULTATEN

#### 3.1 Chloride

Chloride in grondwater reageert niet met andere componenten, sorbeert niet aan de vaste stof en breekt ook niet af. Chloride kan daarom dienen als referentie bij de interpretatie van de concentraties van andere componenten (als verklarende steunparameter).

In natuurgebieden in het binnenland is het regenwater de enige chloridebron. De gemiddelde chlorideconcentratie in regenwater te De Bilt in de periode 1983-1987 bedroeg  $4,2 \text{ g/m}^3$  (som van droge en natte atmosferische depositie). De gemiddelde chloridetoevoer uit de atmosfeer naar de bodem bedroeg  $36 \text{ kg/(ha.a)}$  (tabel 7). Bij een indampfactor van 4 voor bos (d.w.z.  $3/4$  van de neerslag verdampt) kan een concentratie van  $17 \text{ g/m}^3$  in het grondwater onder bos worden verwacht.

De toevoer van chloride op landbouwgronden is afhankelijk van het grondgebruik en de wijze van bemesten. Rundveedrijfmest bevat  $3 \text{ kg}$  chloride per  $\text{m}^3$  mest (PR, 1988). Bij een bemesting van  $100 \text{ m}^3/(\text{ha.a})$  drijfmest komt er  $300 \text{ kg/(ha.a)}$  chloride op het land. Een groot deel daarvan wordt door het gewas opgenomen. Als aangenomen wordt dat  $1/3$  deel van de toegevoerde chloride in de mest uitspoelt, komt dat neer op een uitspoeling van  $100 \text{ kg/(ha.a)}$ . Daardoor kan de concentratie in het grondwater met  $33 \text{ g/m}^3$  verhoogd worden (bij een neerslagoverschot van  $300 \text{ mm/jaar}$ ).

In kustgebieden wordt de chlorideconcentratie in het grondwater beïnvloed door kwel van zout of brak grondwater, door het inwaaien van zout afkomstig van het zeewater en door de landbouw. Hierdoor zijn de concentraties in het grondwater in de kustgebieden hoog en variabel.

#### Chlorideconcentraties in 1992

De streefwaarde voor chloride in grondwater bedraagt  $100 \text{ g/m}^3$  (VROM, 1992). De drinkwaternorm bedraagt  $150 \text{ g/m}^3$  (Waterleidingbesluit, 1984). Deze waarden hebben alleen betrekking op gebieden met zoet grondwater.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 7 zijn de 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per dieptetraject weergegeven. In de figuur is een log-schaal gebruikt om te vermijden dat de BI voor groepen met zoet grondwater zouden vervormen tot streepjes. De BI voor gras op veen en zeelei (g/v,g/zk), akkerbouw op zeelei (a/zk) en bebouwd op zeelei (s/zk) liggen boven de streefwaarde. De brede BI ontstaan bij grote variatie van de concentraties binnen de groep. Dat gebeurt als er meetpunten met brak grondwa-

ter in de groep voorkomen. De BI voor tuinbouw op duinzand achter de duinen (t/dz) liggen grotendeels onder de streefwaarde. Het BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder bebouwd gebied op zand (s/z) ligt in de buurt van de streefwaarde en is duidelijk hoger dan onder landbouw op zand (g/z,m/z,a/z) en bos op zand (b/z).

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van de een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor groepen in het laagveengebied, het zeekleigebied en bebouwd op zand in het zandgebied (figuur 7).

#### *OBS per regio*

De 95%-BI voor de percentages OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district zijn weergegeven in figuur 8. De percentages OBS voor het laagveengebied en het zeekleigebied zijn zeer hoog. Voor de meeste zandgebieden zijn de percentages OBS laag of zeer laag (bijv. zuidelijk zandgebied). De kaarten van de eco-districten laten grotendeels hetzelfde beeld zien. Het BI voor het diepe grondwater van de Centrale Slenk ligt lager dan voor het ondiepe grondwater.

### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1993**

In figuur 10 is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per jaar en per zandgebied. In het ondiepe grondwater van het oostelijk zandgebied daalt het percentage waarnemingen boven de streefwaarde. In de overige zandgebieden is weinig verandering te zien. In figuur 9 zijn 95%-BI voor de groepsgemiddelde verandering van de concentratie weergegeven. Door meer variatie binnen een groep zijn de BI in het westen van het land breder dan elders. Hierdoor is detectie van veranderingen moeilijker.

Een duidelijke daling van de chlorideconcentratie is vastgesteld voor (zie ook resultaten in bijlage 2):

- het ondiepe en diepe grondwater onder maïs op zand (m/z),
- het ondiepe grondwater onder gras op zand (g/z),
- het ondiepe grondwater in het zuidelijk en het oostelijk zandgebied.

De vastgestelde daling bedraagt ongeveer 10 g/m<sup>3</sup> in 10 jaar.

## Discussie

De BI voor landbouwgewassen op zand (g/z, m/z en a/z) zijn niet hoger dan de BI voor bos op zand (b/z). Verwacht werd dat de gemiddelde concentraties onder landbouwgewassen hoger zouden zijn dan de gemiddelde concentraties onder bos, vanwege de extra toevoer van chloride uit de mest. Weliswaar zijn de gemiddelde concentraties onder bos lager dan onder landbouw, maar de variatie bij bos is zo groot dat de BI voor bos en de verschillende landbouwgewassen elkaar overlappen. Er is daarom geen significant verschil tussen de gemiddelde concentraties onder landbouwgewassen en bos.

De hogere gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder bebouwd gebied op zand in vergelijking tot andere groepen in het zandgebied is te verklaren uit het gebruik van stroozout en de invloed van lokale bronnen, zoals lekkende riolen en industrieterreinen. De zeer hoge percentages OBS in het laagveengebied, het zeekleigebied zijn te verklaren uit mariene invloed (brak grondwater).

De geconstateerde daling in de gemiddelde concentraties kan worden verklaard uit meerjarige fluctuaties in het neerslagoverschot of een vermindering van de chloridebelasting van landbouwgronden (minder mest of minder chloride in de mest). In Frapporti et al. (1994) wordt ook verdroging als mogelijke oorzaak genoemd.

## 3.2 pH

De verzuring van het grondwater is het gevolg van de atmosferische depositie op de bodem van zwavel- en stikstofverbindingen, die met water een zure oplossing vormen. Daarnaast treedt ook op natuurlijke wijze verzuring op door de ademhaling van de plantenwortels in de wortelzone, waardoor koolzuur vrijkomt. Als gevolg van het verhoogde koolzuurgehalte lossen mineralen beter op en spoelen uit de wortelzone. Het zuurbufferend vermogen van de grond neemt langzaam af en de bodemoplossing wordt licht zuur. Op deze wijze zijn de meeste zandgronden ontkalkt. Het snelst ontkalkt zijn de klei- en leemarme grofzandige bodems. In infiltratiegebieden dringt het zuur door tot in dieper gelegen lagen, waardoor de pH in het grondwater op den duur kan dalen.

### pH in 1992

Er is geen streefwaarde voor de pH in grondwater. Als maat voor verzuring van het grondwater wordt het percentage waarnemingen met pH-waarde lager dan 5 ( $\text{pH} < 5$ ) gebruikt.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 11 zijn 95%-BI voor de gemiddelde pH per grondgebruik/grondsoort weergegeven. De BI voor de groepen in het laagveengebied (g/v) en het zeekleigebied

(g/zk,a/zk,s/zk) liggen om en nabij pH=7 (pH-neutraal). De BI voor de groepen in de duinen en het strandwallengebied (b/dz,t/dz) liggen in de buurt van pH=7,5 (alkalisch). De BI voor de landbouwgewassen (g/z,m/z,a/z) en bos op zand (b/z) liggen onder de pH=7 lijn. De BI voor het ondiepe grondwater in de zandgebieden zijn lager dan voor het diepe grondwater. De BI voor bebouwd op zand (s/z) zijn hoger dan de andere groepen in de zandgebieden.

#### *pH<5 per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage met pH<5 wordt uitgelegd op blz 11.

In figuur 11 zijn ook 95%-BI voor het percentage oppervlakte met pH<5 weergegeven. Het BI voor het ondiepe grondwater onder maïs op zand (m/z) is hoog. Het BI voor het ondiepe grondwater onder bos op zand (b/z) is zeer hoog.

#### *pH<5 per regio*

In de meeste gebieden zijn lage en zeer lage percentages oppervlakte met pH<5 in het ondiepe grondwater gevonden (figuur 12). Hoge percentages zijn gevonden in het ondiepe grondwater van het zuidelijk en het noordelijk zandgebied. In het diepe grondwater zijn lage en zeer lage percentages gevonden.

In het ondiepe grondwater in de Peelhorst en in het zuidwestelijk zandgebied zijn respectievelijk hoge en zeer hoge percentages gevonden. Hoge percentages zijn ook gevonden in het ondiepe grondwater in de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe, het Drents Plateau en de beekdalcomplexen in noord-oost Nederland.

### **Verandering van de pH in de periode 1984-1992**

In figuur 14 is het percentage waarnemingen met pH<5 weergegeven per jaar en per zandgebied. In figuur 13 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering van de pH per groep weergegeven. In de figuur is zichtbaar dat de pH in grote gebieden verandert. Op basis van de analyseresultaten in bijlage 2 is een duidelijke daling van de pH is vastgesteld voor:

- het ondiepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei (a/zk),
- het ondiepe grondwater onder gras op rivierklei (g/rk),
- het ondiepe en diepe grondwater onder gras op zand (g/z),
- het ondiepe grondwater onder maïs op zand (m/z),
- het ondiepe grondwater onder bos&natuur op zand (b/z),
- het diepe grondwater onder bebouwd op zand (s/z),
- het ondiepe grondwater in het centraal zandgebied, het rivierengebied,

- het zeekleigebied, de zandgebieden als totaal en heel Nederland,
- het diepe grondwater in het centraal zandgebied, het oostelijk zandgebied, het noordelijk zandgebied, het duinen-en-strandwallengebied, het rivierengebied, het zeekleigebied en heel Nederland.

De gemiddelde pH-daling is klein (0,1 à 0,3 pH-eenh. in 10 jaar).

### Discussie

Lage pH-waarden in de zandgebieden zijn het gevolg van ontkalking. Dat verklaart ook de lagere pH-waarden in het ondiepe grondwater in vergelijking tot het diepe grondwater. In het ondiepe grondwater in een aantal eco-districten worden hoge percentages oppervlakte met een  $pH < 5$  gevonden. Ook voor de beekdalcomplexen zijn hoge percentages vastgesteld. Dit eco-district is ingedeeld bij het fysisch-geografische rivierengebied, maar past daar niet bij gezien de pH. De pH in de zandgebieden kan door meerdere processen dalen. Omdat de processen zo complex zijn, is geen eenvoudige verklaring mogelijk. Vanaf 1993 wordt de pH tijdens de bemonstering "in situ" gemeten (Reijnders et al., 1995). De in situ gemeten pH is vaak hoger dan de in het laboratorium gemeten pH-waarden (lab-pH). De vastgestelde pH-daling zou ook een artefact kunnen zijn. Hierbij komt nog dat er een duidelijke daling van de pH is vastgesteld voor het zeekleigebied, wat niet verwacht wordt. Daarom worden geen conclusies getrokken over daling van de pH in het grondwater van Nederland.

### 3.3 Sulfaat

Sulfaat komt op de bodem door het gebruik van sulfaathoudende mest en door atmosferische depositie van zwaveloxyden. De gemiddelde sulfaatconcentratie in regenwater te De Bilt in de periode 1983-1987 bedroeg  $6,1 \text{ g/m}^3$  (som van droge en natte atmosferische depositie). De gemiddelde atmosferische sulfaatdepositie bedroeg  $53 \text{ kg/(ha.a)}$  (tabel 7). Door indamping met een factor 4 kan in het grondwater onder bos en natuur een sulfaatconcentratie van  $24 \text{ g/m}^3$  worden verwacht. Hogere concentraties kunnen voorkomen door extra atmosferische depositie, die het gevolg is van de relatieve ruwheid van bos vergeleken met landbouwgewassen. Op grond van de daling van de atmosferische depositie wordt verwacht dat de concentratie in het grondwater onder bos in de zandgebieden daalt.

Op landbouwgronden wordt de aanvoer van sulfaat gedomineerd door de sulfaat, die met mest op het land komt. Rundveedrijfmest bevat circa 2 kg sulfaat per ton mest (PR, 1988). Bij een drijfmestgift van  $100 \text{ ton/(ha.a)}$  is de gemiddelde sulfaatbelasting  $200 \text{ kg/(ha.a)}$ . De sulfaatopname door landbouwgewassen bedraagt circa  $60 \text{ kg/(ha.a)}$ .

Dit is berekend op basis van een opbrengst van gras van 10 ton/ha droge stof met een sulfaatgehalte van 6 kg/ton (Russel, 1973). Als het gehele sulfaatoverschot van de wortelzone uitspoelt kan een sulfaatconcentratie van ongeveer 70 g/m<sup>3</sup> in het grondwater verwacht worden (bij neerslagoverschot 300 mm/jaar). Onder landbouwgronden wordt een stijging verwacht als gevolg van de toename van de mestproductie tot 1984 (nauwlijns van het effect door verblijftijd in het grondwater).

Sulfaat kan ontstaan door oxydatie van sulfiden, die bijvoorbeeld als pyriet aanwezig zijn. Dit kan het gevolg zijn van grondwaterstandsval bij landbouwgronden. Ook op grotere diepte kan sulfaat ontstaan bij denitrificatie door micro-organismen, waarbij sulfiden als electrondonor worden gebruikt. De sulfaatconcentratie kan dus ook stijgen door infiltratie van nitraatrijk grondwater naar diepere lagen. Sulfaat kan verdwijnen door reductie onder anaërobe omstandigheden bij aanwezigheid van organische stof.

### **Sulfaatconcentraties in 1992**

De streefwaarde (tevens drinkwaternorm) voor sulfaat in grondwater bedraagt 150 g/m<sup>3</sup> SO<sub>4</sub> (VROM, 1992).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 15 zijn 95%-BI voor de gemiddelde sulfaatconcentraties per grondgebruik/grondsoort en per dieptetraject weergegeven. Door spreiding in de waarnemingen worden soms zeer brede BI voor de gemiddelde concentraties gevonden, bijvoorbeeld bij akkerbouw op zeeklei. De gemiddelde concentratie in het diepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei (a/zk) ligt boven de streefwaarde, maar de spreiding is zo groot dat dit niet significant is. Voor de meeste andere groepen, zoals gras op laagveen (g/v), tuinbouw op duinzand (t/dz) en bebouwd gebied op zeeklei (s/zk), zijn de gemiddelde concentraties significant lager dan de streefwaarde. De BI voor de gemiddelde concentraties van de groepen in het rivierengebied en de zandgebieden vertonen eenzelfde beeld. Alle BI liggen onder de streefwaarde. Voor gras op zand (g/z) en bos op zand (b/z) zijn de BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater duidelijk hoger dan in het diepe grondwater.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

In figuur 15 zijn 95%-BI voor het percentage OBS per grondgebruik/grondsoort weergegeven. Het percentage OBS is hoog in het diepe grondwater onder akkerbouw op

zeeklei (a/zk). Het percentage OBS in het ondiepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei is niet veel lager, maar valt net niet in de klasse "hoog". Het percentage OBS is hoog in het ondiepe grondwater onder gras op zand (g/z). In het diepe grondwater onder gras op zand (g/z) is het percentage OBS lager, maar de percentages in ondiep en diep grondwater verschillen niet significant. De percentages OBS voor bos op zand (b/z) zijn zeer laag.

#### *OBS per regio*

De 95%-BI voor de percentages OBS per fysisch-geografisch gebied en eco-district zijn weergegeven in figuur 16. Het percentage OBS is hoog in het ondiepe grondwater in het zuidelijk zandgebied. Hoge percentages OBS zijn ook gevonden voor het ondiepe grondwater in de Centrale Slenk en het zuidwestelijk zandgebied.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1993**

In de figuren 18 en 19 is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde voor sulfaat weergegeven per jaar en per groep. Bij gras op zand is het percentage waarnemingen hoger dan  $75 \text{ g/m}^3$  (helft van de streefwaarde) zichtbaar gedaald (figuur 18). Bij de andere gewassen op zand is geen daling of stijging te zien. In de zandgebieden is geen duidelijk stijgend of dalend verloop in de percentages zichtbaar (figuur 19). In figuur 17 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering in de sulfaatconcentratie per groep en per gebied weergegeven. Een duidelijke daling van de concentratie is vastgesteld voor (zie ook bijlage 2):

- het ondiepe grondwater onder gras op veen en zeeklei en bebouwd op zand,
- het diepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei en bebouwd op zeeklei,
- het ondiepe grondwater van het laagveengebied, de zandgebieden en heel Nederland,
- het diepe grondwater van het zeekleigebied.

De gemiddelde daling in het ondiepe grondwater van de zandgebieden bedraagt  $6 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar. Voor akkerbouw op zeeklei is de grootste daling gevonden.

#### **Discussie**

De brede BI voor de gemiddelde concentratie van sommige groepen, zoals akkerbouw op zeeklei, worden veroorzaakt door grote spreiding in de waarnemingen. In dezelfde groepen komen ook meetpunten met brak of zout grondwater voor, waardoor de chlorideconcentraties grote spreiding vertonen. Sulfaat- en chlorideconcentraties zijn positief gecorreleerd ( $r=0,58$ ).

De hogere gemiddelde concentratie voor akkerbouw op zeelei is mogelijk veroorzaakt door oxydatie van sulfiden, die in mariene sedimenten veel voorkomen. Voor andere groepen, zoals gras op laagveen, tuinbouw op duinzand en bebouwd gebied op zeelei, zijn lagere gemiddelde concentraties gevonden. Een mogelijke verklaring daarvoor is kwel van anaëroob grondwater, waarin sulfaatreductie heeft plaats gevonden. Als de concentratie in het ondiepe grondwater hoger is dan in het diepe grondwater kan dat wijzen op sulfaatreductie in het diepe grondwater.

De duidelijke daling van sulfaatconcentraties, zoals vastgesteld voor de zandgebieden, kan verklaard worden uit een daling van de atmosferische depositie van zwaveloxyden gedurende de laatste decennia. Maar ook de normale klimaatschommelingen kunnen voor een tijdelijke daling in de concentraties zorgen. Onverklaarbaar is dat bij bebouwd op zand wél, en bij bos op zand géén daling van de concentratie is waargenomen.

De daling van de concentraties in het ondiepe grondwater van het laagveengebied en in het diepe grondwater in de zeeleigebied kan echter niet uit een daling van de atmosferische depositie van zwaveloxyden worden verklaard, omdat dit geen infiltratiegebieden zijn. Gezien de grote onzekerheden over oorzaken van de daling in de sulfaatconcentraties worden hieraan geen conclusies verbonden voor het grondwater.

### **3.4 Aluminium**

Aluminium is een veel voorkomend element. De aardkorst bestaat voor 8% uit aluminium. De oplosbaarheid van aluminium wordt door de pH bepaald. Bij een  $pH > 5$  komt opgelost aluminium nauwelijks voor. Door atmosferische depositie van verzurende stoffen daalt de pH in de bodem. Daarmee neemt de oplosbaarheid en de mobiliteit van aluminium in de bodem toe. In gebieden met een geringe buffercapaciteit voor verzurende stoffen in de bodem kan de verzuring tot in het grondwater doordringen. Bij de voorgaande beschouwing van de pH en  $SO_4$  in het grondwater is gebleken dat het ondiepe grondwater zuurder is dan het diepe grondwater. Daarom worden in het ondiepe grondwater hogere aluminiumconcentraties verwacht. Hoge concentraties zijn toxisch voor flora en fauna.

#### **Aluminiumconcentraties in 1992**

Er is geen streefwaarde voor aluminium in grondwater. Het richtniveau voor aluminium uit de EU-richtlijn voor de kwaliteit van water, dat bedoeld is voor menselijke consumptie bedraagt  $50 \text{ mg/m}^3$ . Daarnaast is er een EU-richtlijn voor de maximaal toelaatbare aluminiumconcentratie van  $200 \text{ mg/m}^3$ . Deze waarde is overgenomen in het Waterleidingbesluit (1984). Voor aluminium wordt het percentage oppervlakte boven de



drinkwaternorm (OBD) berekend.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 20 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. In het westen van het land en in het rivierengebied liggen de BI in de buurt van of onder het richtniveau. In de zandgebieden liggen de BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder gras op zand (g/z), maïs op zand (m/z) en bos op zand (b/z) duidelijk hoger dan het richtniveau. De gemiddelde concentraties in het diepe grondwater onder gras op zand (g/z) en akkerbouw op zand (a/z) liggen in de buurt van het richtniveau. De brede BI voor de meeste groepen in de zandgebieden zijn het gevolg van spreiding in de gemeten concentraties.

#### *OBD per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBD is uitgelegd op blz 11.

De percentages OBD per groep zijn over het algemeen laag (figuur 20). Hoge en zeer hoge percentages OBD zijn gevonden voor het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand (m/z,a/z,b/z).

#### *OBD per regio*

Het zuidelijke en noordelijke zandgebied vallen op door respectievelijk zeer hoge en hoge percentages OBD (figuur 21). Uit de kaartjes van de eco-districten kan worden opgemaakt dat voor hoger gelegen districten ook hoge percentages OBD gevonden worden. Hoge percentages worden vooral gevonden voor de stuwwallen, de horsten (Noord-Brabant) en de Veenkoloniën. Lage percentages worden vooral gevonden voor het rivierengebied en het laagveengebied. De percentages OBD in het diepe grondwater zijn laag of zeer laag.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1993**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat aluminium pas vier jaar in alle meetpunten van het meetnet wordt bepaald. In figuur 22 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de richtwaarde en ook boven de drinkwaternorm weergegeven per zandgebied. Uit het verloop kan niet worden opgemaakt of de concentraties stijgen of dalen. In het jaar 1991 zijn de percentages waarnemingen boven de richtwaarde opvallend hoog.

#### **Discussie**

Het algemene beeld van de gemiddelde aluminiumconcentratie vertoont veel overeen-

komst met dat van de pH. De hoge gemiddelde concentraties in het grondwater van de zandgebieden zijn blijkbaar gekoppeld aan lage pH-waarden. De hoge percentages OBD in het ondiepe grondwater van de zandgebieden worden toegeschreven aan verzuring en vermesting. De lage percentages OBD in het diepe grondwater kunnen verklaard worden door de langere verblijftijden in het diepe grondwater. Voor het opvallende hoge percentage waarnemingen boven de richtwaarde in 1991 is geen verklaring gevonden.

### 3.5 Stikstof

Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor gewassen. Minerale stikstof ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ) wordt in opgeloste vorm door plantenwortels opgenomen. De gemiddelde atmosferische depositie van stikstof te De Bilt in de periode 1983-1987 bedroeg 20 kg/(ha.a) (tabel 7). De atmosferische stikstofdepositie bestaat voor ongeveer 2/3 deel uit  $\text{NH}_x$ - en 1/3 deel uit  $\text{NO}_x$ -verbindingen. In gebieden met intensieve veehouderij is de  $\text{NH}_3$ -emissie hoger dan elders. Daardoor kan de atmosferische N-depositie in sommige zandgebieden oplopen tot meer dan 50 kg/(ha.a). Door de "ruwheid" van bos is de atmosferische N-depositie hoger dan gemiddeld. Geschat wordt dat de atmosferische N-depositie op bossen 1,5 tot 2 keer zo hoog is als gemiddeld. Voor de groei van bos is de atmosferische depositie meer dan voldoende. Landbouwgewassen kunnen daarentegen niet zonder extra N-bemesting op economisch verantwoorde wijze geproduceerd worden. Minerale stikstof en organisch gebonden stikstof worden door bemesting en beweiding op het land gebracht. Door intensivering van het landbouwkundig grondgebruik gedurende de laatste decennia is de mestgift op landbouwgronden toegenomen. Door mineralisatie wordt organisch gebonden stikstof omgezet in minerale stikstof. Ammonium wordt in de wortelzone binnen 14 dagen omgezet in nitraat. De beschikbaarheid van nitraat in de wortelzone verloopt niet synchroon met de behoefte van de gewassen (groeiseizoen). Nitraat is goed oplosbaar en mobiel (sorbeert niet aan de bodem). Daarom spoelt nitraat uit de wortelzone. Op landbouwgronden worden de uitspoelingsverliezen gecompenseerd door extra te bemesten. In gebieden met intensieve veehouderij wordt het mestoverschot nog grotendeels op bouwland uitgereden. De gemiddelde stikstofbelasting van landbouwgronden is mede daardoor in grote delen van het land hoger dan 600 kg/(ha.a) (RIVM, 1992, MDR 1991, deel I, blz. 39).

Uitgespoeld nitraat komt na passage van de onverzadigde zone in het grondwater terecht. Nitraat kan in een anaërobe omgeving worden gereduceerd en verdwijnt dan uit het grondwater in de vorm van  $\text{N}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$  (lachgas). Bij dit proces (denitrificatie) is een electrondonor nodig, bijv. pyriet of organische stof. De omzetting verloopt snel in vergelijking tot de tijd, die aan de oppervlakte geïnfiltreerd regenwater nodig heeft om op een diepte van 10 meter - mv te komen. Op grond van het bovenstaande zijn hoge

concentraties in het grondwater te verwachten in de hoger gelegen zandgebieden (infiltratiegebieden) met aëroob grondwater en een hoge bemestingsintensiteit. Hoger gelegen zandgronden worden op de bodemkaart aangegeven met hoge Gt's (grondwatertrap). Bij lage Gt's (nattere gronden) zijn de gemiddelde concentraties lager dan bij hoge Gt's (Boumans et al. 1989). Zelfs onder bossen op hoger gelegen zandgronden met een hoge atmosferische N-depositie zijn hoge nitraatconcentraties te verwachten (Boumans, 1994).

Verwacht wordt dat de nitraatconcentraties in de zandgebieden zullen stijgen doordat de denitrificatiecapaciteit afneemt, de grondwaterstand is gedaald en de stikstofbelasting is toegenomen.

### **3.5.1 Nitraat**

#### **Nitraatconcentraties in 1992**

De streefwaarde voor nitraat-stikstof in grondwater bedraagt 5,6 g/m<sup>3</sup> (VROM, 1992). De drinkwaternorm bedraagt 11,3 g/m<sup>3</sup> (Waterleidingbesluit, 1984).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 23 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De BI voor de groepen in het westen van het land zijn zeer laag (in de buurt van het detectieniveau). Dit is de natuurlijke situatie, waarbij nitraat niet in het grondwater voorkomt. In het diepe grondwater onder tuinbouw op duinzand (t/dz) komt nitraat voor. In het grondwater onder gras op rivierklei (g/rk) komt geen nitraat voor. Dit in tegenstelling tot het grondwater onder bebouwd gebied op rivierklei (s/rk), waar wel nitraat in voorkomt.

In het ondiepe grondwater in de zandgebieden komen hogere nitraatconcentraties voor dan elders. Vooral onder gras op zand (g/z), maïs op zand (m/z) en akkerbouw op zand (a/z) zijn hoge concentraties gevonden. Met uitzondering van maïs op zand liggen de gemiddelde concentraties in het diepe grondwater duidelijk onder de streefwaarde.

De gemiddelde concentraties zijn afhankelijk van de grondwatertrap. Bij lage Gt's (nattere gronden) zijn de gemiddelde concentraties lager dan bij hoge Gt's (drogere gronden). Dit wordt geïllustreerd met figuur 24. Voor gras en bouwland op zand is het verschijnsel duidelijker dan voor bos op zand.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz. 11.

In figuur 23 zijn 95%-BI weergegeven voor het percentage OBS per grondge-

bruik/grondsoort. Bij de groepen gras op veen (g/v), gras op zeeklei (g/zk), akkerbouw op zeeklei (a/zk) en gras op rivierklei (g/rk) zijn lage percentages boven de streefwaarde in zowel ondiep als diep grondwater aangetroffen. Voor bebouwd op zeeklei (s/zk) is ook een laag percentage OBS gevonden.

Hoge percentages OBS zijn gevonden in het ondiepe grondwater onder gras op zand (g/z) en akkerbouw op zand (a/z). Een zeer hoog percentage OBS is gevonden in het ondiepe grondwater onder maïs op zand (m/z). In het diepe grondwater zijn lage percentages OBS gevonden voor gras op zand (g/z) en bos op zand (b/z).

### *OBS per regio*

Voor de fysisch-geografische gebieden in het westen van het land en het rivierengebied zijn lage percentages OBS gevonden (figuur 25). In drie van de vier zandgebieden zijn hoge percentages OBS in het ondiepe grondwater gevonden. Het percentage OBS is ook hoog in het diepe grondwater van het centraal zandgebied en Zuid-Limburg.

De diepte van de grondwaterspiegel is een belangrijke factor (figuur 24). Dit wordt bevestigd door de hoge percentages OBS in het ondiepe grondwater van de stuwwallen, de Peelhorst en het zuidwestelijk zandgebied. In de Centrale Slenk is een zeer laag percentage OBS in het diepe grondwater gevonden.

### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1993**

In figuur 27 is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per jaar en per zandgebied. Uit de figuur is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde afgeleid (tabel 8). In het ondiepe grondwater van het oostelijk zandgebied en het centraal zandgebied zijn de percentages in de laatste vijf jaar hoger dan in de vijf jaar daarvoor. In het diepe grondwater van het centraal zandgebied is het percentage de laatste jaren hoger dan daarvoor.

In figuur 26 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering in de nitraatconcentratie per groep en per gebied weergegeven. Een duidelijke stijging in de nitraatconcentratie is vastgesteld voor het ondiepe grondwater in het centraal zandgebied. De stijging bedraagt circa 2 g/m<sup>3</sup> in 10 jaar (zie bijlage 2).

### **Discussie**

Hoge nitraatconcentraties komen voor in de zandgebieden, met name in het ondiepe grondwater onder landbouwgronden. Algemeen wordt aangenomen dat de hoge bemestingsintensiteit de belangrijkste oorzaak is. Dat de nitraatconcentraties in het grondwater niet hoger zijn en ook niet overal voorkomen, is mogelijk het gevolg van denitrificatie. In het centraal zandgebied en Zuid-Limburg, waar in het diepe grondwater

Tabel 8 Percentage waarnemingen boven de streefwaarde voor nitraat-N per zandgebied

zandgebied	ondiep	diep	verandering
noordelijk	10-15	2-3	geen
oostelijk	20-30	8-12	ondiep: '89-'93 hoger dan '84-'88
centraal	15-30	10-25	ondiep: '89-'93 hoger dan '84-'88; diep: laatste jaren hoger
zuidelijk	30-35	2-3	geen

hoge nitraatconcentraties worden gevonden, komt op grote diepte toch aëroob grondwater voor. Een ander geval doet zich voor bij gras op rivierklei, waar geen nitraat in het grondwater voorkomt. In het grondwater onder bebouwd gebied op rivierklei komt wel nitraat voor. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat gras doorgaans op de zwaardere kleigronden voorkomt, terwijl dorpen en steden in het rivierengebied op de hoger gelegen oeverwallen liggen, die gevoeliger zijn voor nitraatuitspoeling dan de zwaardere komgronden.

In het ondiepe grondwater in het centraal zandgebied stijgt de gemiddelde nitraatconcentratie duidelijk. Dit zou in verband gebracht kunnen worden met aëroob grondwater, met name in de stuwwallen. In Van Drecht et al. (1994) werd ook een gemiddelde stijging in de periode 1984-1992 vastgesteld, maar deze was (net) niet significant.

### 3.5.2 Ammonium

#### Ammoniumconcentraties in 1992

Hoge ammoniumconcentraties in grondwater komen van nature alleen voor als ter plaatse aanwezig organisch materiaal wordt afgebroken. Dat is ook de reden dat de streefwaarde voor ammonium-N voor klei- en veengebieden, 10 g/m<sup>3</sup>, hoger is dan voor zandgebieden, 2 g/m<sup>3</sup>.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 28 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. In het westen van het land komen hoge ammoniumconcentraties voor. Typisch is de toename van de gemiddelde concentraties in de reeks b/dz, t/dz, g/v, g/zk, a/zk, s/zk. Bij de laatste groep komt de gemiddelde concentratie

zelfs significant boven de streefwaarde voor klei- en veengebieden uit.

De gemiddelde concentraties in het rivierengebied liggen ver onder de streefwaarde voor kleigebieden. Voor de meeste groepen in het rivierengebied en in de zandgebieden zijn gemiddelde concentraties vastgesteld, die in de buurt liggen van de streefwaarde voor de zandgebieden.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Zeer hoge percentages OBS zijn vastgesteld in het diepe grondwater onder tuinbouw op duinzand (t/dz), akkerbouw op zeeklei (a/zk) en bebouwd op zeeklei (s/zk). Voor gras op zeeklei (g/zk) is alleen in het ondiepe grondwater een zeer hoog percentage OBS vastgesteld. In het rivierengebied en de zandgebieden komen weinig overschrijdingen van de streefwaarde voor. Uitzonderingen zijn de hoge percentages OBS voor akkerbouw op zand (a/z) en bebouwd op zand (s/z).

#### *OBS per regio*

In het westen en noorden van het land zijn de percentages OBS per gebied hoog tot zeer hoog (figuur 29). In het zuiden en oosten zijn de percentages per gebied laag tot zeer laag. Dit beeld wordt grotendeels bevestigd door de percentages OBS per eco-district. Voor de veenkoloniën is een zeer hoog percentage OBS gevonden. Het percentage OBS voor het Drents Plateau is niet hoog en niet laag. Het zeer hoge percentage OBS voor het hele noordelijke zandgebied wordt veroorzaakt door de veenkoloniën in het gebied.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1992**

In figuur 31 is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per jaar en per zandgebied. Het percentage is stabiel. In figuur 30 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering in de concentratie per groep en per gebied weergegeven. Er is geen duidelijke verandering in de concentratie vastgesteld (zie ook bijlage 2).

#### **Discussie**

De hoge ammoniumconcentraties voor de groepen in het westen van het land zijn te verklaren uit de anaërobe afbraak van organische stof. De meetpunten in de groep akkerbouw op zand liggen grotendeels in het Groningse zandgebied. De afbraak van restveen in de ondergrond kan als mogelijke oorzaak van de hoge percentages OBS worden aangevoerd. Voor de hoge concentraties in het grondwater onder bebouwd op

zand zijn meerdere verklaringen mogelijk. Naast anaërobe afbraak van organische stof kunnen ook lekkende riolen een bron van ammonium vormen.

### 3.6 Fosfor

Fosfor is onmisbaar voor de groei en bloei van gewassen. De gemiddelde atmosferische depositie van fosfor in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg circa 0,09 kg/(ha.a) (tabel 7). Bij deze aanvoersnelheid zal in bos- en natuurgebieden geen overschot ontstaan.

Op landbouwgronden wordt in de behoefte aan fosfor voorzien via dierlijke mest, kunstmest en door de mest van het vee in de wei. In een ton rundveedrijfmest zit ongeveer 1 kg fosfor (PR, 1988). Bij een bemesting van 100 ton/(ha.a) wordt 100 kg/(ha.a) fosfor aan de bovengrond toegevoerd. De aanvoer van fosfor door bemesting is als regel hoger dan de afvoer met het gewas. Als gevolg van de grote sorptiecapaciteit van de bodem en de daaraan gekoppelde geringe uitspoeling accumuleert fosfor in de bovengrond. Na jaren van overvloedige bemesting met dierlijke mest kan de P-concentratie in het bovenste grondwater toenemen. In gebieden met buizendrainage zal tegelijkertijd de P-belasting van de sloten toenemen. Daarvan zal weinig te merken zijn in het grondwater op een diepte van zo'n 10 meter, omdat het vele jaren duurt voordat de sorptiecapaciteit voor fosfor in de verzadigde zone is opgevuld.

#### P-concentraties in 1991

Fosfor kan gemeten worden als ortho-fosfaat en als totaal-fosfor. In het landelijk meetnet grondwaterkwaliteit wordt alleen totaal-fosfor gemeten, omdat er alleen voor totaal-fosfor streefwaarden zijn. Er zijn geen waarnemingen voor het jaar 1992, wel voor de jaren 1991 en 1993. In deze rapportage worden de waarnemingen van 1991 beschouwd. De waarnemingen van 1993 zijn beschouwd in de CCRX-jaarrapportage van 1993 (CCRX, 1995).

De streefwaarde voor totaal-P in grondwater bedraagt voor zandgebieden 0,4 g/m<sup>3</sup> en voor de klei- en veengebieden 3 g/m<sup>3</sup> (VROM, 1992). De achtergrond van de lage waarde voor de zandgebieden is dat er van nature weinig fosfor in grondwater van de zandgebieden voorkomt. In klei- en veenlagen komt van nature meer fosfor voor.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 32 zijn 95%-BI voor het gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. In het westen van het land zijn de gemiddelde concentraties hoger dan in het rivierengebied en in de zandgebieden. De gemiddelde

concentraties voor bebouwd op zand (s/z) zijn hoger dan voor landbouw op zand (g/z,m/z,a/z) en bos op zand (b/z). De gemiddelde concentraties voor landbouw en bos op zand zijn ook duidelijk lager dan de streefwaarde.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

In figuur 32 zijn ook 95%-BI voor het percentage OBS per grondgebruik/grondsoort weergegeven. Zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor tuinbouw op duinzand (t/dz, zowel ondiep als diep), voor bos op duinzand (b/dz, diep) en voor bebouwd op zeeklei (s/zk, ondiep). Hoge percentages OBS zijn gevonden voor akkerbouw op zeeklei (a/zk, ondiep) en bebouwd gebied op zeeklei (s/zk, ondiep) en bebouwd gebied op zand (s/z, ondiep en diep).

#### *OBS per regio*

In figuur 33 zijn de percentages OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district op de kaart weergegeven. In het westen van het land komen hoge percentages OBS per fysisch-geografisch gebied voor. Hoge percentages OBS zijn ook gevonden in het grondwater van de eco-districten van de steden en de droogmakerijen in Noord- en Zuid-Holland. In de zandgebieden, met name in het zuidelijk zandgebied zijn de percentages OBS laag.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1993**

In figuur 35 is het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per jaar en per zandgebied. Het percentage blijkt vrij stabiel te zijn. De percentages in het jaar 1986 wijken af van het algemene beeld. De waarnemingen in 1992 zijn niet weergegeven, omdat deze niet landsdekkend beschikbaar zijn. In figuur 34 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering in de P-concentratie per groep en per gebied weergegeven. Een duidelijke stijging van de concentratie is vastgesteld voor het diepe grondwater onder bebouwd op zeeklei en veen (s/zk) en het ondiepe grondwater in het laagveengebied (bijlage 2). In vergelijking tot de streefwaarden zijn de vastgestelde stijgingen gering.

#### **Discussie**

De hoge percentages OBS in het grondwater onder tuinbouw en bos op duinzand zijn te verklaren uit de gehanteerde streefwaarde voor zand. Het gebied bestaat uit zand, maar in de ondergrond zitten klei- en veenlagen met hoge P-concentraties. De hoge percenta-



ges OBS in het grondwater van akkerbouw en bebouwd gebied op zeeklei en de droogmakerijen in Noord- en Zuid-Holland zijn te verklaren uit afbraak van veen in de ondergrond. De hoge percentages OBS onder bebouwd gebied op zand zijn mogelijk het gevolg van lekkende riolen. De resultaten voor 1986 (figuur 35) geven aanleiding om aan de kwaliteit van de waarnemingen van dat jaar te twijfelen.

De duidelijke stijging van de gemiddelde concentraties in het grondwater in de laagveen- en zeekleigebieden wordt niet verwacht. Er kan voor de stijging ook geen verklaring worden gegeven. Daarom worden aan de stijging van P-concentraties in het meetnet geen algemeen geldende conclusies voor het grondwater verbonden.

### **3.7 Kalium**

Kalium is een macro-nutriënt voor de plantengroei. Van macro-nutriënten heeft een plant meer nodig dan van spoorelementen. Kalium komt beschikbaar door verwerking van kaliumhoudende mineralen en door uitwisseling tussen bodemoplossing en het negatief geladen adsorptiecomplex van de bodem. De gemiddelde atmosferische depositie van kalium in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 1,6 kg/(ha.a) (tabel 7).

Op landbouwgronden bestaat de aanvoer hoofdzakelijk uit dierlijke mest en de mest en urine van vee in de weide. Een ton rundveedrijfmest bevat circa 4,5 kg kalium (PR, 1988). Bij een drijfmestgift van 100 ton/(ha.a) is de aanvoer van kalium gelijk aan 450 kg/(ha.a). Kalium is goed oplosbaar en spoelt daarom gemakkelijk uit de wortelzone. De effectiviteit van kalium in dierlijke mest voor de teelt van gewassen ligt tussen de 40 en 100%. Op bouwland wordt behalve dierlijke mest ook kunstmest gebruikt om in de behoefte aan kalium te voorzien. Bij gebruik van dierlijke mest wordt vaak meer kalium toegevoerd dan het gewas kan opnemen. Kalium wordt niet afgebroken en vervluchtigt ook niet. Daarom spoelt een groot deel van het jaarlijkse overschot op de kaliumbalans van de wortelzone uit.

Hogere kaliumconcentraties komen van nature voor in brak en zout grondwater. In kleihoudende grondsoorten kan kalium worden gebonden (gefixeerd). Door de geringe sorptiecapaciteit van zandgrond is de kaliumfixatie op zandgrond gering. Door intensivering van het landbouwkundig grondgebruik gedurende de laatste decennia wordt een toename van de kaliumconcentraties verwacht. Hogere kaliumconcentraties in het grondwater kunnen ook het gevolg zijn van lekkende rioleringsstelsels.

#### **Kaliumconcentraties in 1992**

Er is geen streefwaarde voor kalium in grondwater. De drinkwaternorm voor kalium in het grondwater bedraagt 12 g/m<sup>3</sup> (Waterleidingbesluit, 1984). Met het percentage OBD wordt dus bedoeld: het percentage oppervlakte met een concentratie hoger dan de

drinkwaternorm.

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 36 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De gemiddelde concentraties in het westen van het land zijn hoog. Het BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder bos op duinzand (b/dz) is lager dan onder tuinbouw op duinzand (t/dz). De BI voor gras op veen (g/v) zijn lager dan die voor gras op zeeklei (g/zk).

De gemiddelde concentraties onder gras op rivierklei (g/rk) liggen op een laag niveau van ca 2 g/m<sup>3</sup>. De BI voor bebouwd op rivierklei (s/rk) zijn hoger dan onder gras op rivierklei. De BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder landbouw en bos op zand zijn hoger dan in het diepe grondwater. Het BI voor de gemiddelde concentratie in het diepe grondwater onder bebouwd op zand (s/z) ligt duidelijk hoger dan in het diepe grondwater onder landbouwgronden en bos op zand.

#### *OBD per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBD is uitgelegd op blz 11.

In figuur 36 zijn ook 95%-BI voor het percentage OBD per grondgebruik/grondsoort weergegeven. Het percentage OBD is zeer hoog in het grondwater onder tuinbouw op duinzand (t/dz) en onder de groepen op zeeklei (g/zk,a/zk,s/zk). In de zandgebieden zijn de percentages OBD hoog in het ondiepe grondwater onder landbouw op zand. De percentages OBD in het grondwater onder bebouwd op zand zijn hoog tot zeer hoog.

#### *OBD per regio*

In figuur 37 zijn 95%-BI voor de percentages OBD per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. Voor de gebieden in het westen van het land zijn zeer hoge percentages OBD gevonden in zowel het ondiepe als het diepe grondwater. Het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied heeft een hoog percentage OBD. In het diepe grondwater in de zandgebieden en het rivierengebied zijn lage tot zeer lage percentages OBD gevonden. Bij de gebiedsindeling in eco-districten vallen de stedelijke gebieden met zeer hoge percentages OBD in het ondiepe en diepe grondwater op.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1984-1993**

In figuur 39 is het percentage waarnemingen boven de drinkwaternorm weergegeven per jaar en per zandgebied. In het algemeen blijkt het percentage stabiel. De percentages nemen over 10 jaar hooguit enkele procenten toe of af. In figuur 38 zijn 95%-BI voor de gemiddelde verandering in de kaliumconcentratie per groep en per gebied weergege-

ven. Op basis van de analyseresultaten in bijlage 2 is een duidelijke stijging in de kaliumconcentratie gevonden voor het diepe grondwater in heel Nederland. De gemiddelde stijging in het diepe grondwater bedroeg  $0,5 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar.

### **Discussie**

De hoge gemiddelde concentraties in het westen van het land kunnen worden verklaard uit de aanwezigheid van brak en zout grondwater. Dat verklaart ook de brede BI voor de gemiddelde concentraties. De gemiddelde concentraties onder bebouwd op rivierklei zijn hoger dan onder gras op rivierklei. Bekend is dat de kaliumfixatie in de bovengrond van de rivierkleigronden groot kan zijn doordat deze gronden al eeuwen landbouwkundig gebruikt worden. Bebouwing in het rivierengebied vindt van oudsher plaats op de hoger gelegen zandige stroomruggronden, waaruit kalium gemakkelijk uitspoelt.

De gemiddelde concentraties in het ondiepe grondwater in het zandgebied zijn hoger dan in het diepe grondwater. Dit wijst op uitspoeling van kalium. In het ondiepe grondwater zijn ook hoge percentages OBD onder landbouwgronden gevonden. De hoge concentraties kunnen veroorzaakt zijn door de intensivering van het landbouwkundig grondgebruik gedurende de laatste 40 jaar. Deze verklaring wordt ondersteund door de veel lagere percentages OBD in het diepe grondwater, omdat de verblijftijd in het diepe grondwater gemakkelijk groter kan zijn dan 40 jaar.

De gemiddelde concentratie in het diepe grondwater onder bebouwd op zand is duidelijk hoger dan in het diepe grondwater onder landbouwgronden en bos op zand. In stedelijke gebieden zouden lekkende riolen de oorzaak van de hoge concentraties kunnen zijn (vergelijk met ammonium en totaal-P).

### **3.8 Spooelementen**

Spoorelementen zijn o.a. arseen, lood, koper, zink, cadmium, kwik en chroom. Spooelementen worden in de lucht gebracht door de industrie, het verkeer, de verbranding van huisvuil en de verbranding van fossiele brandstoffen voor verwarming van huishoudens. Deze dragen via de atmosferische depositie bij aan de belasting van de bodem met spooelementen. De aanvoer van spooelementen op landbouwgronden komt vooral door bemesting. Verder zijn er nog bijdragen door het gebruik van bestrijdingsmiddelen en door de jacht (loodhagel). Fraters (1991) evalueerde de bijdragen van de verschillende bronnen van diffuse belasting. In tabel 9 is de gemiddelde diffuse belasting van de landbouwgronden gegeven. Van links naar rechts neemt het aandeel van de atmosferische depositie in de totale aanvoer af. De atmosferische depositie blijkt de belangrijkste bron voor kwik en lood op landbouwgronden te zijn. Berekeningen van de aanvoer van spooelementen via dierlijke mest en kunstmest vonden plaats in het kader van de 2e

Nationale Milieuverkenning (Hoogervorst, 1992) en de Milieudiagnose Rapportage (RIVM, 1992, deel 1).

Op basis van chemische eigenschappen wordt verwacht dat de concentraties van sporelementen, die als kation in het grondwater voorkomen, door verzuring worden verhoogd. Van de onderzochte sporelementen binden chroom, koper en lood beter aan de bodem dan cadmium en zink. Dit betekent dat verzuring eerder zal leiden tot concentratieverhoging van cadmium en zink dan van chroom, koper en lood. Door complexering met van nature aanwezige opgeloste organische stof kunnen chroom, koper en lood wel in hogere concentraties voorkomen. Arseen komt als anion voor en zal onder invloed van verzuring juist in lagere concentraties voorkomen. Hoge concentraties aan chroom, lood, koper en arseen in het grondwater zullen daarom naar verwachting niet door verzuring worden veroorzaakt, maar door natuurlijke omstandigheden (Boumans en Fraters, 1993).

Tabel 9 Aanvoer van enkele sporelementen op landbouwgronden in 1989 in g/(ha.a), naar Fraters (1991)

bron	lood	kwik	arseen	cadmium	zink	koper
dierlijke mest	27	0,25	4,2	2,1	665	340
kunstmest	14	0,25	1,8	3,75	126	13,5
zuiveringsslib	7,0	0,1	0,3	0,15	46	14,5
bestrijdingsmiddelen	-	-	-	-	34	6,0
atmos. depositie	115	0,85	4,2	0,85	43	11,5
atmos. depositie (%)	(71)	(59)	(40)	(13)	(5)	(3)
totaal	163	1,45	10,5	6,8	914	388

### 3.8.1 Arseen

Diffuse belasting van de bodem met arseen vindt plaats door atmosferische depositie en door gebruik van dierlijke mest en kunstmest. De atmosferische arseendepositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 6,5 g/(ha.a) (tabel 7). De belasting van landbouwgronden is in de periode 1980-1990 gedaald met zo'n 70%, voornamelijk als gevolg van het verbod van het gebruik van arseenhoudende bestrijdingsmiddelen. Driewaardig arseen is toxischer dan vijfwaardig arseen. In het LMG wordt arseen gemeten als totaal-arseen. Onder anaërobe omstandigheden is arseen in water oplosbaar. Daardoor kunnen hoge concentraties in het grondwater voorkomen, m.n. in kwelgebieden.

#### Arseenconcentraties in 1992

De streefwaarde voor arseen in grondwater bedraagt 10 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 40 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De meeste BI liggen onder de streefwaarde. De BI voor gras op rivierklei (g/rk) en bebouwd op rivierklei (s/rk) zijn breed, als gevolg van enkele hoge concentraties binnen de groep.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Voor geen enkele groep grondgebruik/grondsoort is een hoog percentage OBS vastgesteld. Overschrijding van de streefwaarde vindt voornamelijk plaats in het ondiepe grondwater onder bebouwd gebied op zeeklei, rivierklei en zand (s/zk,s/rk,s/z, figuur 40).

#### *OBS per regio*

Voor veel gebieden is een laag percentage OBS vastgesteld (figuur 41). Een zeer laag percentage OBS is gevonden voor het centraal zandgebied (ondiep en diep grondwater) en het zuidelijk zandgebied (diep grondwater).

In het ondiepe grondwater van de zeekleigebieden (eco-district) is een hoog percentage OBS gevonden, terwijl in het laagveengebied (eco-district) een zeer laag percentage OBS is gevonden.

### Verandering van de concentratie in de periode 1990-1993

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat arseen pas vier jaar in alle meetpunten van het meetnet is bepaald. In figuur 42 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. Er is weinig verloop van de percentages in de periode te zien.

### 3.8.2 Lood

Lood komt in het milieu voornamelijk voor in de vaste fase. Organisch-gebonden lood (uit de benzine) wordt door het verkeer geëmitteerd en wordt in de atmosfeer grotendeels omgezet in lood-aërosolen (CCRX, 1995). De loodemissie is tussen 1980 en 1985 gedaald. Diffuse belasting van de bodem met lood vindt plaats door atmosferische depositie en het gebruik van dierlijke mest en kunstmest. De gemiddelde atmosferische looddepositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 143 g/(ha.a) (tabel 7). Lood sorbeert goed aan de bodem en er zijn daarom geen hoge concentraties in het grondwater te verwachten.

### Loodconcentraties in 1992

De streefwaarde voor lood in het grondwater bedraagt 15 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 43 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. Alleen in het ondiepe en diepe grondwater onder gras op zeelei (g/zk) zijn hoge concentraties gevonden. Bij de overige groepen ligt het BI voor de gemiddelde concentratie ruim onder de streefwaarde.

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Er is geen groep met een hoog percentage OBS (figuur 43). Het percentage OBS voor gras op zeelei (g/zk) blijkt ook geen uitzondering te vormen. De percentages OBS voor gras, bos en bebouwd op zand (g/z,b/z,s/z) zijn zeer laag (<10%).

#### *OBS per regio*

In figuur 44 zijn 95%-BI voor het percentage OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. In veel gebieden en eco-districten is het percentage OBS laag tot zeer laag. Enkele gebieden, zoals Zuid-Limburg zijn "niet onderscheidbaar",

wat in veel gevallen er op neer komt dat er te weinig waarnemingen zijn.

### **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1992**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat voor lood slechts drie jaar landsdekkende metingen beschikbaar zijn. In figuur 45 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. In het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied daalt het percentage van 10 naar 5%. In het ondiepe grondwater van het centraal zandgebied komen een paar waarnemingen in 1991 ruim boven de streefwaarde uit.

### **3.8.3 Chroom**

Chroom komt in de bodem hoofdzakelijk voor als het stabiele Cr(III). Cr(VI) is weinig stabiel en schadelijk voor flora en fauna en is grotendeels afkomstig van emissies (lucht) van olieraffinaderijen, metaal- en verfindustrie. De gemiddelde atmosferische depositie van chroom in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg <5 g/(ha.a) (tabel 7). Voor landbouwgronden is de aanvoer van chroom in dierlijke mest en kunstmest van belang. In het LMG wordt geen Cr(VI), maar totaal-Cr gemeten. Totaal-Cr bestaat in grondwater voornamelijk uit Cr(III). Op het gedrag van chroom in grondwater wordt ingegaan door Boumans en Fraters (1993). Hogere chroomconcentraties kunnen voorkomen door complexering van chroom met opgeloste organische stof. Op die manier kan chroom mobiel worden.

### **Chroomconcentraties in 1991**

De waarnemingen van het jaar 1991 zijn gebruikt, omdat geen waarnemingen van het jaar 1992 beschikbaar zijn. De streefwaarde voor chroom in grondwater bedraagt 1 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 46 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De BI voor de gemiddelde concentraties zijn breed bij ondiep grondwater onder bos op duinzand (b/dz) en diep grondwater onder bebouwd op zand (s/z). Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door enkele extreme waarden in de groep. Het BI voor de gemiddelde concentraties in het diepe grondwater in de duinen (b/dz) ligt onder de streefwaarde. Ook de BI voor de gemiddelde concentraties in het ondiepe en diepe grondwater onder gras en bebouwd op rivierklei (g/rk, s/rk) liggen onder de streefwaarde. Bij de meeste andere groepen liggen de BI hoger.

*OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Overschrijding van de streefwaarde voor chroom is geen bijzonderheid (figuur 46). Zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor groepen in het laagveen- en zeekleigebied en in het zandgebied.

*OBS per regio*

In figuur 47 zijn 95%-BI voor het percentage oppervlakte met een concentratie in het grondwater hoger dan  $2 \text{ mg/m}^3$  per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. De grens van  $2 \text{ mg/m}^3$  is gekozen om enige variatie in de figuur te krijgen. De percentages zijn zeer hoog in het ondiepe grondwater van het zeekleigebied en het noordelijk zandgebied. De percentages zijn hoog in het ondiepe grondwater van het laagveengebied, het rivierengebied en het centraal zandgebied. Ook in het diepe grondwater van het noordelijk zandgebied is het percentage zeer hoog.

**Verandering van de concentratie in de periode 1990-1991**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat chroom niet regelmatig wordt bepaald. In figuur 48 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. De verschillen tussen de meetjaren 1990 en 1991 zijn groot.

**Discussie**

De hoge chroomconcentraties in het grondwater in de laagveengebieden, zeekleigebieden en het noordelijk zandgebied wijzen op een verband tussen hoge chroomconcentraties en organische stof in de ondergrond. De grote verschillen tussen de percentages waarnemingen boven de streefwaarde van 1990 en 1991 zijn mogelijk veroorzaakt door verschillen in de monsterbehandeling en/of analysemethoden. Voor de jaren 1992 en 1993 zijn slechts de waarnemingen van enkele provinciale meetnetten beschikbaar.

**3.8.4 Nikkel**

De gemiddelde atmosferische nikkeldepositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg  $10 \text{ g/(ha.a)}$  (tabel 7). Verder komt nikkel op de bodem door het gebruik van dierlijke mest en kunstmest. Nikkel accumuleert in de bovengrond omdat het goed sorbeert. Bij lage pH kan opgelost nikkel in het grondwater voorkomen. Alleen bij een lage pH zijn hoge concentraties in het grondwater mogelijk.



## **Nikkelconcentraties in 1992**

De streefwaarde voor nikkel in grondwater bedraagt 15 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 49 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De BI voor groepen in het westen van het land en in het rivierengebied liggen allen ver onder de streefwaarde. In het zandgebied komen hoge concentraties voor, zoals blijkt uit de brede BI voor de gemiddelde concentraties. In het diepe grondwater onder akkerbouw op zand (a/z) en bos op zand (b/z) zijn de gemiddelde concentraties laag. Ook in het ondiepe en diepe grondwater onder bebouwd gebied op zand (s/z) zijn de gemiddelde concentraties laag.

### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Alleen in het ondiepe grondwater onder landbouwgewassen en bos op zand zijn hoge percentages OBS gevonden.

### *OBS per regio*

In figuur 50 zijn 95%-BI voor het percentage OBS in het grondwater per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. In een groot deel van Nederland zijn de percentages OBS in het ondiepe en diepe grondwater laag tot zeer laag. Alleen in het ondiepe grondwater in het zuidelijk zandgebied is het percentage OBS zeer hoog. Deze figuur verschaft ook meer inzicht over het percentage OBS in de verschillende eco-districten van het zuidelijke zandgebied. Een zeer hoog percentages OBS is gevonden in het ondiepe grondwater van de Peelhorst. In het ondiepe grondwater van het zuidwestelijk zandgebied en de Maasterrassen gelden hoge percentages OBS.

## **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1992**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat nikkel pas drie jaar in alle meetpunten van het meetnet is bepaald. In figuur 51 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. In het zuidelijk zandgebied is het percentage in het ondiepe grondwater hoog en stabiel. In het diepe grondwater is het percentage lager en ook stabiel.

### 3.8.5 Cadmium

De belangrijkste emissiebronnen van cadmium zijn de zink- en ijzerindustrie en de fossiele brandstoffen. De diffuse cadmiumbelasting van de bodem komt voornamelijk door de atmosferische depositie en het gebruik van dierlijke mest en kunstmest (tabel 9). De gemiddelde atmosferische depositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 1,9 g/(ha.a) (tabel 7). Door emissiebeperkende maatregelen van de industrie is de atmosferische depositie gedaald van 20 ton in 1984 tot 6 ton in 1994. Het is niet waarschijnlijk dat de daling al in 1992 invloed op de cadmiumconcentratie op een diepte van 10 meter heeft gehad. Voor landbouwgronden is de belasting via de mest de belangrijkste bron (tabel 9). De processen, die verantwoordelijk zijn voor de uitspoeling van cadmium uit de bovengrond worden door Boumans en Fraters (1993) behandeld.

#### Cadmiumconcentraties in 1992

De streefwaarde voor cadmium in grondwater bedraagt 0,4 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

##### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 52 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De figuren voor cadmium vertonen veel overeenkomst met die van nikkel en zink. De BI voor de gemiddelde concentratie in het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand (m/z,a/z,b/z) komen boven de streefwaarde uit.

##### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Over het algemeen zijn de percentages OBS per groep laag. In het diepe grondwater onder grasland op zand (g/z) is zelfs een zeer laag percentage OBS gevonden. Hoge en zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor respectievelijk akkerbouw en maïs op zand (a/z,m/z).

##### *OBS per regio*

In figuur 53 zijn 95%-BI voor het percentage OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. Alleen in het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is een zeer hoog percentage OBS gevonden. Het percentage OBS in het diepe grondwater is juist zeer laag. Het kaartbeeld van het percentage OBS per eco-district laat zien dat het percentage OBS in het ondiepe grondwater van de Peelhorst zeer hoog is. In de Centrale Slenk is het percentage OBS juist laag.

### **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1992**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat cadmium pas drie jaar in alle meetpunten van het meetnet is bepaald. In figuur 54 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. De percentages zijn stabiel (geen verandering).

### **Discussie**

Het kaartbeeld van het percentage OBS per eco-district laat zien dat het percentage OBS in het ondiepe grondwater van de Peelhorst zeer hoog is. In de Centrale Slenk is het percentage OBS juist laag. De hoge concentraties kunnen veroorzaakt zijn door een combinatie van lage pH-waarden in het grondwater en de sinds historische tijden met metalen belaste bodem in dit gebied.

### **3.8.6 Zink**

Zink is een veel voorkomend zwaar metaal. Emissies naar de lucht zijn het gevolg van industriële activiteiten en afvalverbranding. De gemiddelde atmosferische zinkdepositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 195 g/(ha.a) (tabel 7). Verder komt zink op de bodem door het gebruik van dierlijke mest en kunstmest en zinkhoudende bestrijdingsmiddelen. Op landbouwgronden is de bijdrage van dierlijke mest en kunstmest goed voor 87% van de totale zinkbelasting (tabel 9). Het gedrag van zink in de bodem wordt behandeld in Boumans en Fraters (1993).

### **Zinkconcentraties in 1992**

De streefwaarde voor zink in het grondwater bedraagt 65 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

#### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 55 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De figuur voor zink vertoont veel overeenkomst met die van nikkel en cadmium. De BI voor de gemiddelde concentratie van de meeste groepen liggen duidelijk onder de streefwaarde. Aan de brede BI voor landbouwgewassen (g/z,m/z,a/z) en bos op zand (b/z) is af te leiden dat er hoge zinkconcentraties in deze groepen voorkomen. Aan het smalle BI voor bebouwd op zand (s/z) is te zien dat in deze groep geen hoge zinkconcentraties voorkomen. Hoge en lage gemiddelde concentraties corresponderen met lage en hoge gemiddelde pH's (figuur 11).

#### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streef-

waarde) is uitgelegd op blz 11.

In figuur 55 zijn ook 95%-BI voor het percentage OBS per grondgebruik/grondsoort weergegeven. Hoge percentages OBS zijn vastgesteld in het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand (m/z,a/z,b/z).

#### *OBS per regio*

In figuur 56 zijn 95%-BI voor het percentage OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. In het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is een hoog percentage OBS gevonden. Het percentage OBS in het diepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is juist laag.

Het percentage OBS in het ondiepe grondwater van het zuidwestelijk zandgebied is zeer hoog. Het ondiepe grondwater van de Peelhorst heeft een hoog percentage OBS. In de Centrale Slenk is het percentage OBS in het diepe grondwater zeer laag.

#### **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1993**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat zink pas vier jaar in alle meetpunten van het meetnet is bepaald. In figuur 57 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. De veranderingen zijn gering. In het ondiepe grondwater in het zuidelijk zandgebied neemt het percentage boven 2x de streefwaarde toe, terwijl het percentage boven de streefwaarde gelijk blijft. Dit wijst op stijgende concentraties in het ondiepe grondwater.

#### **Discussie**

De hoge zinkconcentraties en de hoge percentages OBS in het ondiepe grondwater van de Peelhorst en het zuidwestelijk zandgebied kunnen veroorzaakt zijn door een combinatie van lage pH-waarden in het grondwater en de sinds historische tijden met metalen belaste bodem in dit gebied.

#### **3.8.7 Koper**

Koper is noodzakelijk voor de groei van gewassen. De gemiddelde atmosferische koperdepositie in de periode 1983-1987 te De Bilt bedroeg 39 g/(ha.a) (tabel 7). Natuurlijke vegetatie kan kopergebrek hebben. Biggen krijgen koper toegediend in het voer, teneinde gebreksziekten te voorkomen. Op landbouwgronden wordt gemiddeld 91% van de totale koperbelasting aangevoerd via dierlijke mest en kunstmest (tabel 9).

## **Koperconcentraties in 1992**

De streefwaarde voor koper in grondwater bedraagt 15 mg/m<sup>3</sup> (VROM, 1992).

### *Gemiddelde per grondgebruik/grondsoort*

In figuur 58 zijn 95%-BI voor de gemiddelde concentraties per grondgebruik/grondsoort en per diepteklasse weergegeven. De BI voor de gemiddelde concentraties liggen allen ruim onder de streefwaarde. De brede BI voor de gemiddelde concentraties in het ondiepe grondwater onder gras, maïs, akkerbouw en bos op zand (g/z,m/z,a/z,b/z) geven aan dat er hoge concentraties in deze groepen voorkomen. De BI voor de gemiddelde concentraties in het diepe grondwater onder landbouw op zand liggen allen onder de 1 mg/m<sup>3</sup>. In het diepe grondwater onder landbouw op zand komen kennelijk geen hoge concentraties voor.

### *OBS per grondgebruik/grondsoort*

De betekenis van een "hoog" of "laag" percentage OBS (oppervlakte boven de streefwaarde) is uitgelegd op blz 11.

Het percentage OBS per groep blijkt nergens hoog en vaak laag te zijn. Voor enkele groepen is een zeer laag percentage gevonden, bijvoorbeeld gras op zand (g/z).

### *OBS per regio*

In figuur 59 zijn 95%-BI voor het percentage OBS per fysisch-geografisch gebied en per eco-district weergegeven. Voor veel gebieden en eco-districten gelden lage of zeer lage percentages OBS. Het percentage OBS in het ondiepe grondwater van Noord-Brabant is niet onderscheidbaar, hetgeen betekent dat in dat gebied enkele waarnemingen boven de streefwaarde zijn. Deze waarnemingen liggen waarschijnlijk in de horsten, omdat het grondwater in de Centrale Slenk een laag percentage OBS heeft. Zuid-Limburg is geklassificeerd als "niet onderscheidbaar" omdat er te weinig waarnemingen zijn.

## **Verandering van de concentratie in de periode 1990-1993**

Over de verandering van de concentraties op lange termijn kan nog niet veel gezegd worden, omdat koper pas drie jaar in alle meetpunten van het meetnet is bepaald. In figuur 60 is de verandering van het percentage waarnemingen boven de streefwaarde weergegeven per zandgebied. Er is weinig verandering in het percentage.

## 4 CONCLUSIES

### Chloride

De gemiddelde chlorideconcentratie in het ondiepe grondwater onder bebouwd gebied op zand ligt in de buurt van de streefwaarde. Dit is te verklaren uit het gebruik van strooizout en de invloed van lokale bronnen, zoals lekkende riolen en industrieterreinen. De zeer hoge percentages OBS in het laagveengebied en het zeekleigebied zijn te verklaren uit mariene invloed (brak grondwater).

De gemiddelde concentraties zijn duidelijk gedaald in het ondiepe grondwater onder gras op zand en het ondiepe en diepe grondwater onder maïs op zand. Ook in het ondiepe grondwater in het zuidelijk- en het oostelijk zandgebied zijn de concentraties gedaald. De gemiddelde daling bedraagt ongeveer  $10 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar.

### pH

De gemiddelde pH in het ondiepe grondwater in de zandgebieden is lager dan in het diepe grondwater. Hoge en zeer hoge percentages oppervlakte met  $\text{pH} < 5$  in het ondiepe grondwater zijn vastgesteld voor respectievelijk maïs op zand en bos op zand in de zandgebieden.

Hoge percentages oppervlakte met  $\text{pH} < 5$  in het ondiepe grondwater zijn gevonden in de fysisch-geografische gebieden het zuidelijk zandgebied en het noordelijk zandgebied. De percentages in het diepe grondwater zijn laag tot zeer laag. In het ondiepe grondwater van de eco-districten het zuidwestelijke zandgebied, de Peelhorst, de Utrechtse Heuvelrug, de Veluwe en het Drentse plateau zijn hoge tot zeer hoge percentages oppervlakte met  $\text{pH} < 5$  gevonden. Lage pH-waarden in de zandgebieden zijn het gevolg van ontkalking. Dat verklaart ook de lagere pH-waarden in het ondiepe grondwater in vergelijking tot het diepe grondwater.

De gemiddelde pH is tussen 1984 en 1992 in veel groepen en gebieden en ook in Nederland als totaal gedaald. De gemiddelde daling was klein (0,1 à 0,3 pH-eenheden in 10 jaar). Er zijn echter aanwijzingen dat hier sprake is van een artefact.

### Sulfaat

De gemiddelde sulfaatconcentratie is het hoogst in het diepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei. De percentages OBS voor akkerbouw op zeeklei zijn eveneens hoog in zowel het ondiepe als diepe grondwater. De hoge gemiddelde concentratie voor akkerbouw op zeeklei wordt mogelijk veroorzaakt door oxydatie van sulfiden, die in mariene sedimenten veel voorkomen. Voor de meeste andere groepen, zoals gras op laagveen, tuinbouw op duinzand en bebouwd gebied op zeeklei, zijn de gemiddelde

concentraties lager dan de streefwaarde. Een mogelijke verklaring daarvoor is kwel van anaëroob grondwater, waarin sulfaatreductie heeft plaats gevonden. Hogere concentraties in het ondiepe grondwater dan in het diepe grondwater, zoals optreedt bij gras en bos op zand, kan wijzen op sulfaatreductie in het diepe grondwater.

Voor het ondiepe grondwater in het zuidelijk zandgebied is een hoog percentage OBS gevonden. Hoge percentages OBS zijn ook gevonden in het ondiepe grondwater in de Centrale Slenk en het zuidwestelijk zandgebied.

In het ondiepe grondwater is een duidelijke daling van de concentratie vastgesteld voor gras op veen en zeeklei, bebouwd op zand en ook voor het laagveengebied, de zandgebieden en heel Nederland. De gemiddelde daling in het ondiepe grondwater van de zandgebieden bedroeg  $6 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar. Een duidelijke daling is ook gevonden in het diepe grondwater onder akkerbouw op zeeklei en bebouwd op zeeklei en het zeekleigebied. Er zijn echter aanwijzingen dat hier sprake is van een artefact.

### **Aluminium**

In het westen van het land en in het rivierengebied liggen de gemiddelde aluminiumconcentraties in de buurt van of onder het richtniveau ( $50 \text{ mg/m}^3$ ). Gemiddelde concentraties zijn duidelijk hoger dan het richtniveau in het ondiepe grondwater onder gras op zand, maïs op zand en bos op zand.

Hoge percentages oppervlakte boven de drinkwaternorm ( $200 \text{ mg/m}^3$ ) zijn gevonden in het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand. Op gebiedsniveau vallen het zuidelijk en noordelijk zandgebied op door hoge percentages oppervlakte boven de drinkwaternorm (OBD). Hoge percentages worden vooral gevonden in het grondwater van de stuwwallen, de horsten (Noord-Brabant) en de Veenkoloniën. De percentages OBD in het diepe grondwater zijn laag tot zeer laag.

Het algemene beeld van de gemiddelde aluminiumconcentratie vertoont veel overeenkomst met dat van de pH. De hoge gemiddelde concentraties in het grondwater van de zandgebieden zijn blijkbaar gekoppeld aan lage pH-waarden. De hoge percentages OBD in het ondiepe grondwater van de zandgebieden worden toegeschreven aan verzuring en vermesting. De lage percentages OBD in het diepe grondwater kunnen verklaard worden door de langere verblijftijden in het diepe grondwater.

### **Nitraat**

Hoge nitraatconcentraties komen voor in de zandgebieden, met name in het ondiepe grondwater onder landbouwgronden. Algemeen wordt aangenomen dat de hoge bemestingsintensiteit de belangrijkste oorzaak is. Dat de nitraatconcentraties in het grondwater niet hoger zijn en ook niet overal voorkomen, is vooral het gevolg van

denitrificatie. Dit proces wordt o.a. door organische stof, anaërobie, pH en bacteriën bepaald en is daarom moeilijk te kwantificeren. Wel is een duidelijke relatie met de diepte van de grondwaterspiegel aangetoond. Bij lage grondwatertrappen (nattere gronden) zijn de gemiddelde concentraties lager dan bij hoge grondwatertrappen (drogere gronden). Ook de hoogteligging van een gebied, die samenhangt met de grondwatertrap, is een belangrijke factor. Dit wordt afgeleid uit de hoge percentages OBS in het ondiepe grondwater van de stuwwallen, de Peelhorst en het zuidwestelijk zandgebied. Verder zijn de percentages hoog in het diepe grondwater in het centraal zandgebied en in Zuid-Limburg. Deze gebieden hebben diepe grondwaterspiegels. Daarom komt aëroob grondwater voor. Hierdoor denitrificeert nitraat niet, in tegenstelling tot andere gebieden, waar het grondwater als regel anaëroob is.

In het ondiepe grondwater van de zandgebieden is 10-35% van de waarnemingen boven de streefwaarde. In het noordelijk zandgebied is het percentage het laagst en in het zuidelijk zandgebied is het percentage het hoogst. In het diepe grondwater in het noordelijk en zuidelijk zandgebied zijn de percentages waarnemingen boven de streefwaarde het laagst en in het oostelijk en centraal zandgebied zijn de percentages het hoogst. In het ondiepe grondwater van het oostelijk en het centraal zandgebied zijn de percentages in de laatste vijf jaar hoger dan in de vijf jaar daarvoor. In het diepe grondwater van het centraal zandgebied is het percentage de laatste jaren hoger dan daarvoor.

In het ondiepe grondwater in het centraal zandgebied is de gemiddelde concentratie duidelijk gestegen (circa 2 g/m<sup>3</sup> in 10 jaar). Dit wordt in verband gebracht met toegenomen effecten van bemesting in het aërobe grondwater in de stuwwallen.

### **Ammonium**

De gemiddelde ammoniumconcentraties in het westen van het land zijn hoog. Bij bebouwd op zeeklei komt de gemiddelde concentratie boven de streefwaarde voor klei- en veengebieden uit. Hoge concentraties zijn van nature aanwezig in sedimenten die rijk zijn aan organische stof. De hoge in het westen van het land zijn te verklaren uit de anaërobe afbraak van organische stof.

Zeer hoge percentages OBS zijn vastgesteld in het diepe grondwater onder tuinbouw op zand, akkerbouw op zeeklei en bebouwd op zeeklei. Voor gras op zeeklei is alleen in het ondiepe grondwater een zeer hoog percentage OBS vastgesteld. Bij akkerbouw op zand en bebouwd op zand komen hoge percentages OBS voor. De afbraak van restveen in de ondergrond kan als mogelijke oorzaak van de hoge percentages OBS bij akkerbouw op zand worden aangevoerd. Bij bebouwd op zand zijn meerdere verklaringen mogelijk. Naast anaërobe afbraak van organische stof kunnen



ook lekkende riolen een bron van ammonium vormen.

### **Totaal-P**

In het westen van het land zijn de gemiddelde totaal-P-concentraties hoger dan in het rivierengebied en in de zandgebieden. De gemiddelde concentraties voor bebouwd op zand zijn hoger dan voor landbouw op zand en bos op zand. Dit heeft mogelijk te maken met de riolering.

Zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor tuinbouw op duinzand (ondiep en diep), voor bos op duinzand (diep) en voor bebouwd op zeeklei (ondiep). Hoge percentages OBS zijn gevonden voor akkerbouw op zeeklei (ondiep) en bebouwd gebied op zeeklei (ondiep) en bebouwd gebied op zand (ondiep en diep).

In het westen van het land komen hoge percentages OBS per gebied voor. In de zandgebieden, met name in het zuidelijk zandgebied komen lage percentages OBS voor. De eco-districten van de stedelijke gebieden en de droogmakerijen in Noord- en Zuid-Holland hebben hoge tot zeer hoge percentages OBS in het grondwater. Dit wijst op afbraak van veen in de ondergrond (droogmakerijen) en lekkende riolen (bebouwd gebied op zand).

Voor bebouwd op zeeklei en veen is een duidelijke stijging van de concentratie in het diepe grondwater gevonden. In het ondiepe grondwater in het laagveengebied is een duidelijke stijging gevonden van  $0,4 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar. De stijging is klein in vergelijking tot de streefwaarde. Er zijn echter aanwijzingen dat hier sprake is van een artefact.

### **Kalium**

De gemiddelde kaliumconcentraties in het westen van het land zijn hoog door de aanwezigheid van brak en zout grondwater. De gemiddelde concentraties onder gras op rivierklei liggen op een laag niveau van  $2 \text{ g/m}^3$ . De gemiddelde concentraties voor bebouwd op rivierklei zijn hoger dan voor gras op rivierklei. Voor landbouwgewassen en bos op zand liggen de gemiddelde concentraties in het ondiepe grondwater hoger dan in het diepe grondwater. Dit wijst op uitspoeling van kalium. De gemiddelde concentraties in het diepe grondwater onder bebouwd op zand liggen duidelijk hoger dan onder landbouw en bos op zand.

In het grondwater onder tuinbouw op zand en landbouwgewassen op de zeeklei is het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm (OBD) zeer hoog. In het ondiepe grondwater onder landbouwgewassen in de zandgebieden zijn de percentages OBD hoog. De percentages OBD in het grondwater onder bebouwd op zand zijn hoog tot zeer hoog. Dit wijst op lekkende riolen.

Voor gebieden in het westen van het land zijn zeer hoge percentages OBD

gevonden in zowel het ondiepe als het diepe grondwater. Het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied heeft een hoog percentage OBD. In het diepe grondwater in de zandgebieden en het rivierengebied zijn de percentages OBD laag tot zeer laag. In stedelijke gebieden zijn zeer hoge percentages OBD in zowel het ondiepe als het diepe grondwater gevonden.

Een duidelijke stijging in de gemiddelde concentraties is gevonden in het diepe grondwater van heel Nederland. De gemiddelde stijging bedraagt  $0,5 \text{ g/m}^3$  in 10 jaar.

### **Arseen**

Voor geen enkele groep grondgebruik/grondsoort is een hoog percentage OBS vastgesteld. Overschrijding van de streefwaarde vindt plaats in het ondiepe grondwater onder bebouwd gebied op zeeklei, rivierklei en zand. Het ondiepe grondwater van de zeekleigebieden (eco-district) heeft een hoog percentage OBS, terwijl zeer lage percentages zijn gevonden voor het laagveengebied (ondiepe grondwater). De gemiddelde concentraties liggen in het algemeen onder de streefwaarde.

### **Lood**

Er is geen groep met een hoog percentage OBS. De percentages OBS voor gras, bos en bebouwd op zand zijn zeer laag. Voor veel gebieden en eco-districten gelden lage tot zeer lage percentages OBS. Alleen in het ondiepe en diepe grondwater onder gras op zeeklei zijn hoge concentraties gevonden.

### **Chroom**

De gemiddelde chroomconcentraties in het diepe grondwater in de duinen en ondiep en diep grondwater onder gras en bebouwd op rivierklei liggen onder de streefwaarde. De meeste andere groepen liggen boven de streefwaarde. Overschrijding van de streefwaarde voor chroom is geen bijzonderheid. Zeer hoge percentages OBS zijn gevonden voor groepen in het laagveen- en zeekleigebied en in het zandgebied. De percentages oppervlakte boven  $2 \text{ mg/m}^3$  (2xstreefw.) zijn zeer hoog in het ondiepe grondwater van het zeekleigebied en het noordelijk zandgebied. De percentages zijn hoog voor het ondiepe grondwater van het laagveengebied, het rivierengebied en het centraal zandgebied. Ook in het diepe grondwater van het noordelijk zandgebied is het percentage zeer hoog. De hoge percentages voor de zeekleigebieden (eco-district) en de veenkoloniën (ondiepe grondwater) wijzen op een verband tussen hoge chroomconcentraties en organische stof in de ondergrond.

### **Nikkel**

De gemiddelde nikkelconcentraties voor groepen in het westen van het land en in het rivierengebied liggen ver onder de streefwaarde. In het zandgebied komen daarentegen hoge concentraties voor. In het ondiepe grondwater onder landbouw en bos op zand zijn hoge percentages OBS gevonden. In een groot deel van Nederland zijn de percentages OBS in het ondiepe en diepe grondwater laag tot zeer laag. Alleen in het ondiepe grondwater in het zuidelijk zandgebied is het percentage OBS zeer hoog. Een zeer hoog percentages OBS is gevonden in het ondiepe grondwater van de Peelhorst. In het ondiepe grondwater van het zuidwestelijk zandgebied en de Maasterrassen gelden hoge percentages OBS.

### **Cadmium**

De gemiddelde cadmiumconcentraties in het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand komen boven de streefwaarde uit. Over het algemeen zijn de percentages OBS per groep laag. Daarentegen zijn hoge en zeer hoge percentages OBS vastgesteld voor respectievelijk akkerbouw en maïs op zand. In het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is een zeer hoog percentage OBS gevonden. Het percentage OBS in het diepe grondwater is echter zeer laag. Het percentage OBS in het ondiepe grondwater van de Peelhorst is zeer hoog. In de Centrale Slenk is het percentage OBS juist laag. De hoge concentraties kunnen veroorzaakt zijn door een combinatie van lage pH-waarden in het grondwater en de door atmosferische depositie afkomstig van de zinkindustrie.

### **Zink**

De gemiddelde zinkconcentraties van de meeste groepen liggen duidelijk onder de streefwaarde. In het grondwater onder landbouwgewassen en bos op zand komen hoge zinkconcentraties voor. Hoge en lage gemiddelde zinkconcentraties corresponderen met lage en hoge gemiddelde pH's. Hoge percentages OBS zijn vastgesteld in het ondiepe grondwater onder maïs, akkerbouw en bos op zand. In het ondiepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is een hoog percentage OBS gevonden. Het percentage OBS in het diepe grondwater van het zuidelijk zandgebied is juist laag. Het percentage OBS in het ondiepe grondwater van het zuidwestelijk zandgebied (eco-district) is zeer hoog. Het ondiepe grondwater van de Peelhorst heeft een hoog percentage OBS. De hoge concentraties kunnen veroorzaakt zijn door een combinatie van lage pH-waarden in het grondwater en door atmosferische depositie afkomstig van de zinkindustrie.

## Koper

De gemiddelde koperconcentraties liggen alle ruim onder de streefwaarde. In het ondiepe grondwater onder gras, maïs, akkerbouw en bos op zand komen enkele hoge koperconcentraties voor. De gemiddelde concentraties in het diepe grondwater onder landbouw op zand liggen alle onder de 1 mg/m<sup>3</sup>. In het diepe grondwater onder landbouw op zand komen geen hoge concentraties voor. Het percentage OBS per groep of gebied blijkt nergens hoog te zijn.

## Aanbeveling

In dit rapport is de grondwaterkwaliteit op een ruimtelijke schaal van eco-districten en fysisch-geografische gebieden geanalyseerd. Uit de resultaten blijkt dat de eco-districten een te ver gaande ruimtelijke detaillering betekent, terwijl de fysisch-geografische gebieden veelal een te ruime aggregatie oplevert. Aanbevolen wordt om een mengvorm van beide gebiedsindelingen te gebruiken. Daarnaast is het indelen van de waarnemingen in groepen met een combinatie van grondgebruik en grondsoort niet eenduidig als gevolg van de versnippering van het landbouwkundige grondgebruik in de nabijheid van de meetpunten. Bovendien verandert het grondgebruik in de tijd. Daarom is het te overwegen om maïs en akkerbouw te groeperen in bouwland. Ook een verdere reductie van het aantal klassen van grondgebruik tot bijvoorbeeld de driedeling landbouw, bos en bebouwd gebied is het overwegen waard.

## Lijst van begrippen en afkortingen

ondiep grondwater	grondwater in het diepte traject 5-15 meter min maaiveld (m -mv)
diep grondwater	grondwater in het diepte traject 15-30 m -mv
OBS	oppervlakte boven de streefwaarde; dat wil zeggen de oppervlakte met een concentratie in het grondwater, die ligt boven de streefwaarde voor grondwater
OBD	als OBS, maar nu voor drinkwaternorm
BI	95%-betrouwbaarheidsinterval van de verwachtingswaarde of het percentage OBS
5% uitzonderingsgebied	kans op de gevonden waarde (onder de nul-hypothese) is kleiner dan 5%
zeer hoog	BI van percentage OBS/OBD hoger dan 20 %
hoog	BI van percentage OBS/OBD hoger dan 10 %
laag	BI van percentage OBS/OBD lager dan 20 %
zeer laag	BI van percentage OBS/OBD lager dan 10 %

## LITERATUUR

### Overzicht rapporten over het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit:

Duijvenbooden W. van (red), G.P. Beugelink, L.J.M. Boumans, H.A.C. Denier van der Gon, G. van Drecht, A.M. van Dijk-Looyard, A.A.M. Kusse, P. Lagas, A.M.A. van der Linden, J.H.C. Mülschlegel, A.A. Peters, H. Prins (1989) De kwaliteit van het grondwater in Nederland. RIVM-rapport 728820001

Duijvenbooden W. van, L.F.L. Gast en J. Taat (1985) Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit: 1. eindrapport van de inrichtingsfase. RIVM-rapport 840382001

Gast L.F.L., J. Taat en W. van Duijvenbooden (1985) Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit: 2. concentratiekaarten van de eerste bemonstering. RIVM-rapport 840382002

LMG/PMG-rapportages door H. Snelting, R. Jeths, H.L.J. van Maaren, A.A.M. Kusse, A.A. Peeters, H.A. Vissenberg, getiteld: Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit, analyseresultaten per bemonsteringsjaar en per provincie, officiële rapporten van RID en RIVM

Snelting H., J.L.M. de Boer, L.F.L. Gast, A.A.M. Kusse en W.H. Willemsen (1990) Inrichting en exploitatie van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. RIVM-rapport 728517061

Snelting H. en H. Prins (1993) Het informatiesysteem van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. RIVM-rapport 714810001

### Referenties:

Boland J., R. van den Berg, A.M.A. van der Linden, H.A.G. Heusinkveld en R.A. Baumann (1994) Inventarisatie van het voorkomen van bestrijdingsmiddelen in het diepe grondwater in Nederland. RIVM-rapport 724814001

Boumans L.J.M., C.R. Meinardi en G.J.W. Krajenbrink (1989) Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden. RIVM-rapport 728472013

Boumans L.J.M. en D. Fraters (1993) Cadmium, chroom, lood, zink en arseen in het freatische grondwater van de zandgebieden van Nederland, onder bos en heidevelden. RIVM-rapport 712300001

Boumans L.J.M. (1994) Nitraat in het bovenste grondwater onder natuurgebieden op zandgrond in Nederland. RIVM-rapport 712300002.

CCRX (1994,1995) Metingen in het milieu in Nederland. Coördinatiecommissie voor metingen in het milieu (CCRX-jaarrapporten 1992 en 1993)

Drecht G. van, L.J.M. Boumans en H.F.R. Reijnders (1994) Landelijk beeld van de grondwaterkwaliteit, methode en resultaten voor nitraat. RIVM-rapport 714801001

EC (1980) European Communities 1980. On the quality of water intended for human consumption. EC-directive 80/778. Publications of European Communities L229/11

Frapporti G., P.F.M. van Gaans, N.M. de Rooij en S.P. Vriend (1994) Discussiedag 'Kwaliteitstrends in het ondiepe grondwater van de Nederlandse zandgebieden' (samenvatting), H2O 24, 1994, pp. 718,719

Fraters (1991) Verontreiniging door zware metalen. In: Nationale Milieuverkenning 2, 1990-2010, RIVM, pp. 331-346

Hoogervorst N.J.P. (1992) Het landbouwscenario in de Nationale Milieuverkenning 2; uitgangspunten en berekeningen. RIVM-rapport 251701005

Klijn F. (1988) Milieubeheergebieden, deel A: Indeling van Nederland in ecoregio's en eco-districten, deel B: Gevoeligheid van eco-districten voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging. RIVM-rapport 758702001

LNV (1990) Natuurbeleidsplan, regeringsbeslissingen, Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21 149, nrs 2-3, p 54

MilBoWa, zie VROM, 1992

Pebesma E.J. (1992) Een landelijk beeld van grondwaterkwaliteitsvariabelen. Deel 1: Een onderzoek naar interpolatiemethoden. RIVM-rapport 721801002

Pebesma E.J. en J.W. de Kwaadsteniet (1994) Een landsdekkend beeld van de Nederlandse grondwaterkwaliteit op 5 tot 17 meter diepte in 1991. RIVM-rapport 714810014

Pebesma E.J. en J.W. De Kwaadsteniet (1995) Een landsdekkend beeld van veranderingen in de Nederlandse grondwaterkwaliteit op 5 tot 17 meter diepte. RIVM-rapport 714810015

PR (1988) Handboek voor de rundveehouderij, melkvee-vleesvee-schapen. Proefstation voor de rundveehouderij, schapenhouderij en paardenhouderij. Lelystad

Reijnders H.F.R., L.J.M. Boumans en L.F.L. Gast (1995) Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit; Vergelijking "in situ"-pH-meting met pH-meting in het laboratorium. RIVM-rapport 714801002

RIVM (1989) Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling, Meetresultaten 1988, RIVM-rapport 228703012, KNMI publ. nr. 156-11

RIVM (1992) Milieudiagnose 1991, III. Bodem- en grondwaterkwaliteit, rapport 724801003

RIVM (1994) Milieurapportage 1993, I. Integrale rapportage stikstof, rapport 482533001

Russel E.W. (1973) Soil Conditions and Plant growth (10e druk), blz 24

Steur G.G.L., F. de Vries en C. van Wallenburg (1985) Bodemkaart van Nederland, schaal 1:250000 Staring Centrum-DLO, Wageningen

Thunnissen H.A.M., R. Olthof, P. Getz, L. Vels (1992) Landgebruiksdatabank van Nederland, vervaardigd met behulp van LANDSAT Thematic Mapper opnamen. Rapport 168 SC-DLO, Wageningen

VROM (1988) Milieuprogramma 1988-1991; Tweede Kamer 1987-1988, 20201, nrs 1-2,

VROM (1991) Notitie Milieukwaliteitsdoelstellingen Bodem en Water; Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, 21990, nr. 1, (MilBoWa-notitie)

VROM (1992) Beleidsstandpunt over de Notitie Milieukwaliteitsdoelstellingen Bodem en Water; Tweede Kamer, vergaderjaar 1991-1992, 21990, nr. 3

Waterleidingbesluit (1984), Staatsblad 1-13, 1984

Bijlagen bij rapport nr. 714801005

De kwaliteit van het grondwater op een diepte  
tussen 5 en 30 meter in Nederland in het jaar 1992  
en de verandering daarvan in de periode 1984-1993

G. van Drecht, H.F.R. Reijnders, L.J.M. Boumans,  
W. van Duijvenbooden

Bijlage 1 : Figuren

Bijlage 2 : Verandering van de grondwaterkwaliteit

## Bijlage 1: Figuren

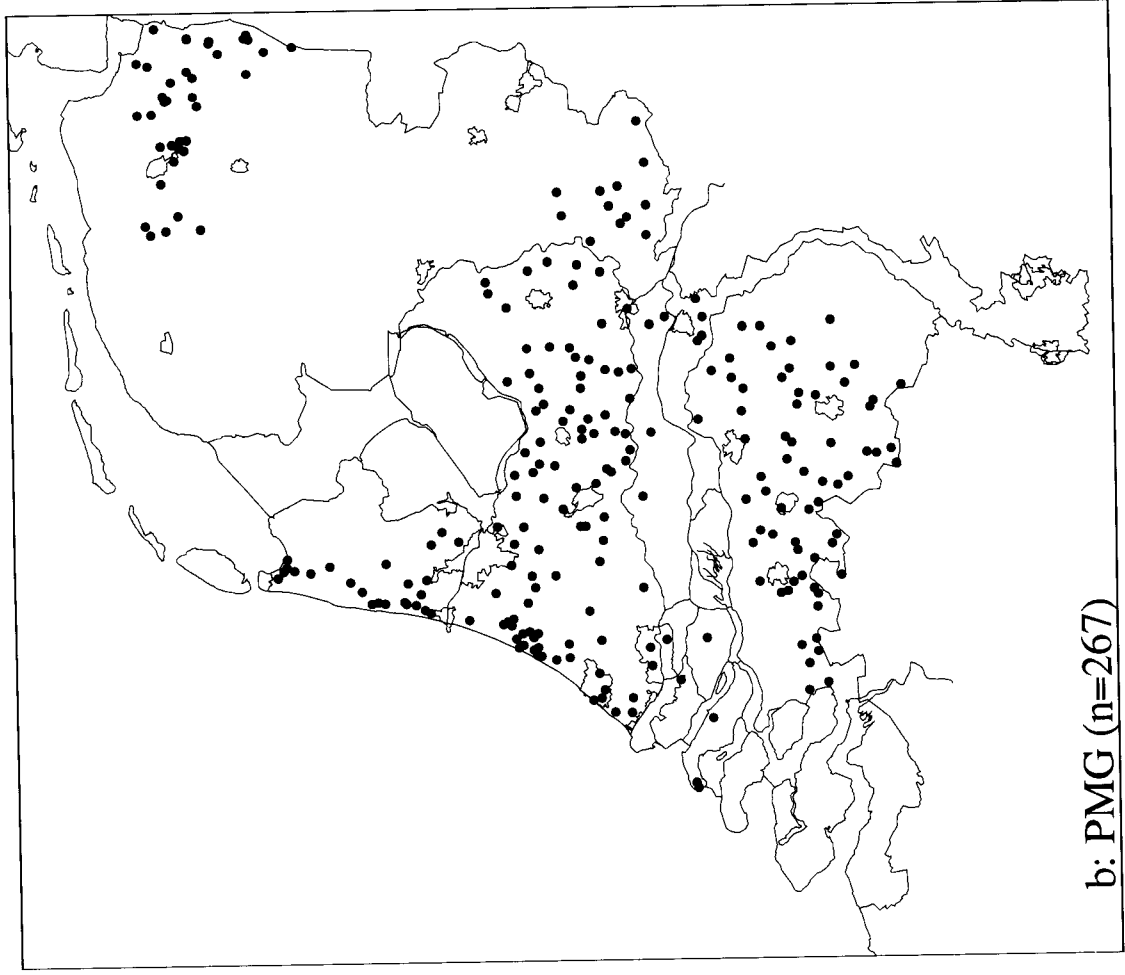
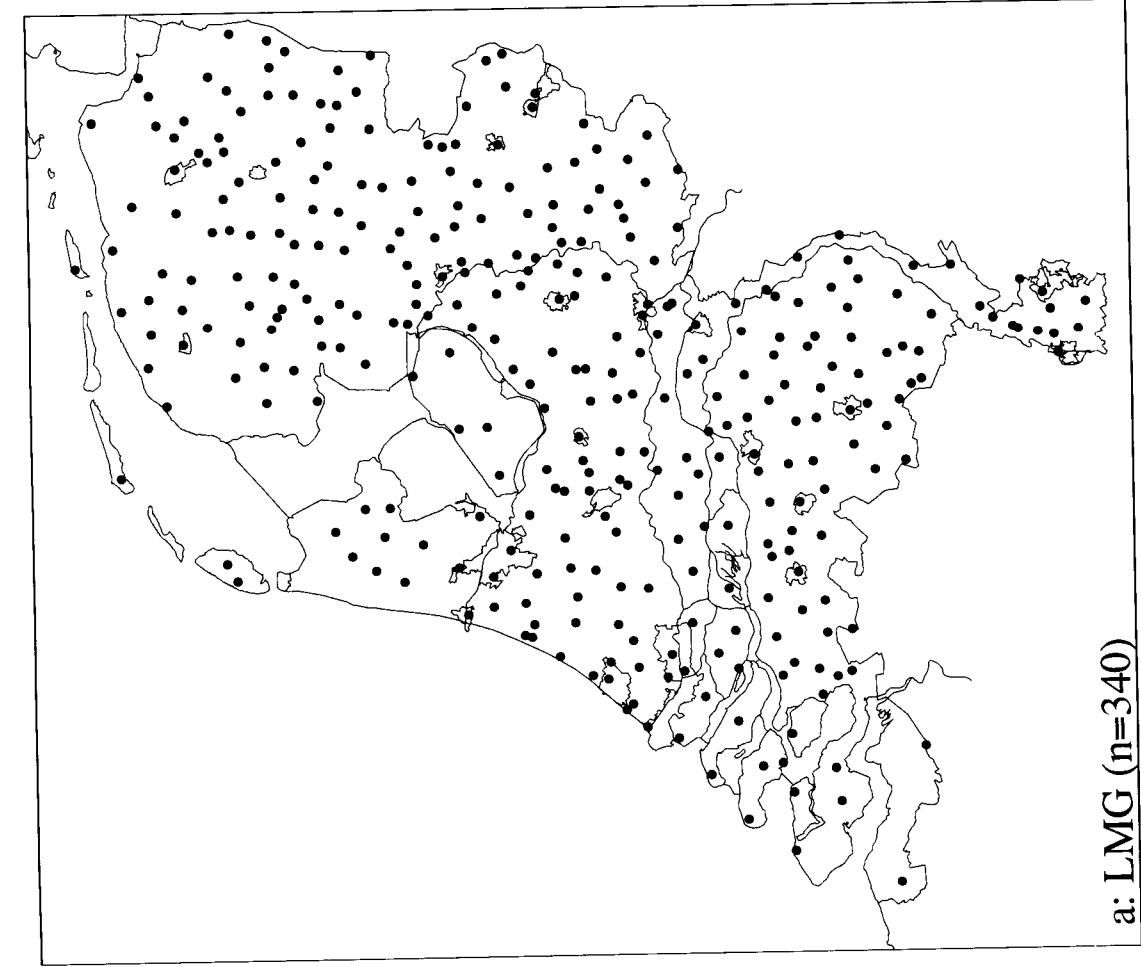
- 1 Bemonsterde meetpunten LMG en PMG in 1992
- 2 Grondsoorten en contouren van eco-districten
- 3 Fysisch-geografische gebieden
- 4 Locaties van meetpunten met gras op laagveen, gras op zeeklei, gras op rivierklei en gras op zand, alsmede de gebieden, waar deze combinaties voorkomen op basis van kaarten van grondsoorten en gewassen.
- 5 Locaties van meetpunten met akkerbouw op zeeklei, maïs op zand, akkerbouw op zand en bos&natuur op zand, alsmede de gebieden, waar deze combinaties voorkomen op basis van kaarten van grondsoorten en gewassen.
- 6 Klassificatie van 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte per gebied met een concentratie in het grondwater boven de streefwaarde
- 7 Chloride in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (100 g/m<sup>3</sup>)
- 8 Chloride in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (100 g/m<sup>3</sup>)
- 9 Chloride in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)
- 10 Chloride in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 11 pH in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde pH en het percentage oppervlakte met een pH<5 in het grondwater
- 12 pH in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte met een pH lager dan 5
- 13 pH in het grondwater in de periode 1984-1992; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de pH per 10 jaar (deca jaar)
- 14 pH in het grondwater in de periode 1984-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 15 Sulfaat in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (150 g/m<sup>3</sup>)
- 16 Sulfaat in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (150 g/m<sup>3</sup>)



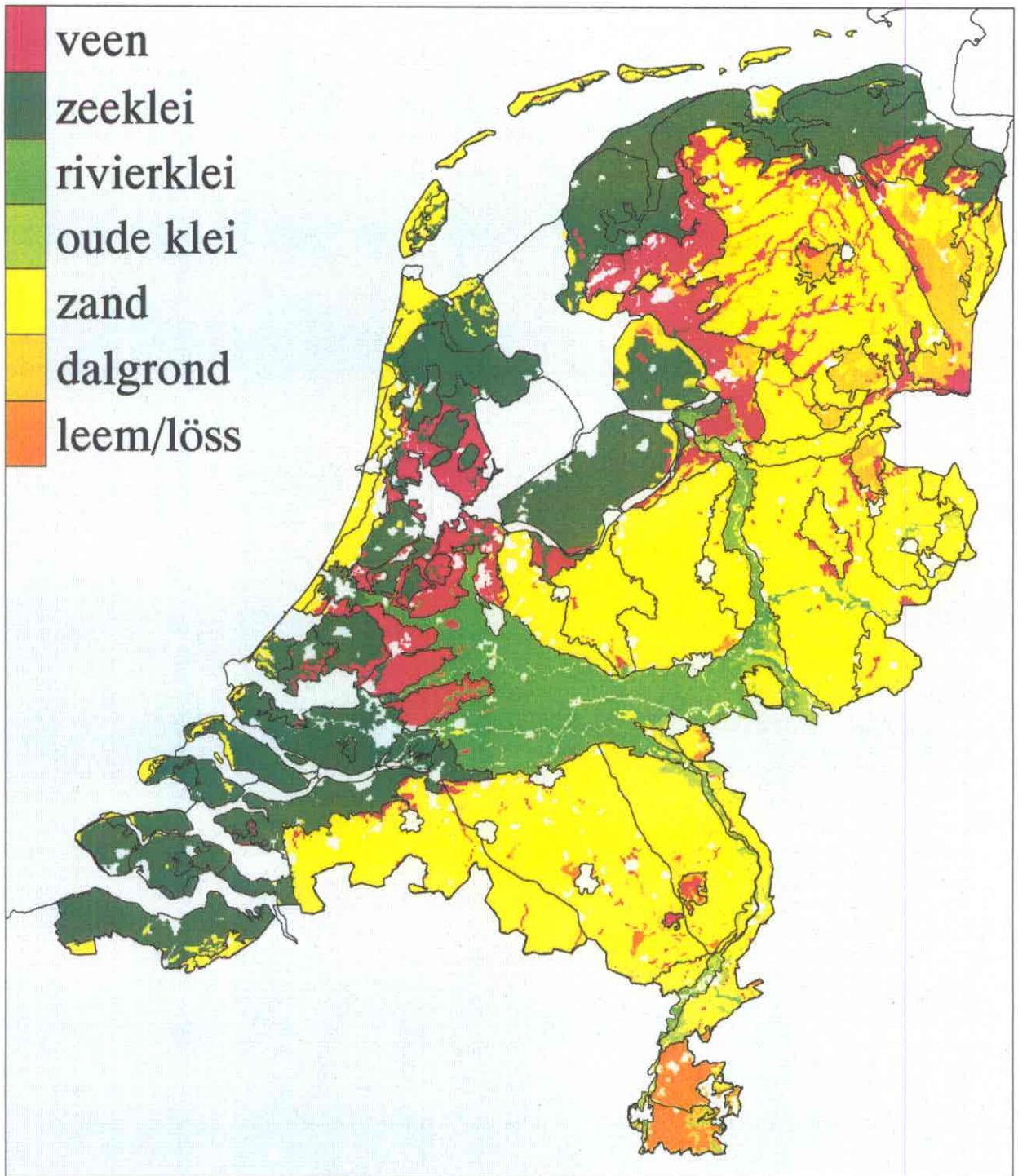
- 17 Sulfaat in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)
- 18 Sulfaat in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, grondgebruik en dieptetraject
- 19 Sulfaat in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 20 Aluminium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm (200 mg/m<sup>3</sup>)
- 21 Aluminium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm (200 mg/m<sup>3</sup>)
- 22 Aluminium in het grondwater in de periode 1990-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 23 Nitraat in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor nitraat-N (5,6 g/m<sup>3</sup>)
- 24 Nitraat in het grondwater op diepte 5-15 m -mv in de zandgebieden in het jaar 1992; gemiddelde concentraties en overschrijding van de streefwaarde per grondwatertrap voor gras, bouwland (maïs+akkerbouw) en bos&natuur
- 25 Nitraat in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor nitraat-N (5,6 g/m<sup>3</sup>)
- 26 Nitraat in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)
- 27 Nitraat in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 28 Ammonium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor ammonium-N (zand en leem: 2 g/m<sup>3</sup>, klei en veen: 10 g/m<sup>3</sup>)
- 29 Ammonium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor ammonium-N (zand en leem: 2 g/m<sup>3</sup>, klei en veen: 10 g/m<sup>3</sup>)
- 30 Ammonium in het grondwater in de periode 1984-1992; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca-jaar)
- 31 Ammonium in het grondwater in de periode 1984-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

- 32 Totaal-P in het grondwater in het jaar 1991 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor totaal-P (zand en leem:  $0,4 \text{ g/m}^3$ , klei en veen:  $3 \text{ g/m}^3$ )
- 33 Totaal-P in het grondwater in het jaar 1991 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor totaal-P (zand en leem:  $0,4 \text{ g/m}^3$ , klei en veen:  $3 \text{ g/m}^3$ )
- 34 Totaal-P in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca-jaar)
- 35 Totaal-P in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 36 Kalium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm ( $12 \text{ g/m}^3$ )
- 37 Kalium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm ( $12 \text{ g/m}^3$ )
- 38 Kalium in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)
- 39 Kalium in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 40 Arseen in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $10 \text{ mg/m}^3$ )
- 41 Arseen in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $10 \text{ mg/m}^3$ )
- 42 Arseen in het grondwater in de periode 1990-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 43 Lood in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 44 Lood in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 45 Lood in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

- 46 Chroom in het grondwater in het jaar 1991 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $1 \text{ mg/m}^3$ )
- 47 Chroom in het grondwater in het jaar 1991 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte met een concentratie hoger dan  $2 \text{ mg/m}^3$
- 48 Chroom in het grondwater in de periode 1990-1991; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 49 Nikkel in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 50 Nikkel in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 51 Nikkel in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 52 Cadmium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $0,4 \text{ mg/m}^3$ )
- 53 Cadmium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $0,4 \text{ mg/m}^3$ )
- 54 Cadmium in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 55 Zink in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $65 \text{ mg/m}^3$ )
- 56 Zink in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $65 \text{ mg/m}^3$ )
- 57 Zink in het grondwater in de periode 1990-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject
- 58 Koper in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 59 Koper in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ )
- 60 Koper in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



Figuur 1: Bemonsterde meetpunten LMG (a) en PMG (b) in 1992

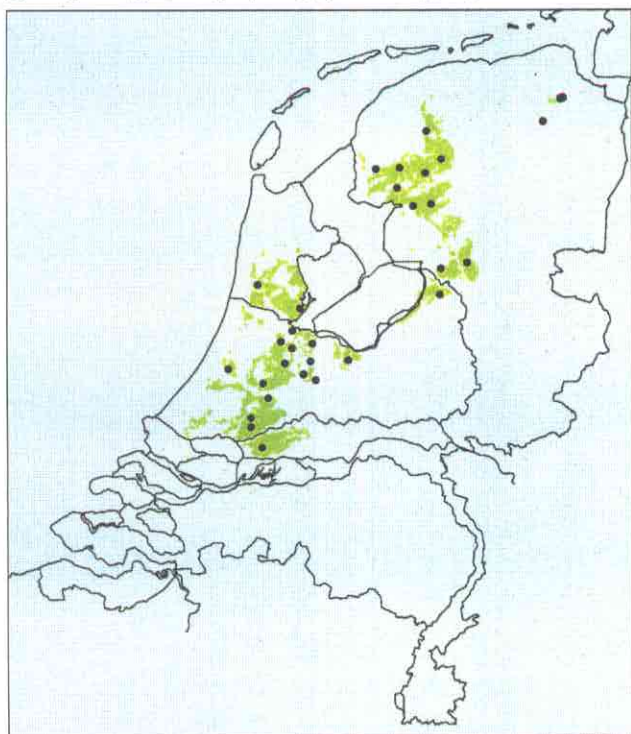


Figuur 2 Grondsoorten en contouren van eco-districten



Figuur 3 Fysisch-geografische gebieden

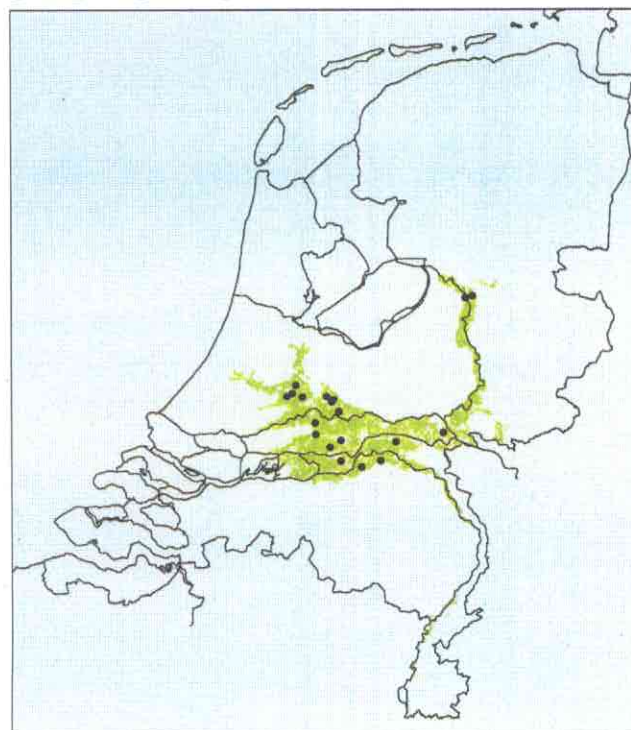
groep 3: gras op (laag-)veen (g/v)



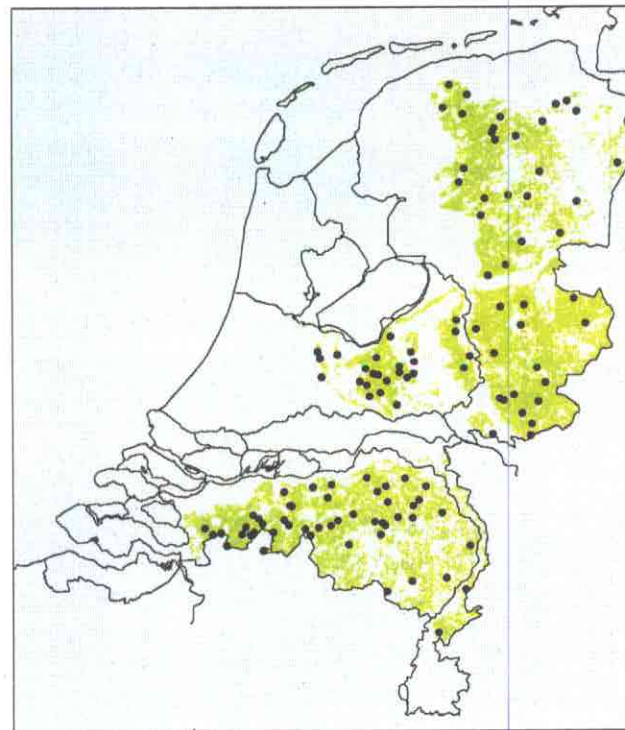
groep 4: gras op zeeklei (g/zk)



groep 7: gras op rivierklei (g/rk)



groep 9: gras op zand (g/z)

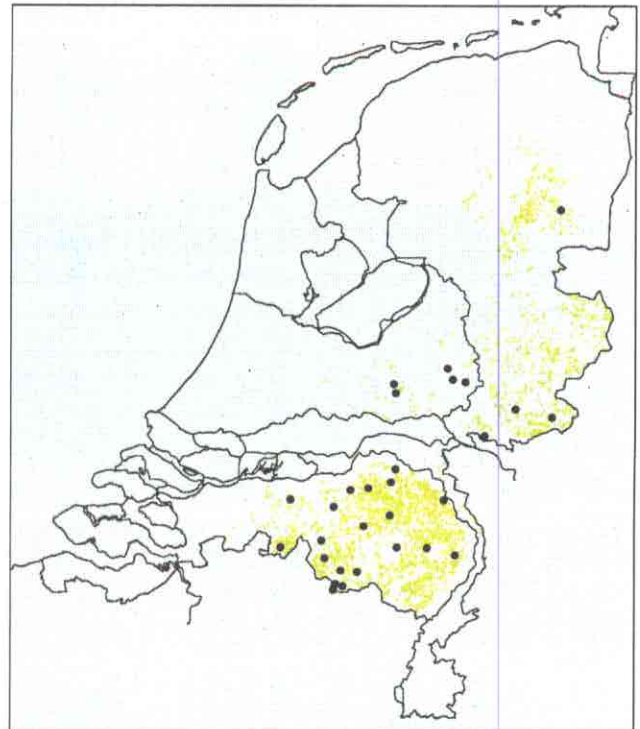


Figuur 4 Locaties van meetpunten met gras op laagveen, gras op zeeklei, gras op rivierklei en gras op zand, alsmede de gebieden, waar deze combinaties voorkomen op basis van kaarten van grondsoorten en gewassen

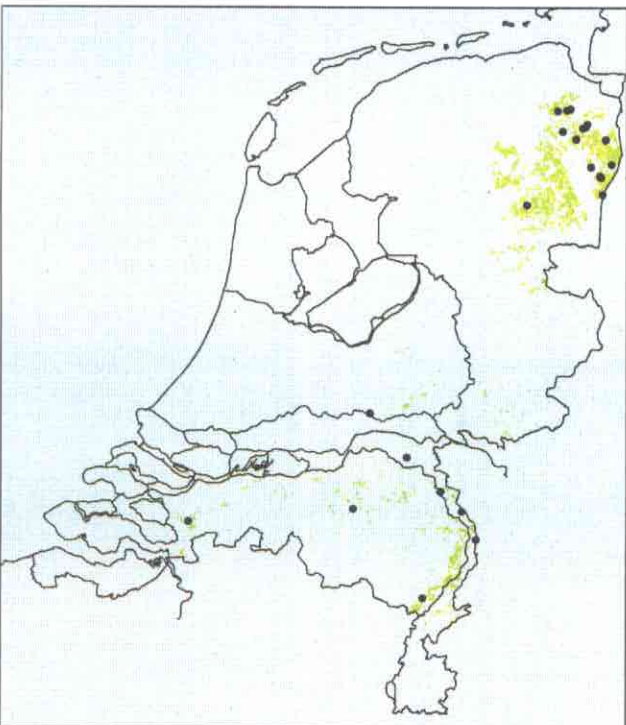
groep 5: akkerbouw op zeeklei (a/zk)



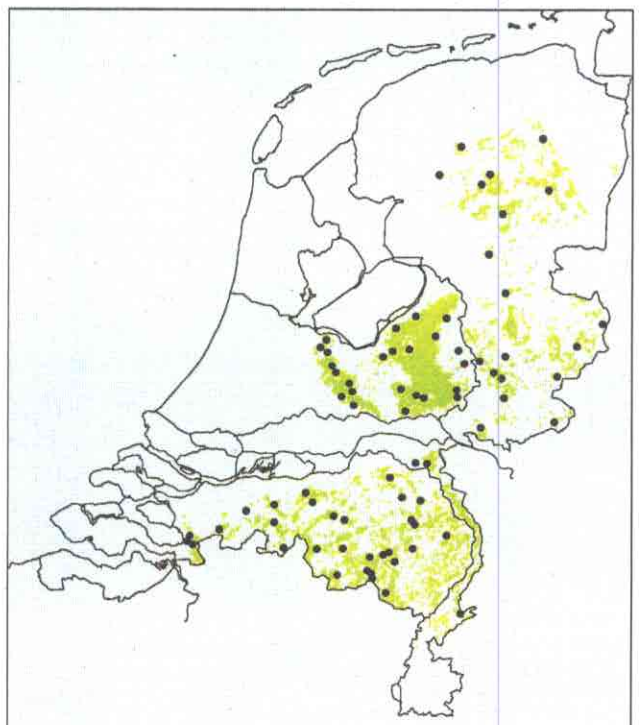
groep 10: mais op zand (m/z)



groep 11: akkerbouw op zand (a/z)



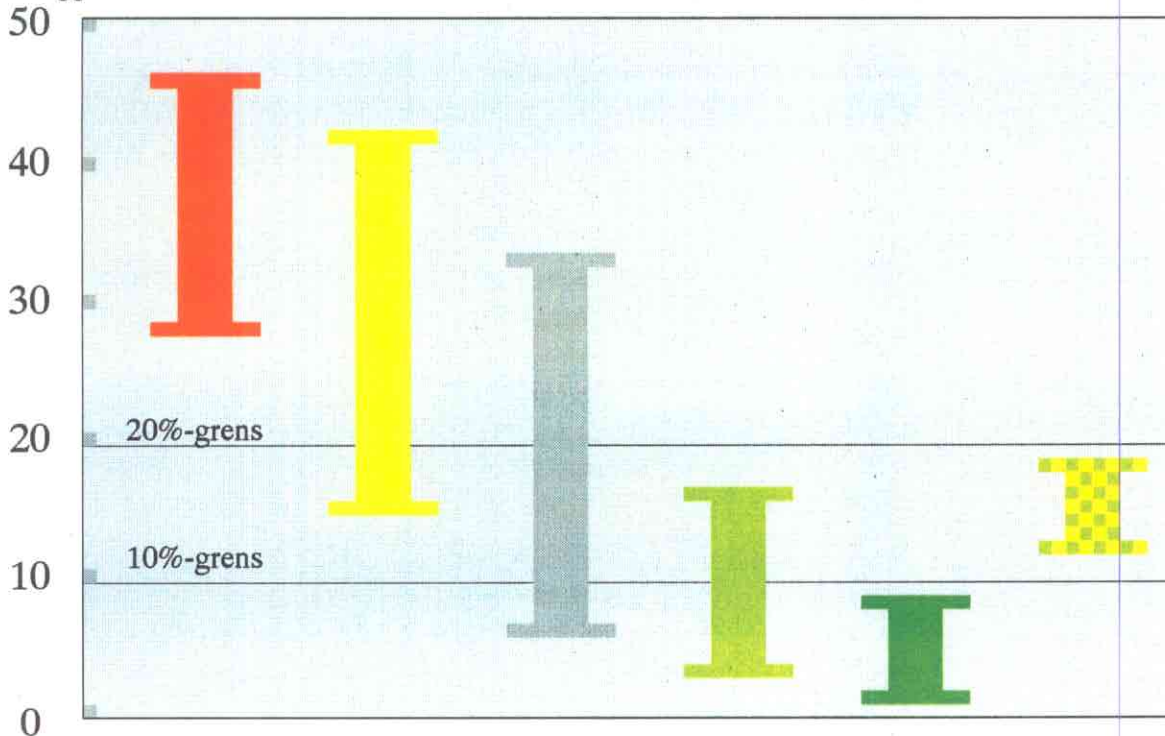
groep 12: bos&amp;natuur op zand (b/z)



Figuur 5 Locaties van meetpunten met akkerbouw op zeeklei, maïs op zand, akkerbouw op zand en bos&natuur op zand, alsmede de gebieden, waar deze combinaties voorkomen op basis van kaarten van de grondsoorten en gewassen



% oppervlakte met concentratie boven de streefwaarde.

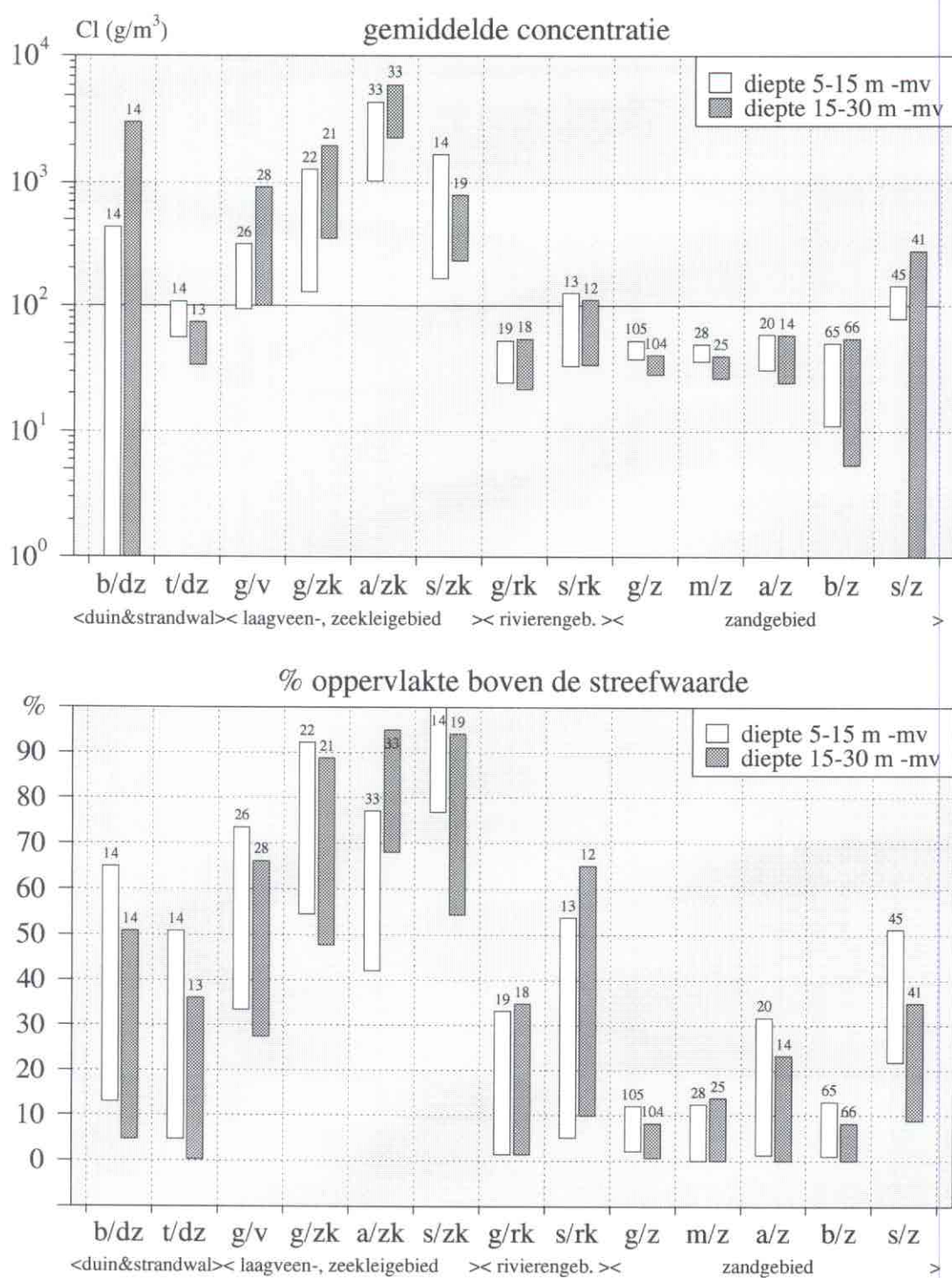


klasse interval interpretatie

	<10%	zeer laag
	<20%	laag
	>10%	hoog
	>20%	zeer hoog
	niet onderscheidbaar (t.o.v. 10% en 20%)	
	<20% en >10%	neutraal

Figuur 6 Klassificatie van 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte per gebied met een concentratie in het grondwater boven de streefwaarde. Gebieden zijn geklassificeerd (en ingekleurd) afhankelijk van de ligging van het interval t.o.v. de oppervlaktepercentages 10% en 20%.

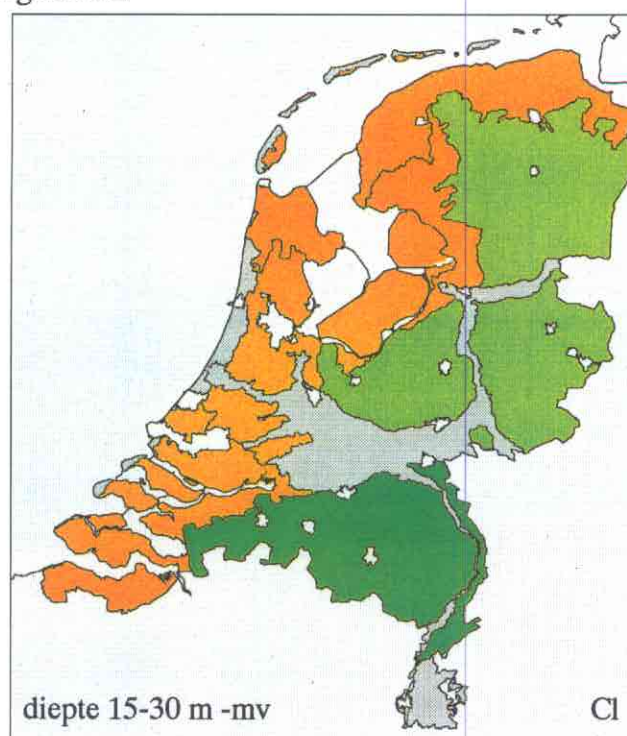
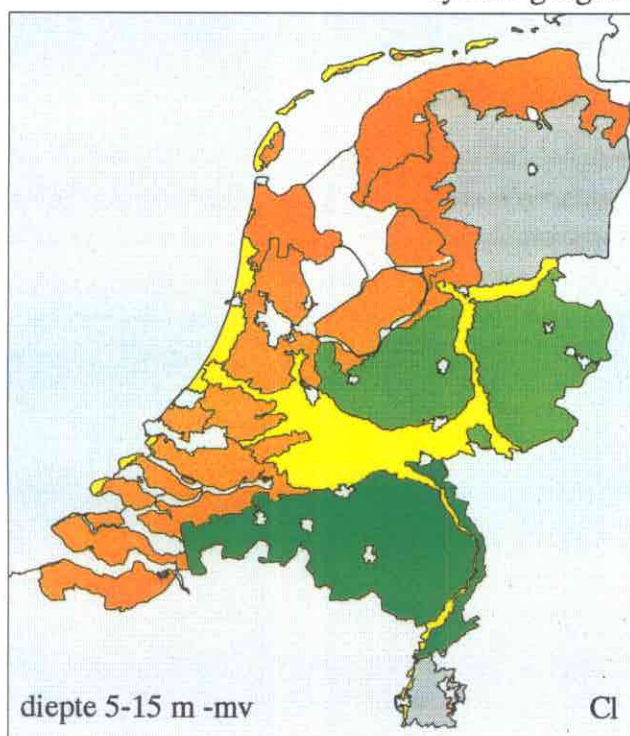
In de figuur staan voorbeelden van mogelijke plaatsen van een interval.



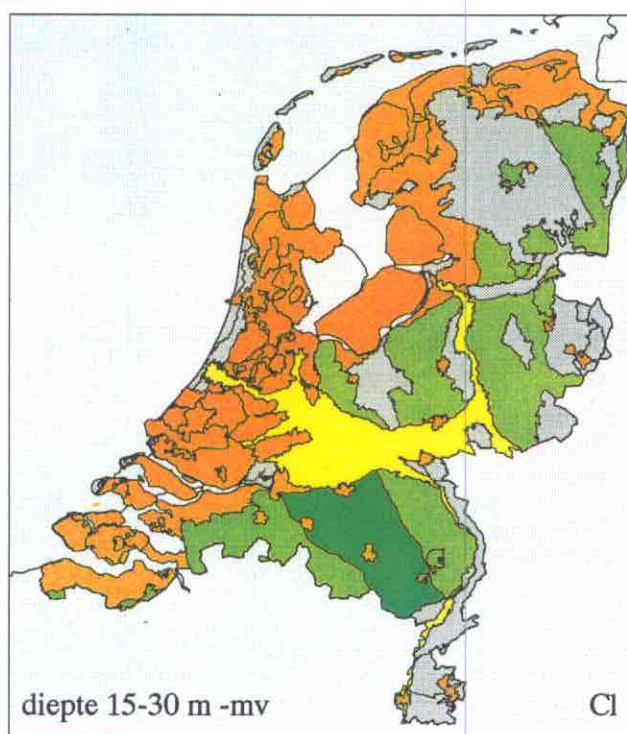
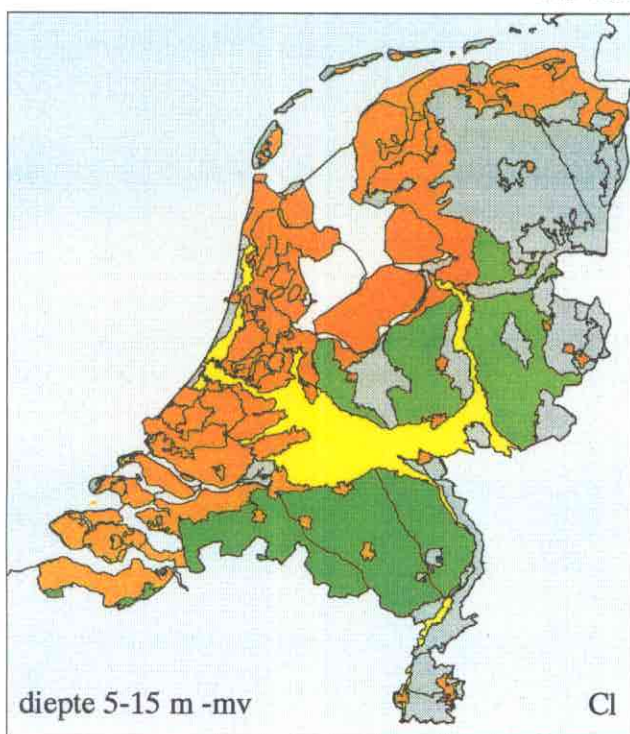
Figuur 7 Chloride in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $100 \text{ g/m}^3$ ).

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort: b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



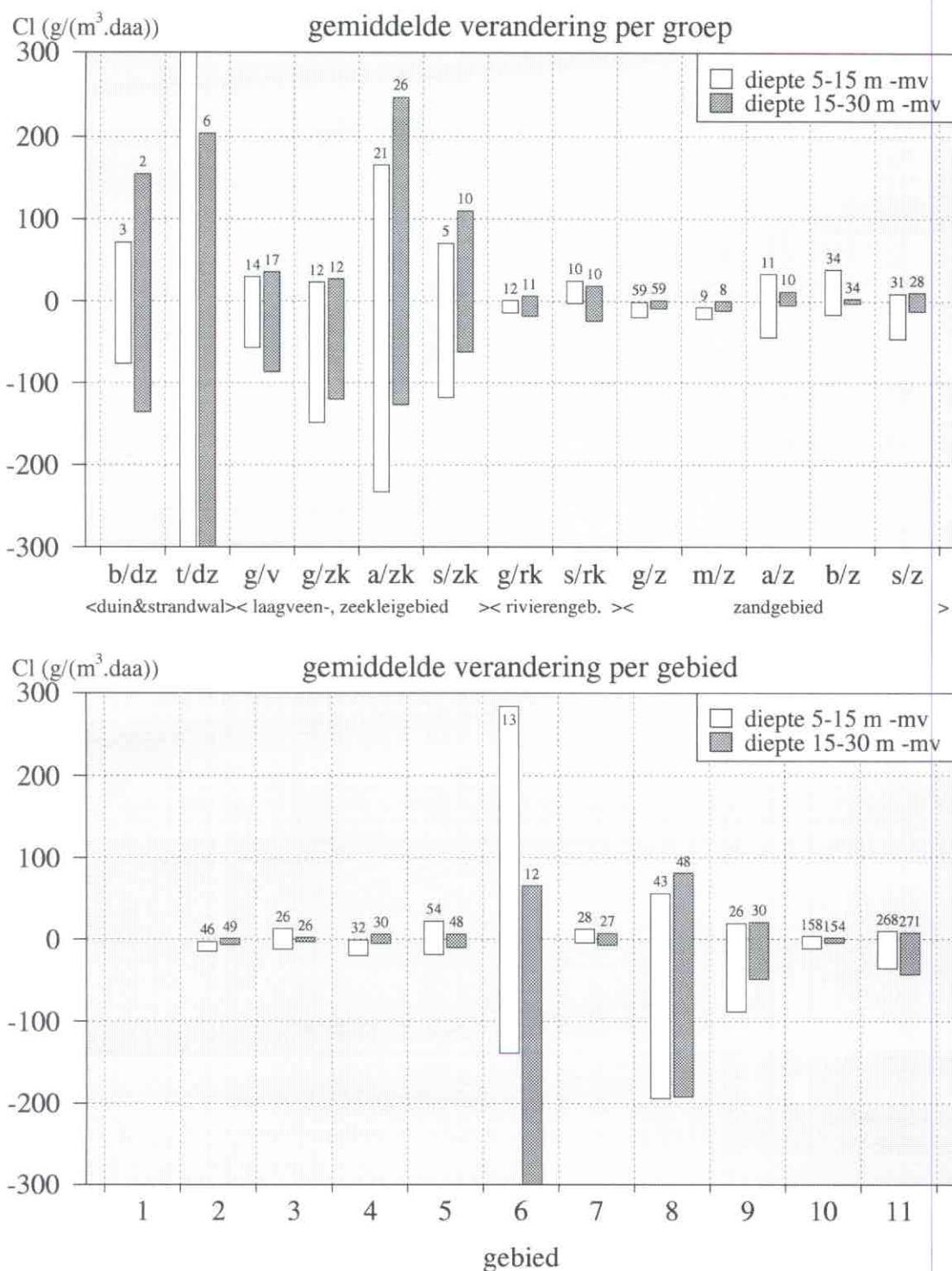
## eco-districten



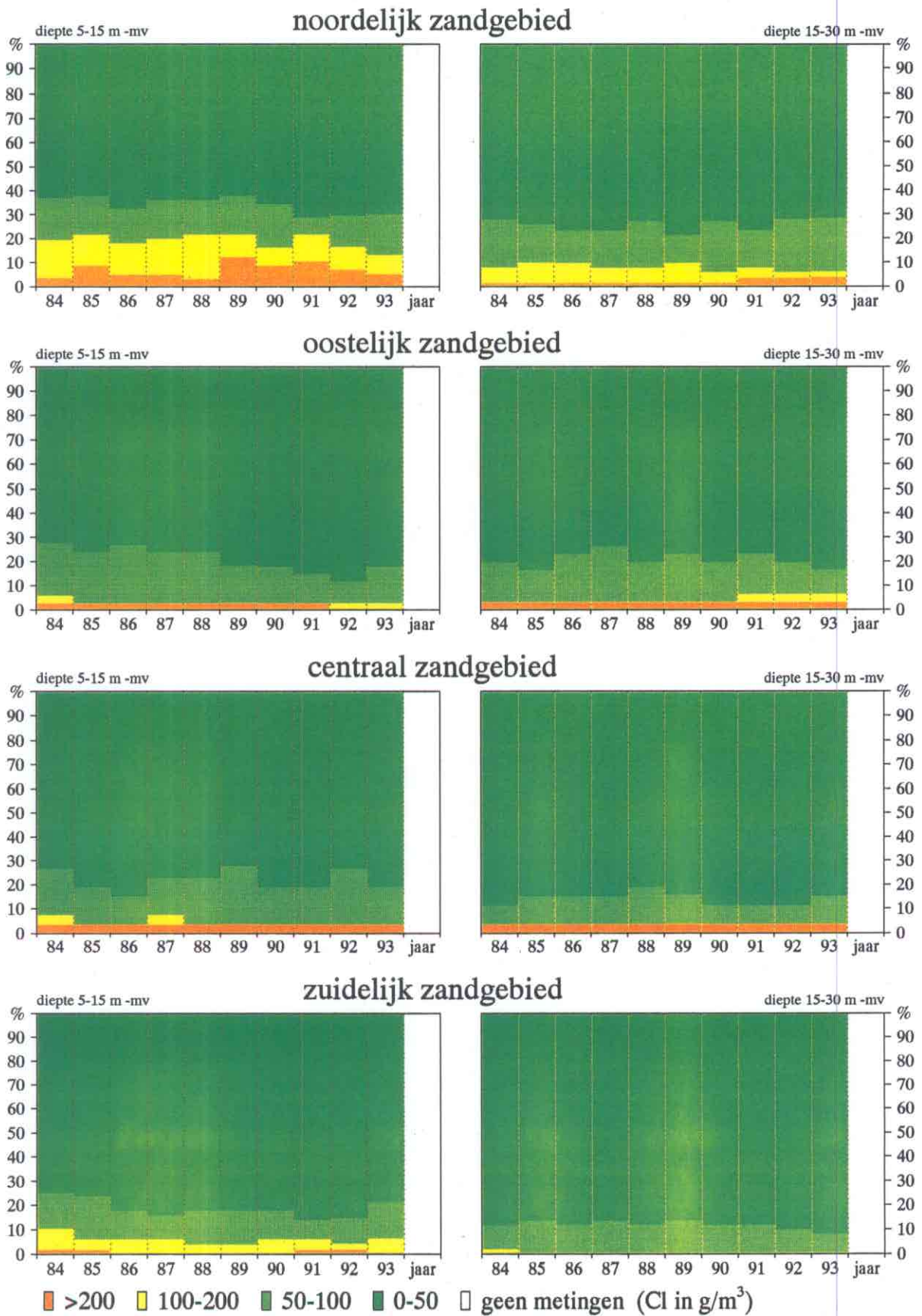
% oppervlakte



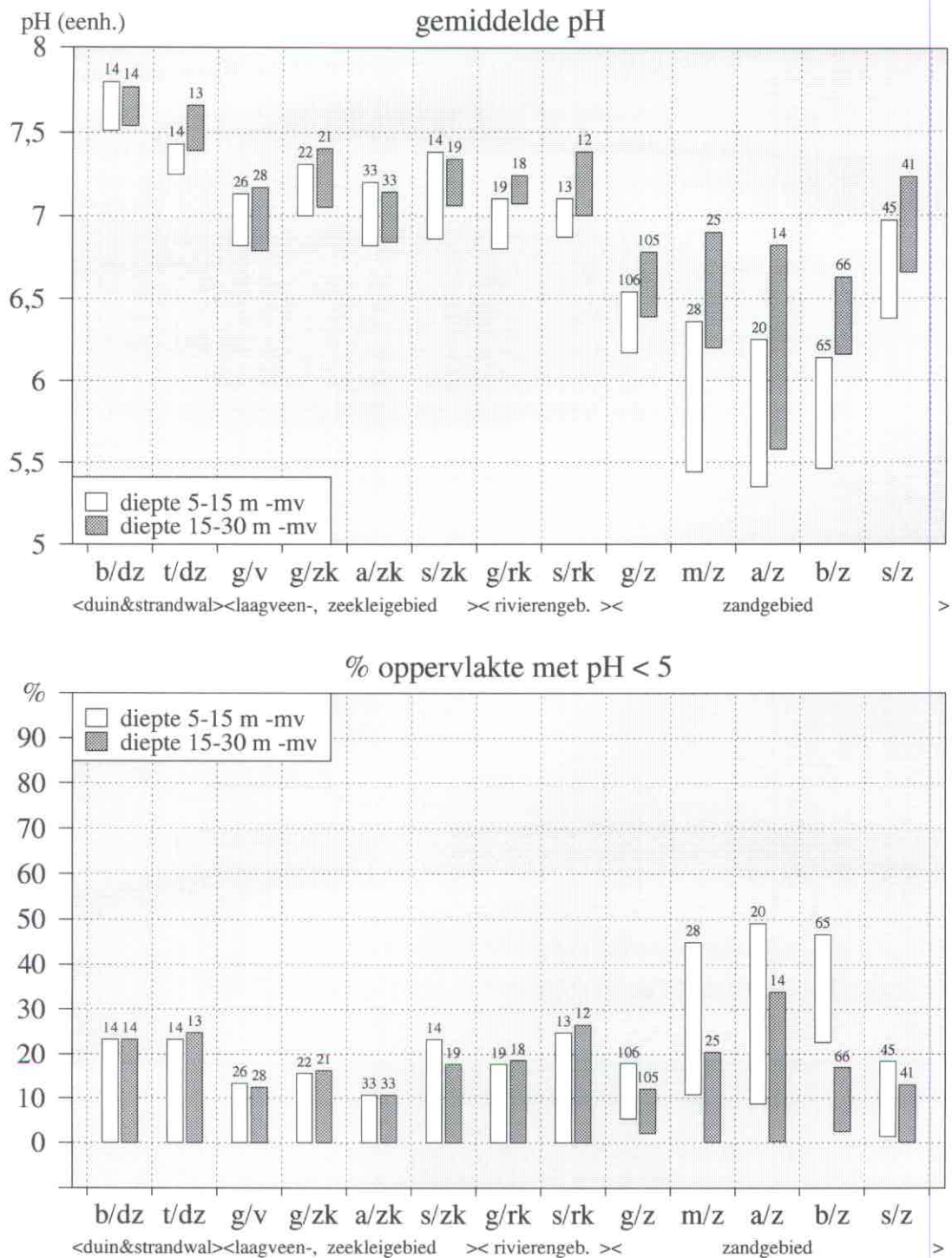
Figuur 8 Chloride in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $100 \text{ g/m}^3$ );



Figuur 9 Chloride in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar) Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en nummers van gebieden b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-, 7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland



Figuur 10 Chloride in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



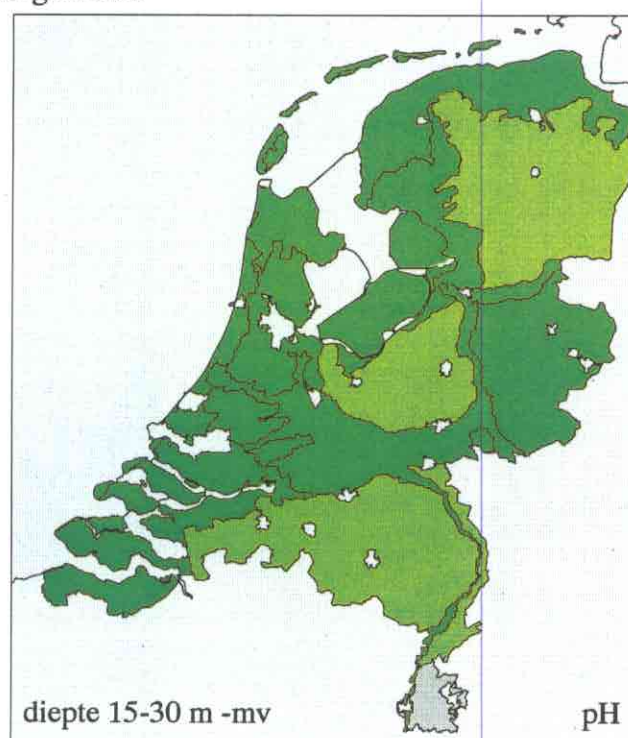
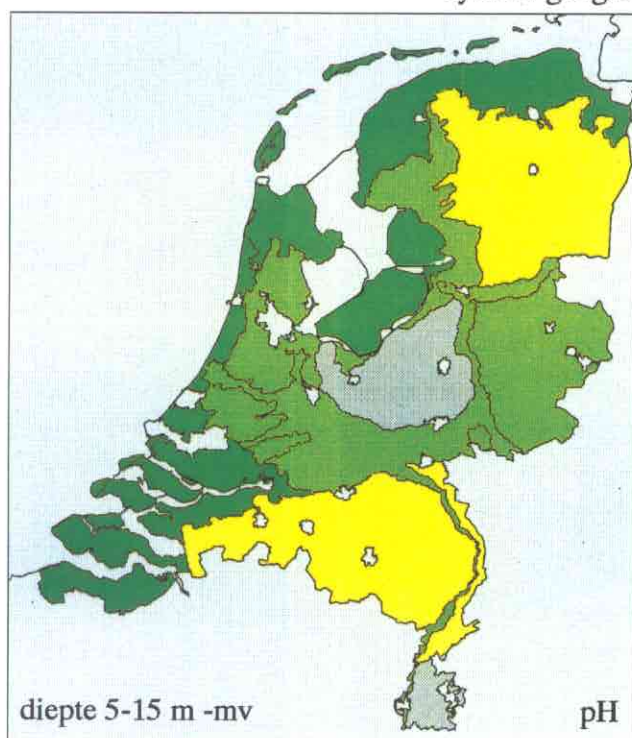
Figuur 11 pH in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde pH en het percentage oppervlakte met pH < 5 in het grondwater

Aangegeven zijn het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort

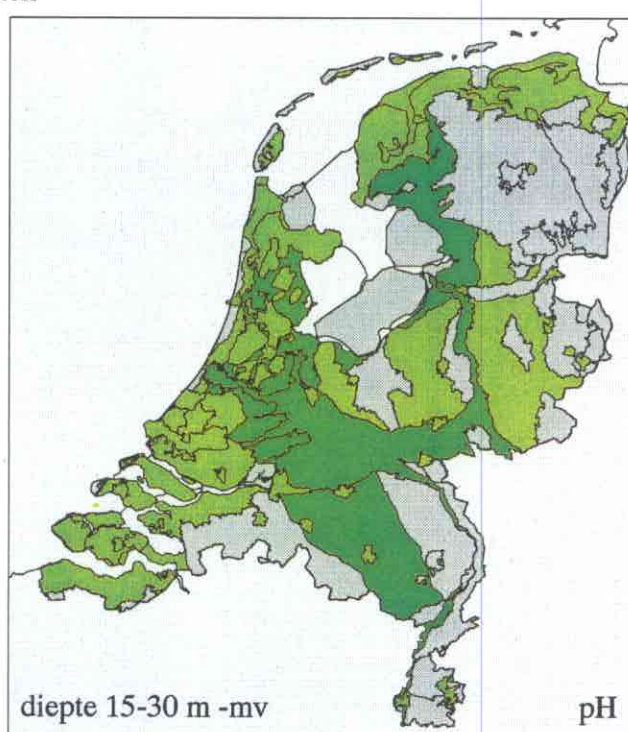
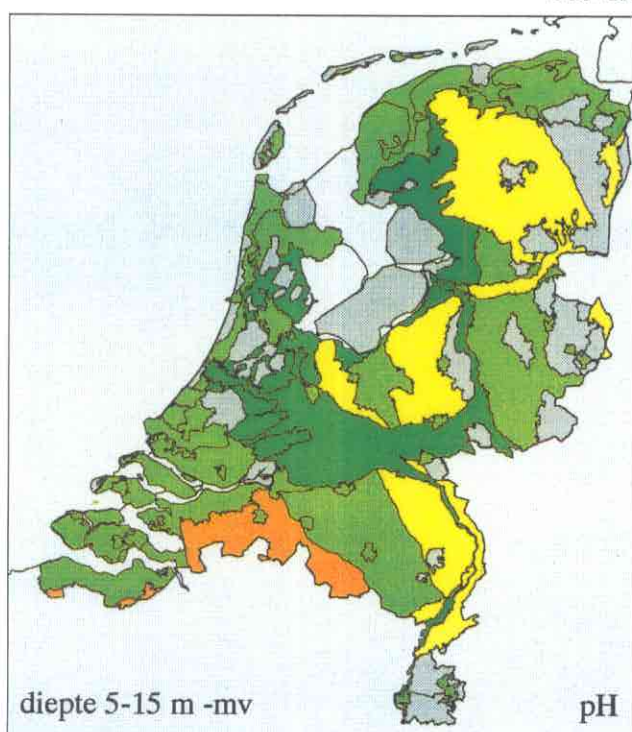
b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,

dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeelei, rk=rivierlei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



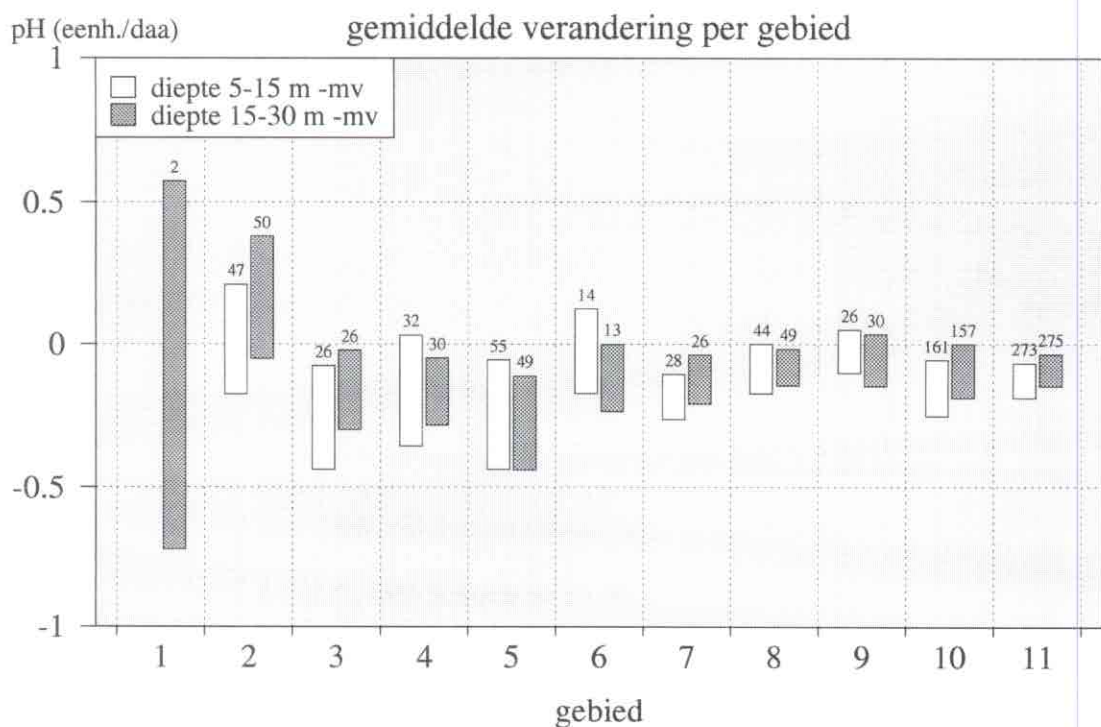
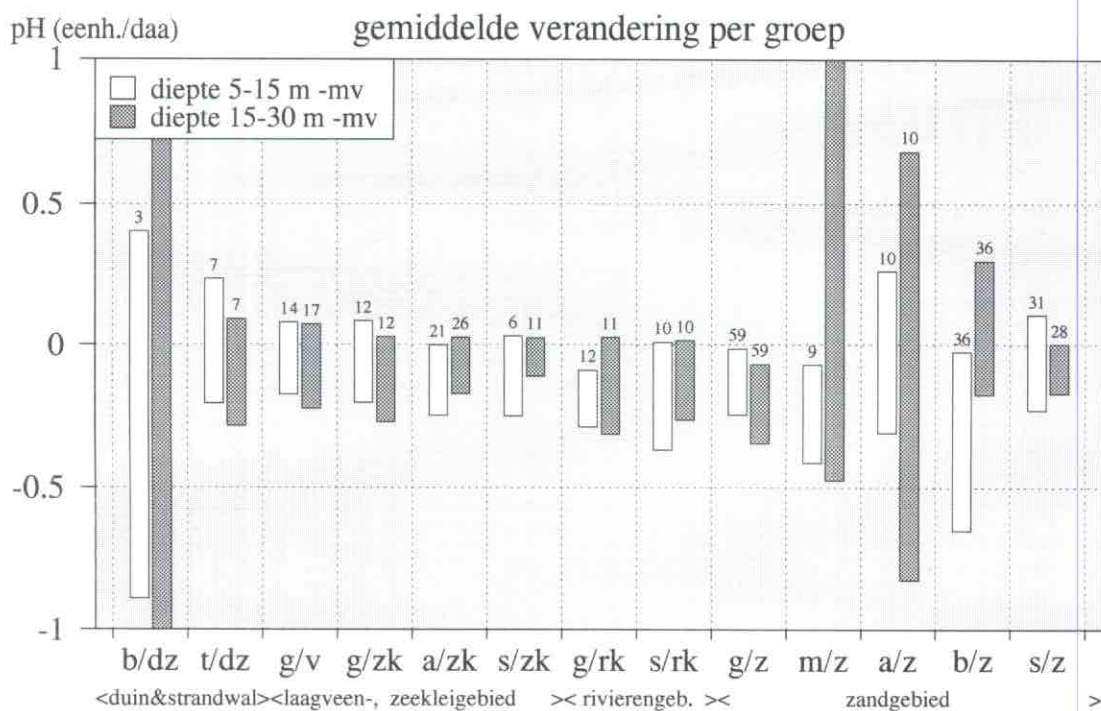
## eco-districten



% oppervlakte



Figuur 12 pH in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl.steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte met een pH lager dan 5;



Figuur 13 pH in het grondwater in de periode 1984-1992; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de pH per 10 jaar (deca jaar)

Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en de nummers van gebieden

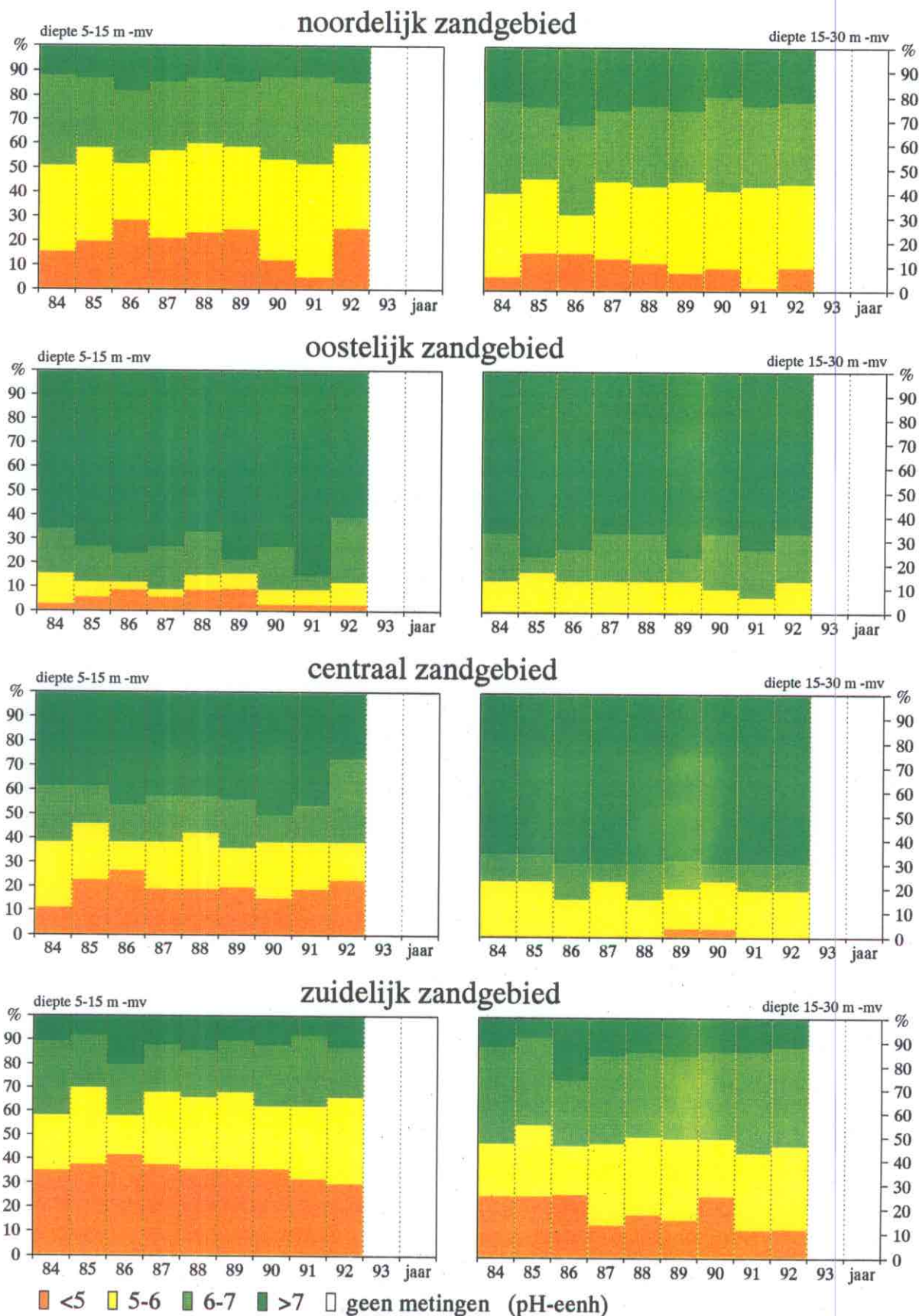
b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,

dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

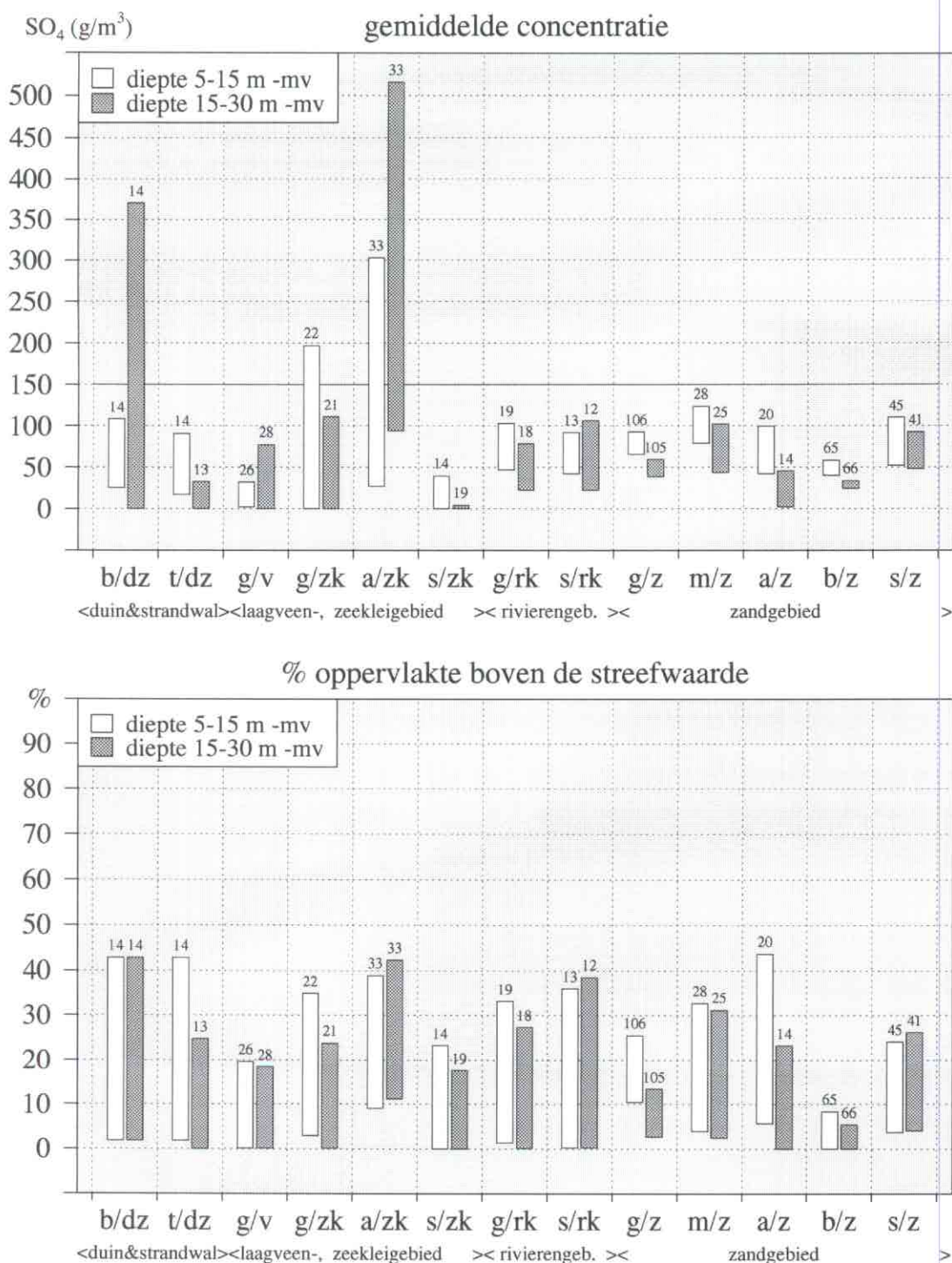
gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-,

7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland





Figuur 14 pH in het grondwater in de periode 1984-1992;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



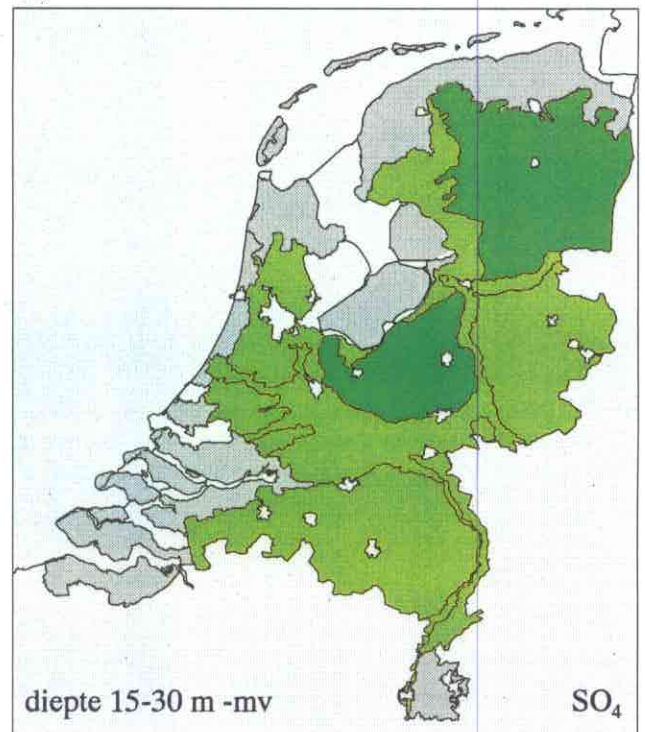
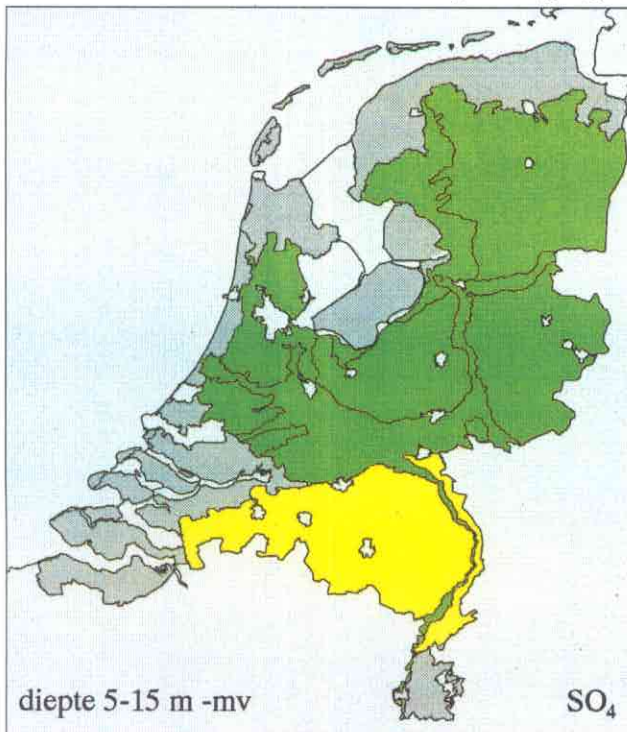
Figuur 15 Sulfaat in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (150 g/m<sup>3</sup>).

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort

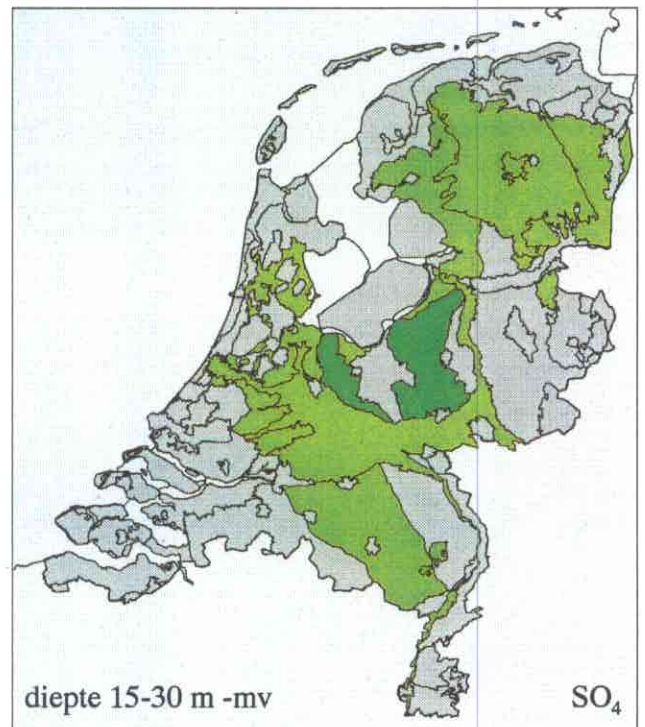
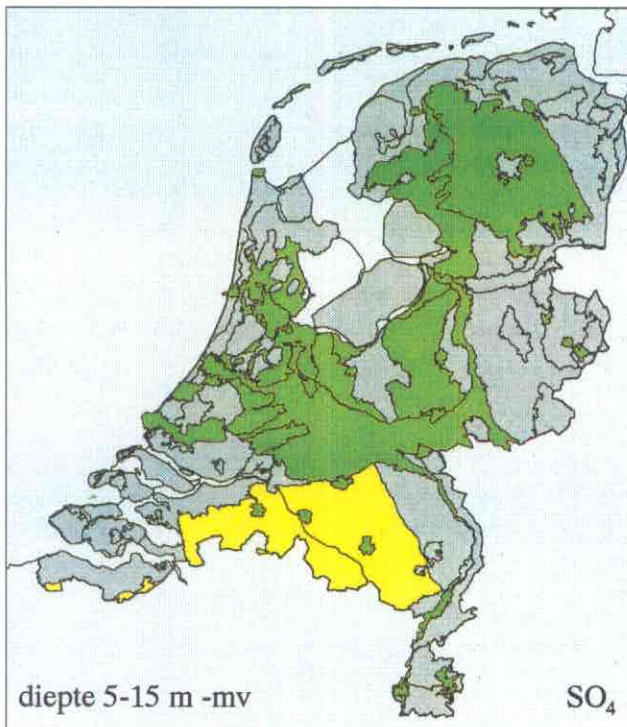
b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,

dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



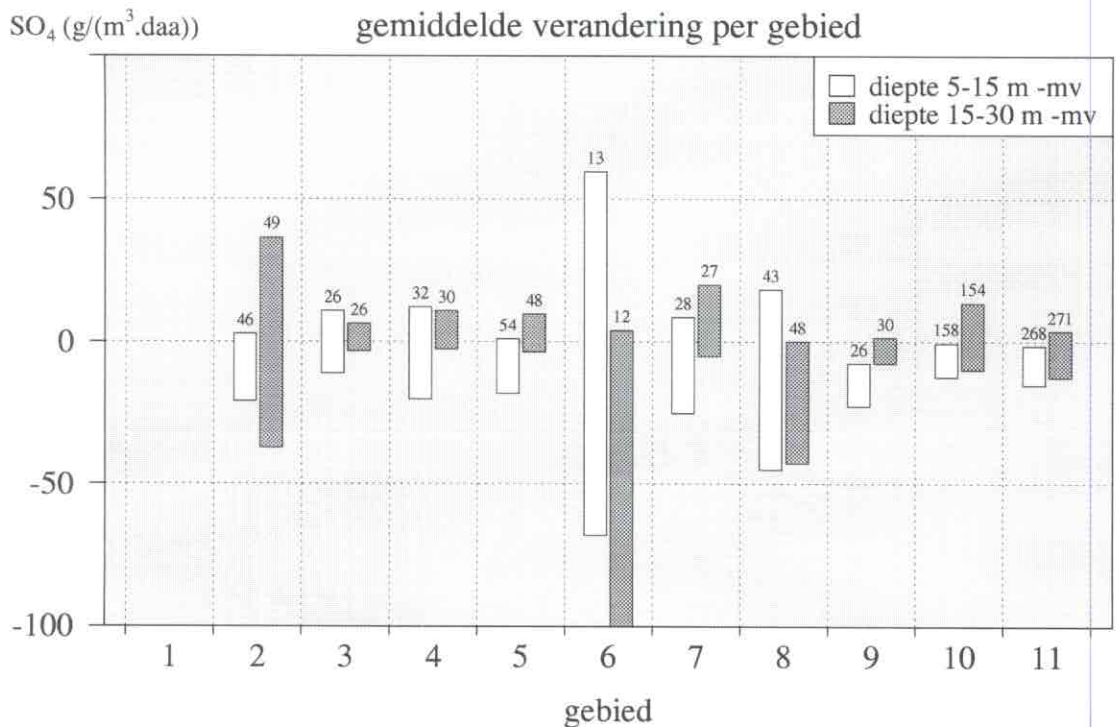
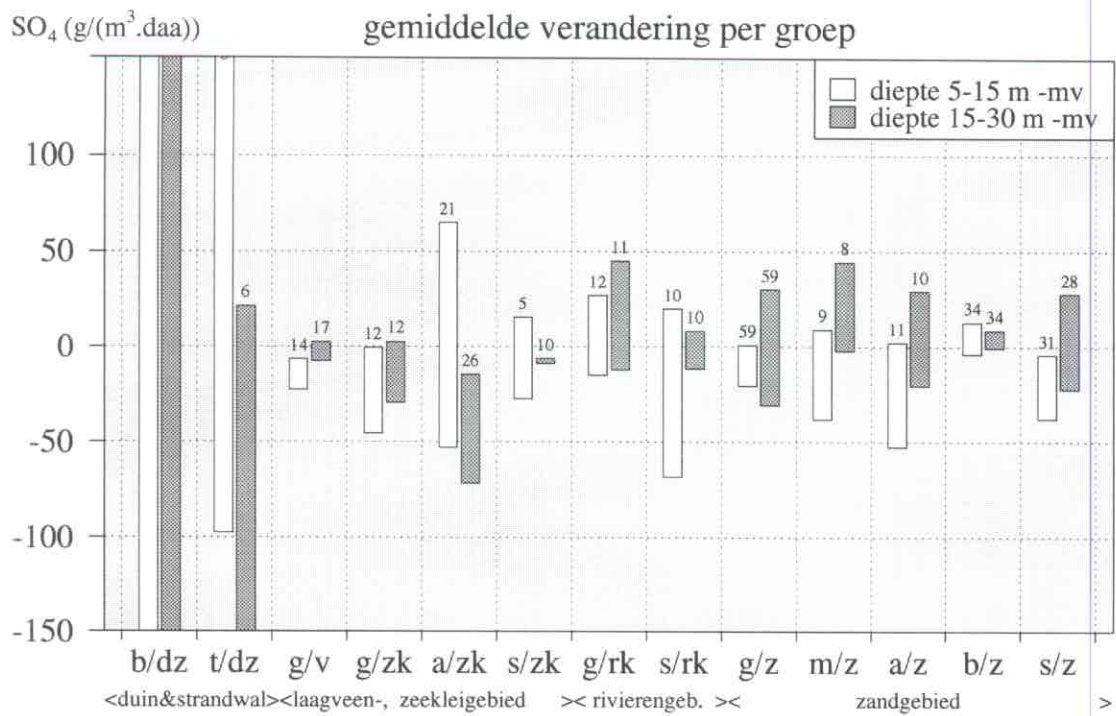
## eco-districten



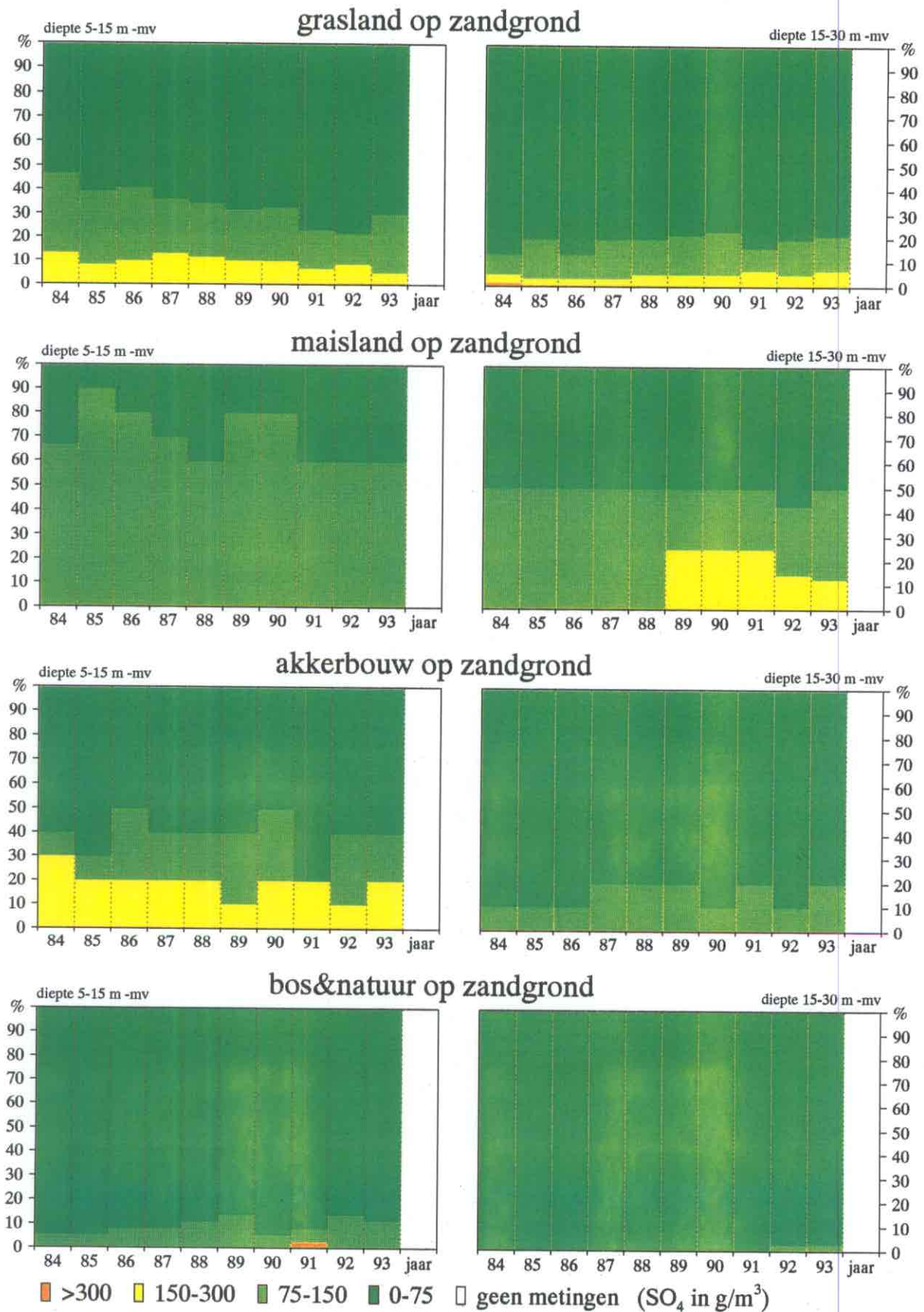
% oppervlakte



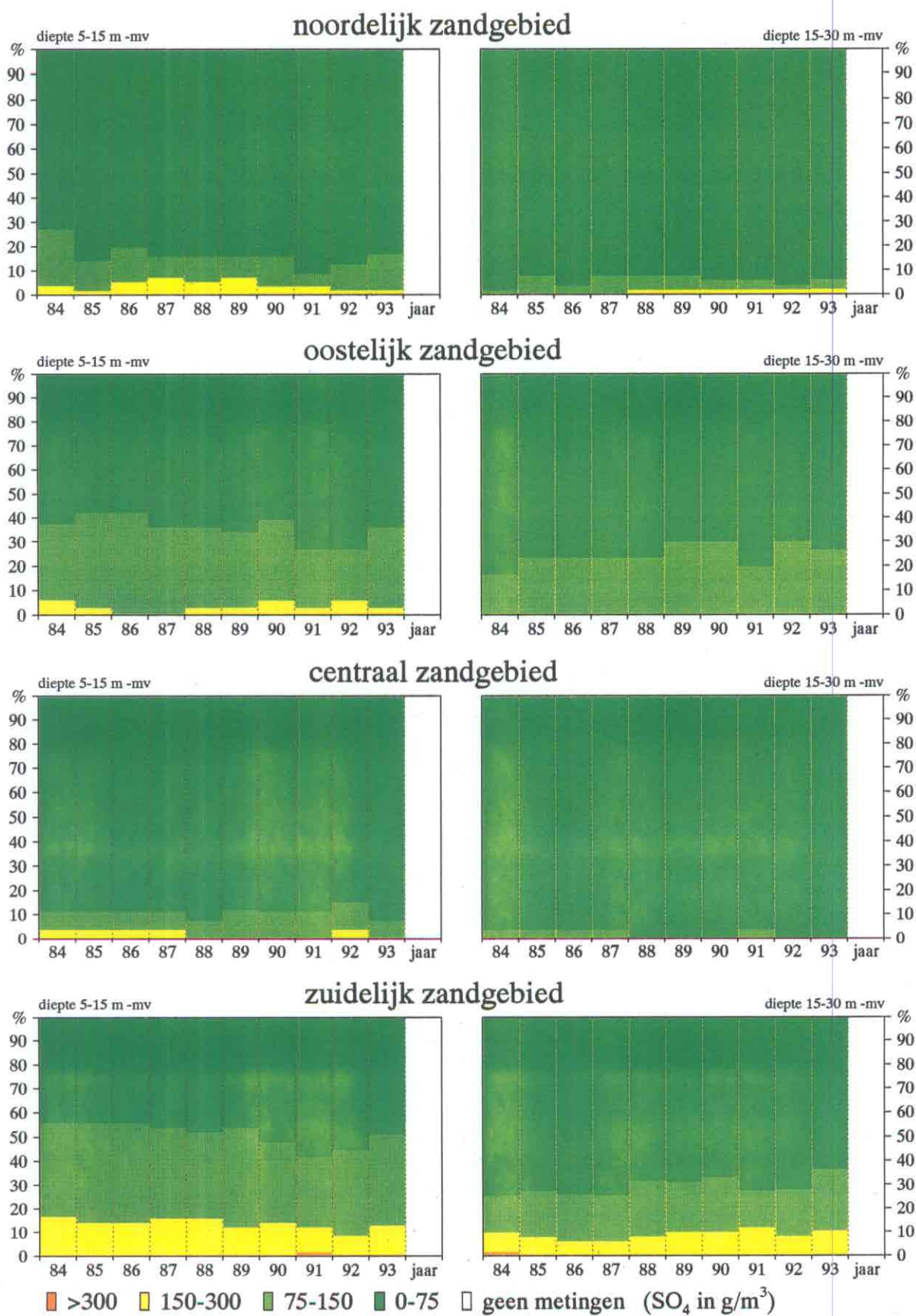
Figuur 16 Sulfaat in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $150 \text{ g/m}^3$ );



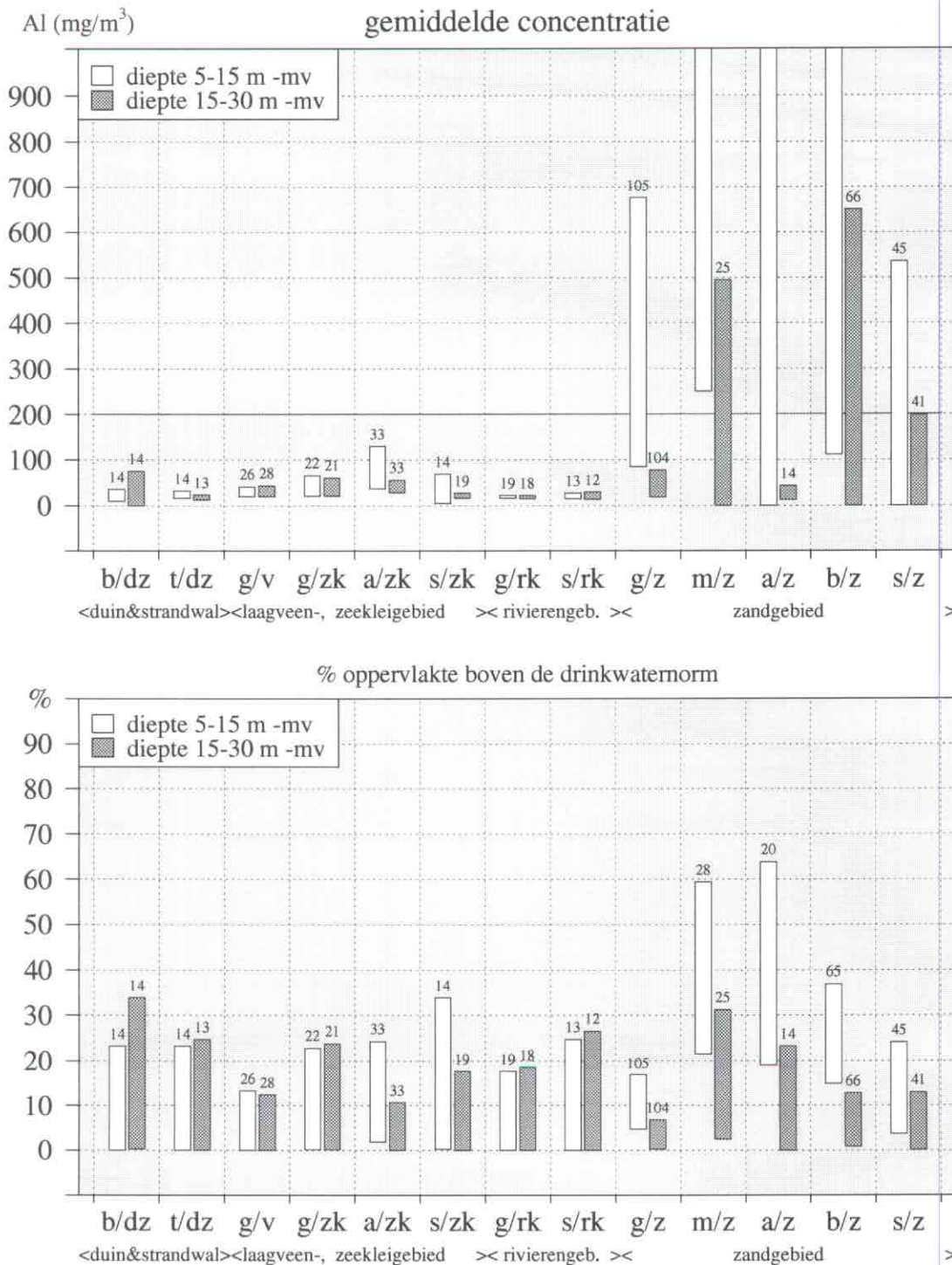
Figuur 17 Sulfaat in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar) Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en nummers van gebieden  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand  
 gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-,  
 7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland



Figuur 18 Sulfaat in het grondwater in de zandgebieden in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, grondgebruik en dieptetraject



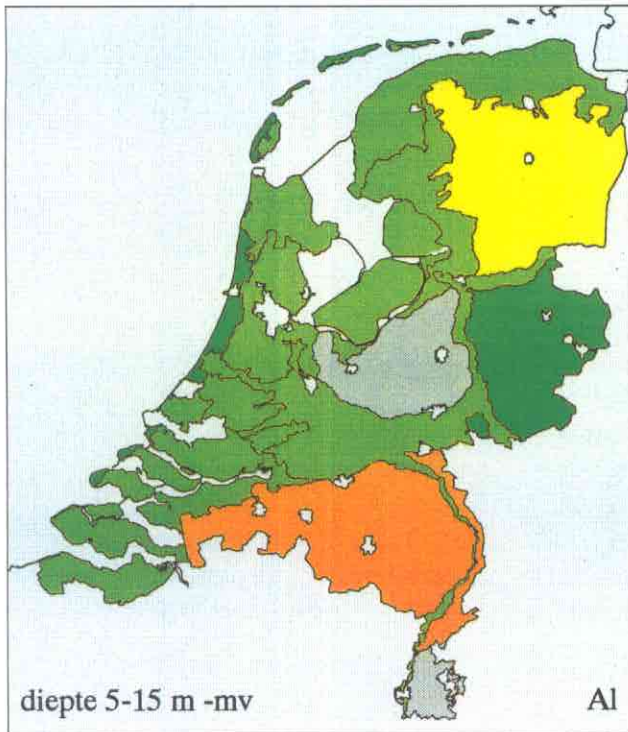
Figuur 19 Sulfaat in het grondwater in de periode 1984-1993;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



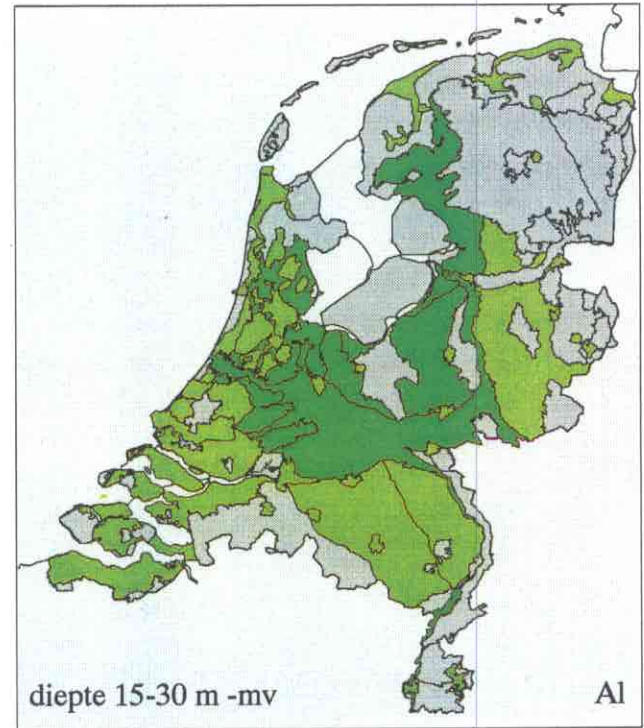
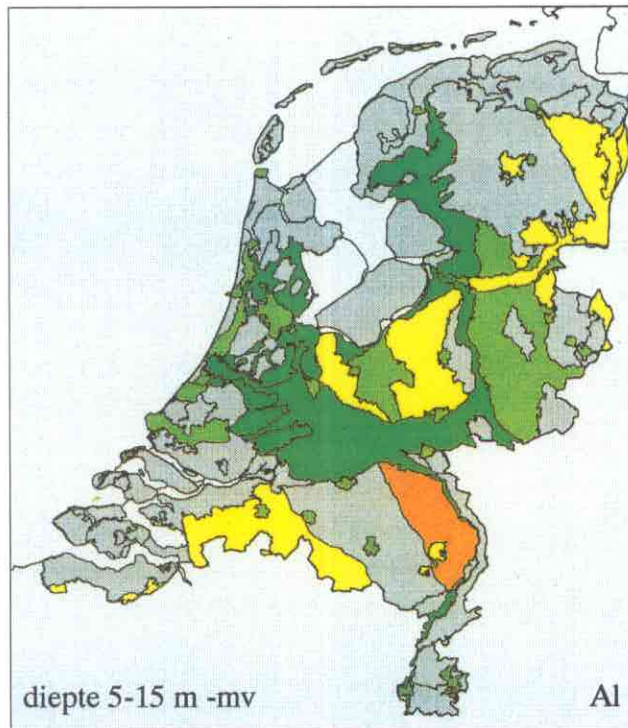
Figuur 20 Aluminium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm (200 mg/m<sup>3</sup>).

Aangegeven zijn de drinkwaternorm, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

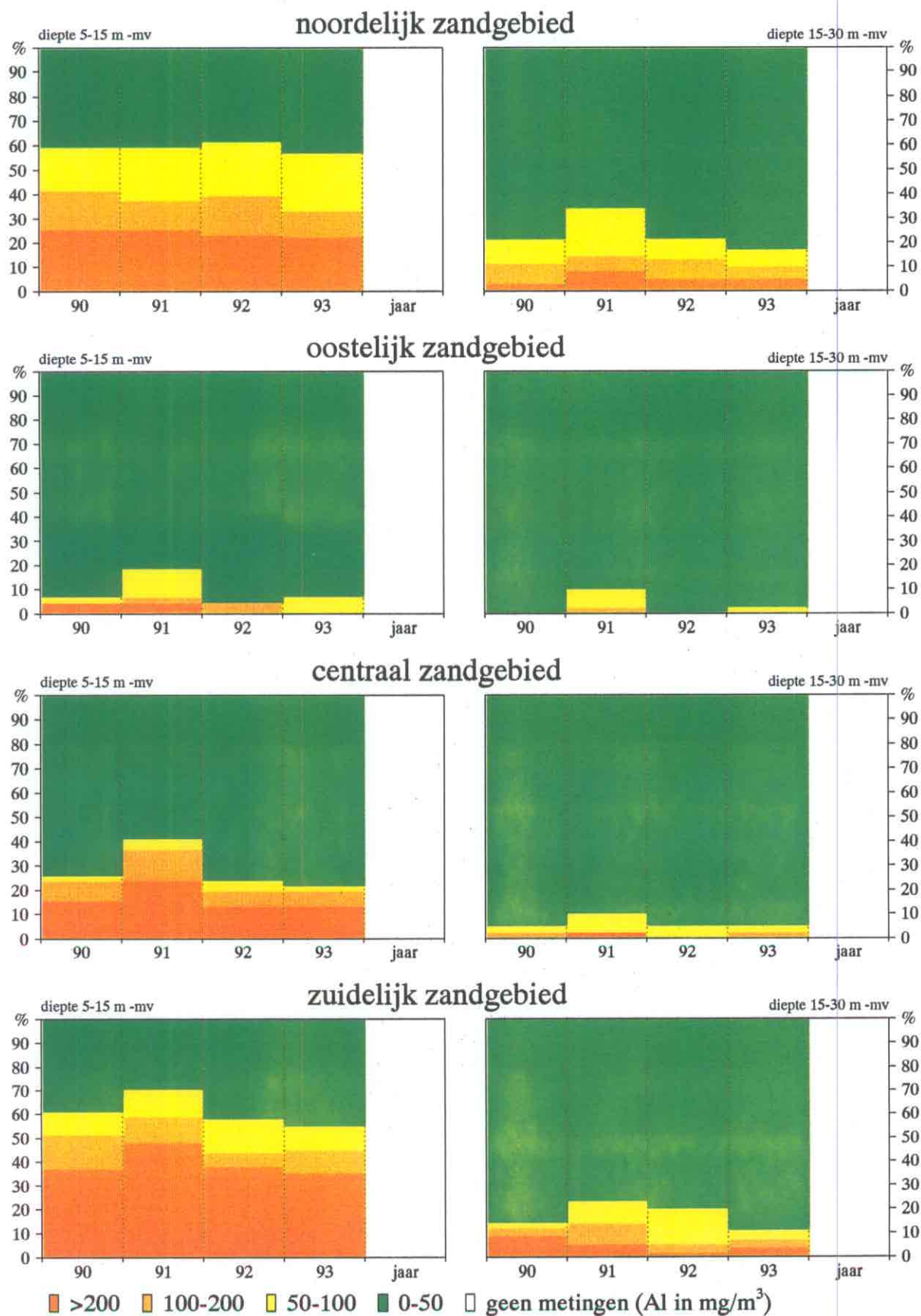


% oppervlakte

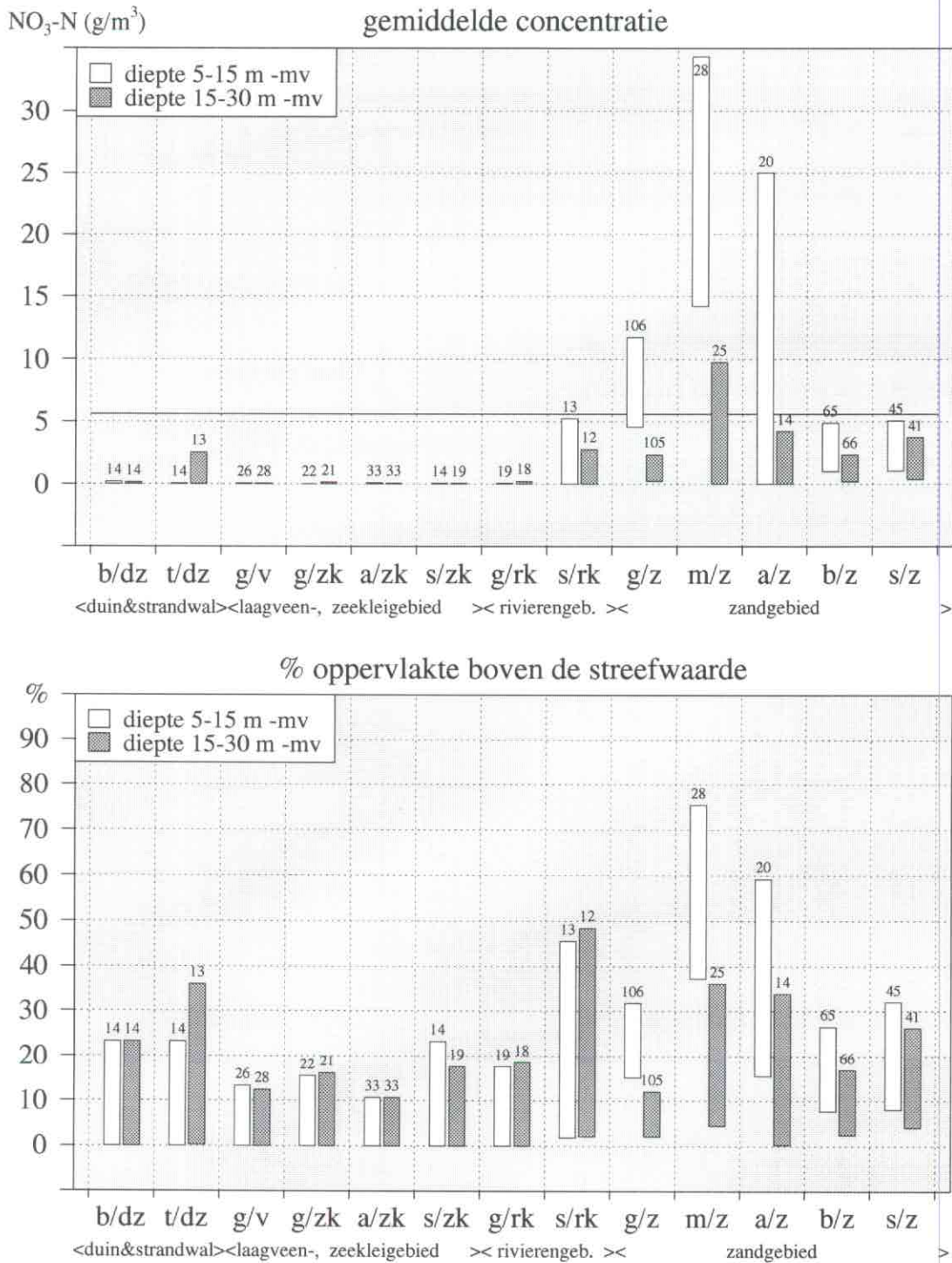


Figuur 21 Aluminium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm ( $200 \text{ mg/m}^3$ );



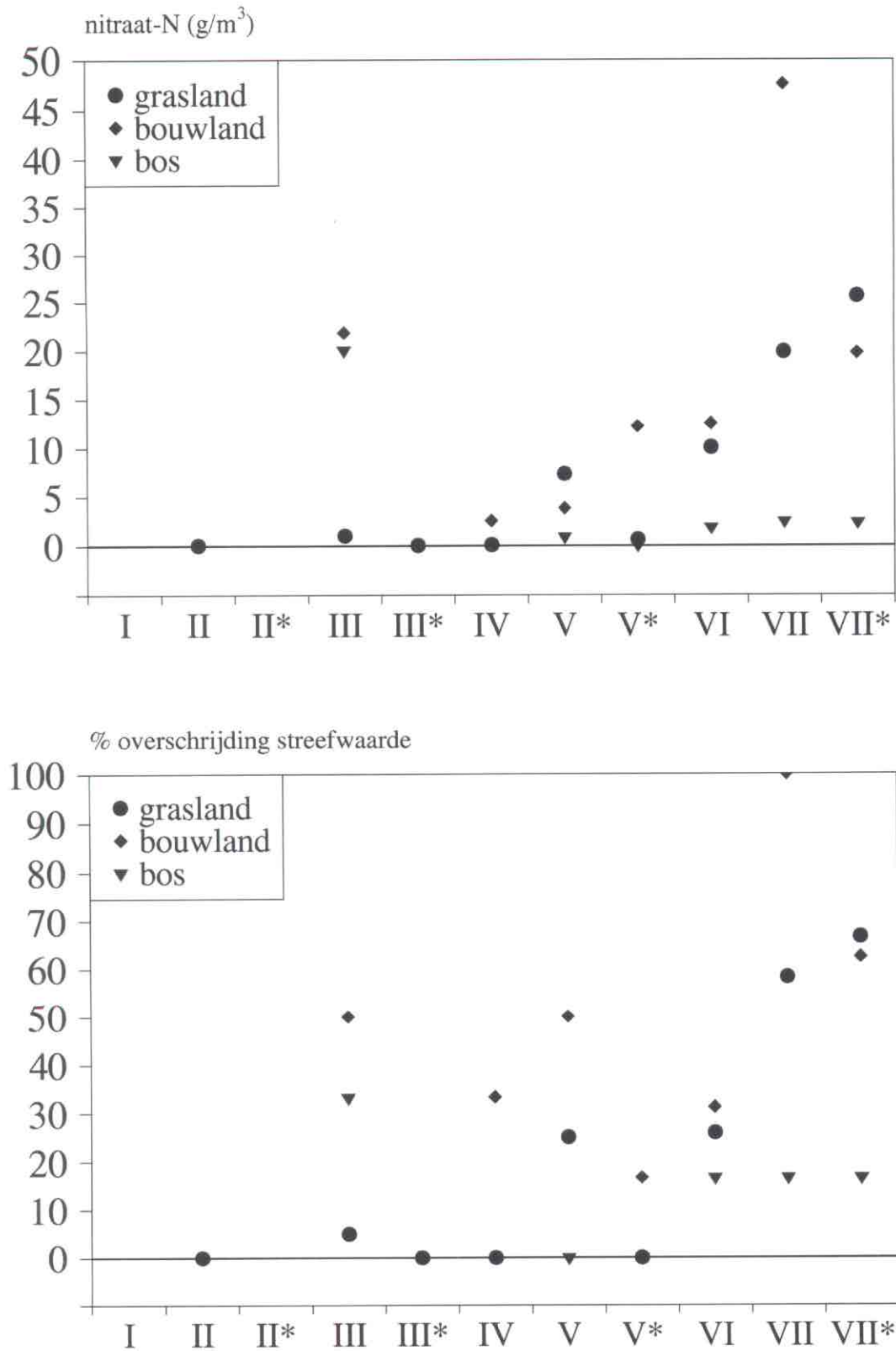


Figuur 22 Aluminium in het grondwater in de periode 1990-1993; percentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



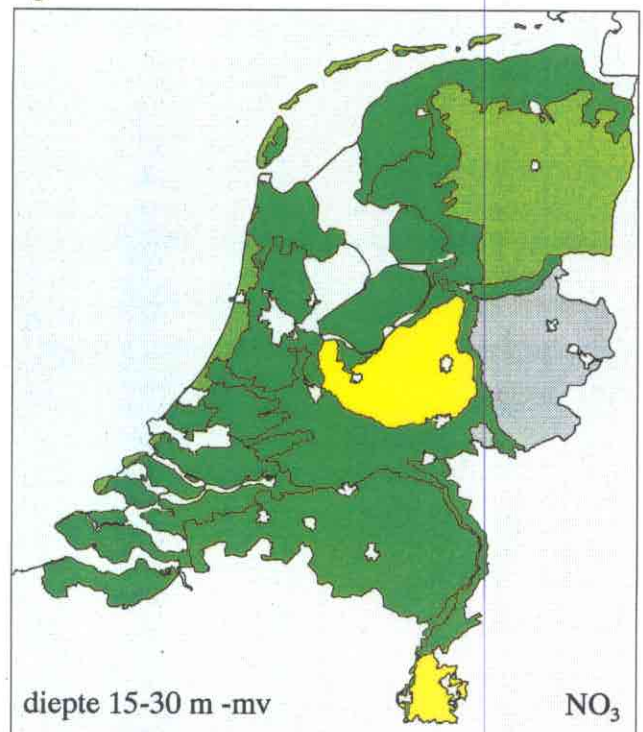
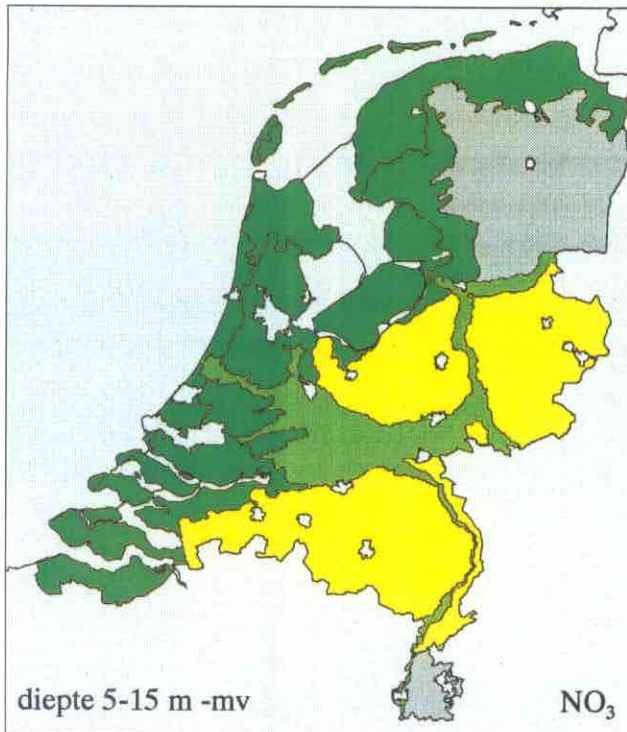
Figuur 23 Nitraat in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor nitraat-N (5,6 g/m<sup>3</sup>).

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

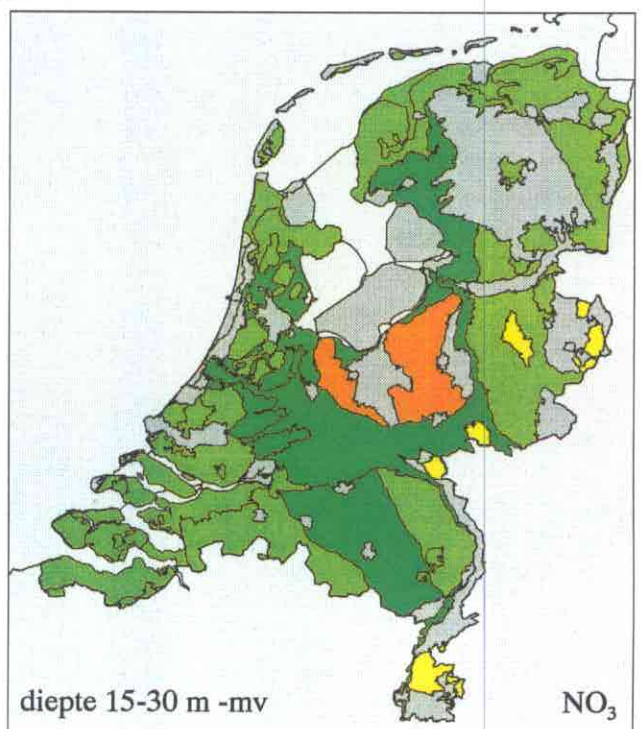
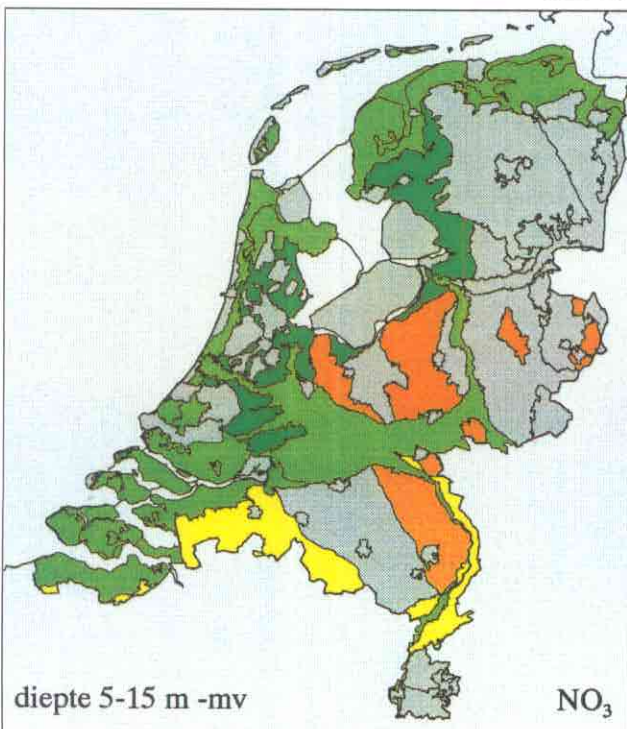


figuur 24: Nitraat in het grondwater op diepte 5-15 m -mv in de zandgebieden in het jaar 1992; gemiddelde concentraties en overschrijding van de streefwaarde per grondwatertrap voor gras, bouwland (mais+akkerbouw) en bos&natuur

## fysisch-geografische gebieden



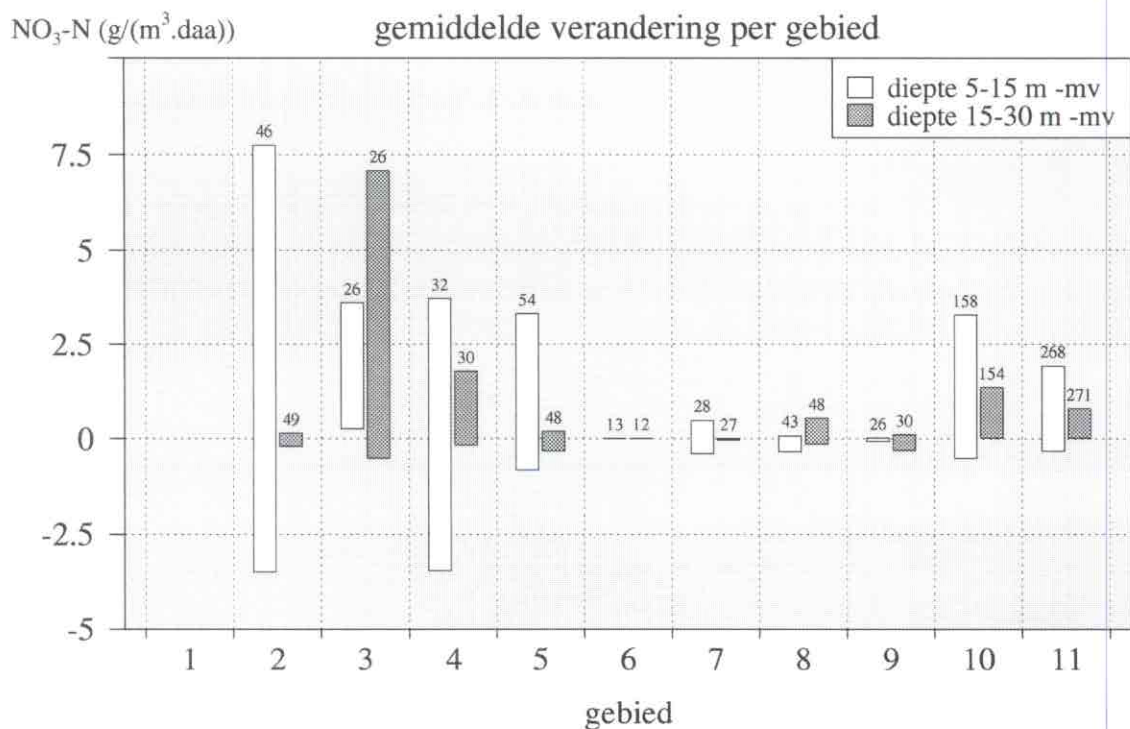
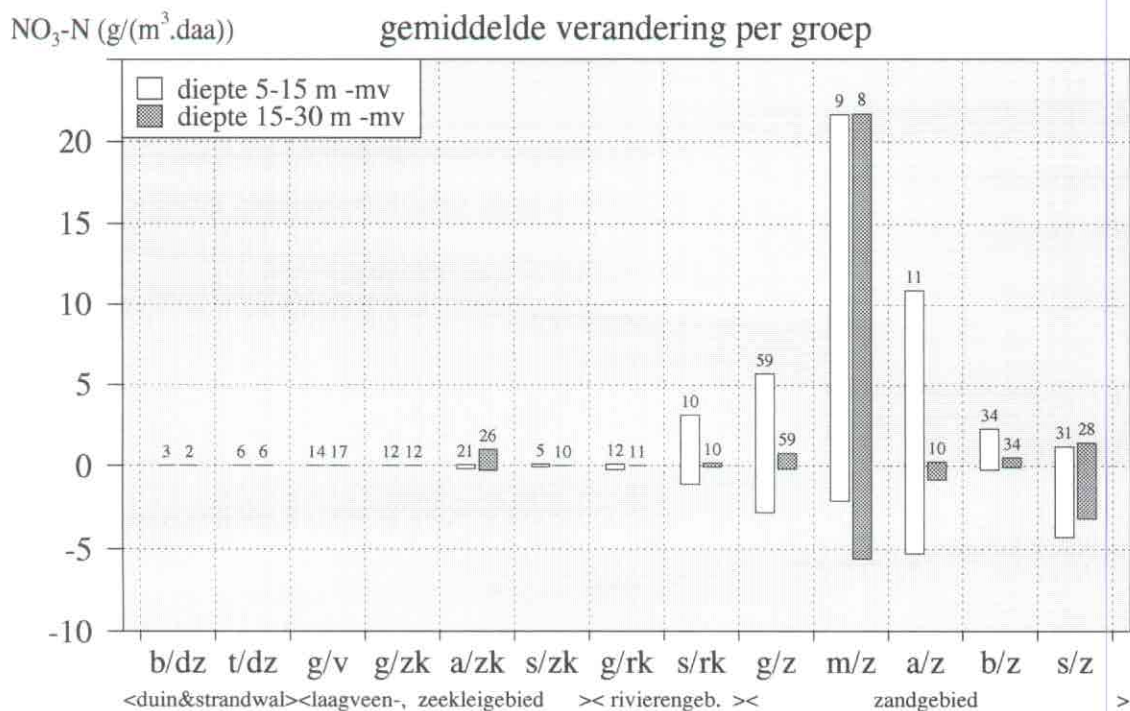
## eco-districten



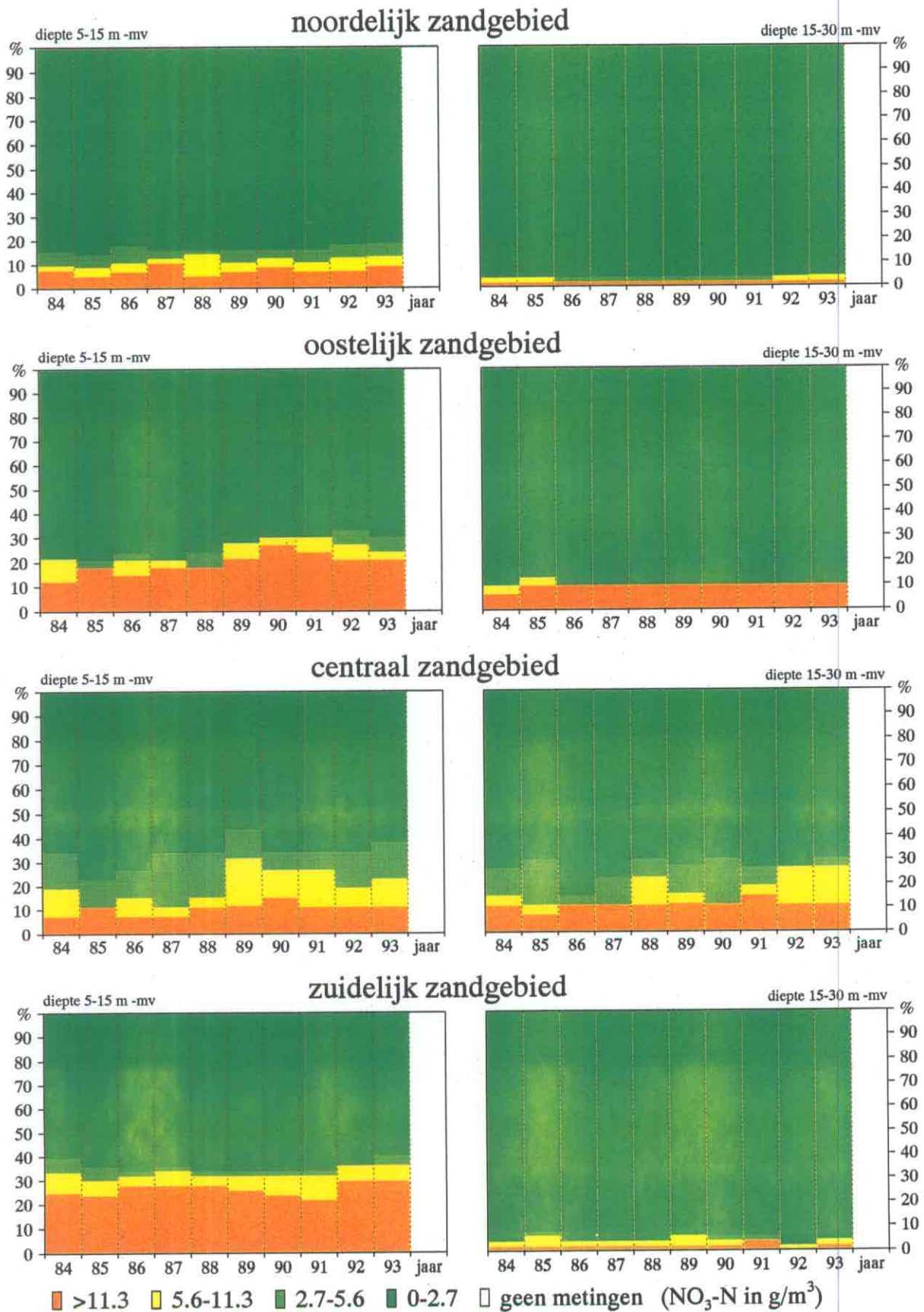
Figuur 25 Nitraat in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor nitraat-N ( $5,6 \text{ g/m}^3$ );

% oppervlakte

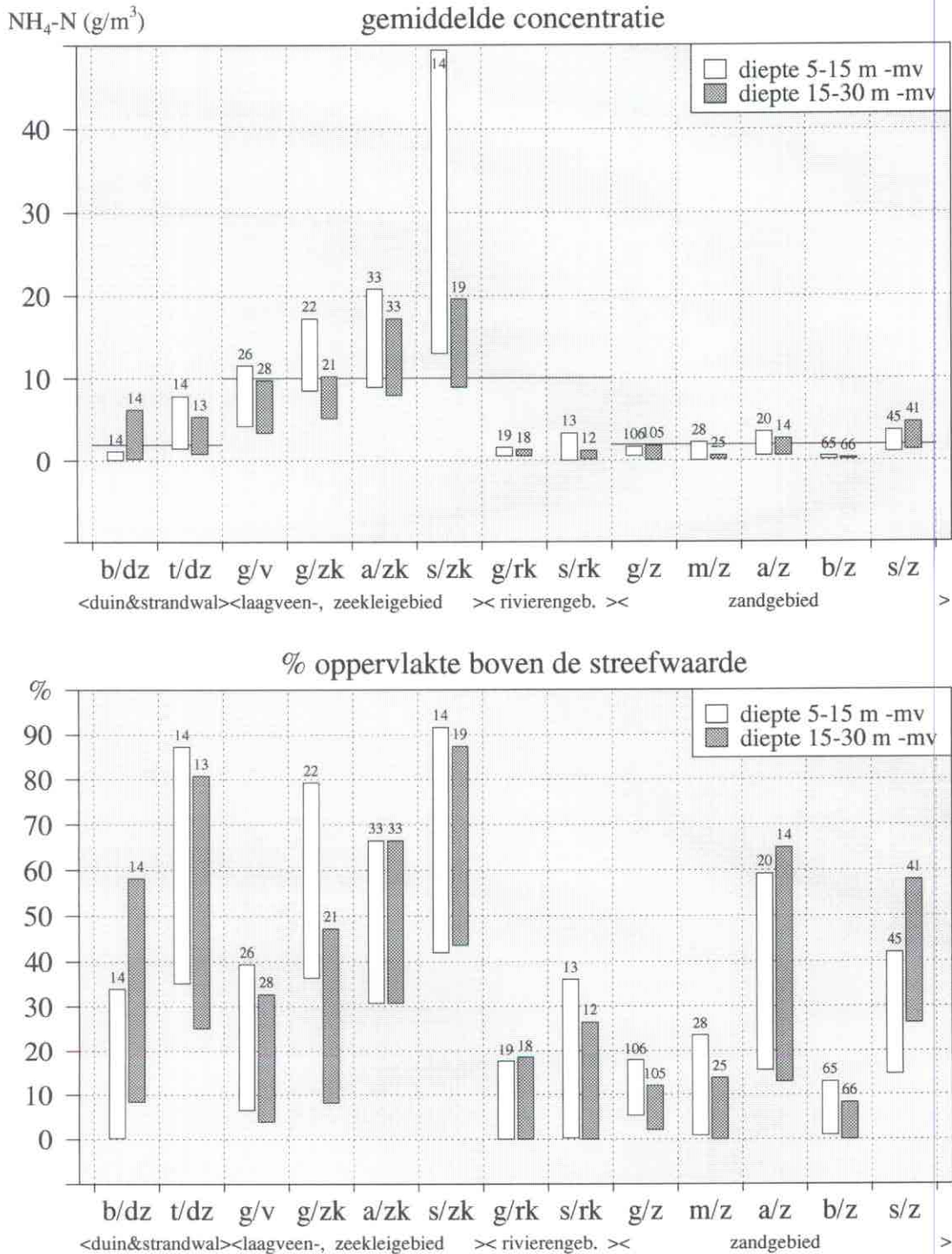




Figuur 26 Nitraat in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar) Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en de nummers van gebieden b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-, 7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland

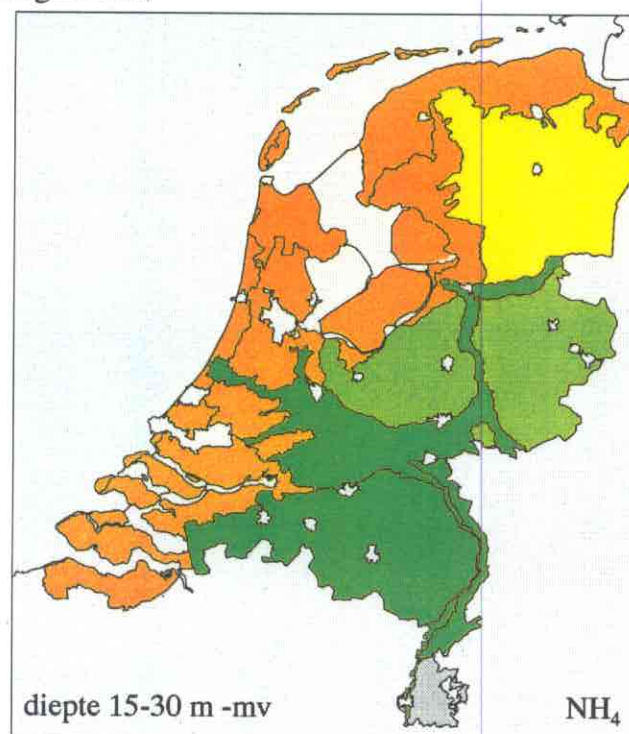
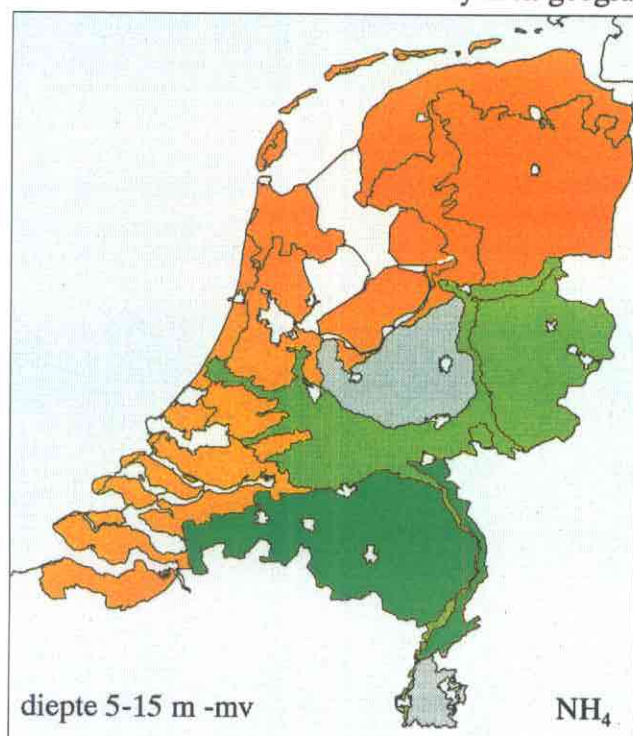


Figuur 27 Nitraat in het grondwater in de periode 1984-1993;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

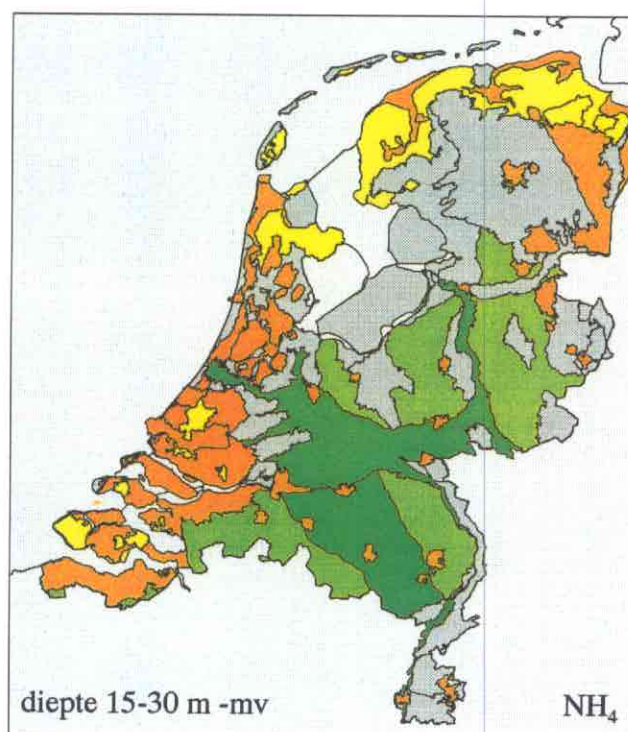
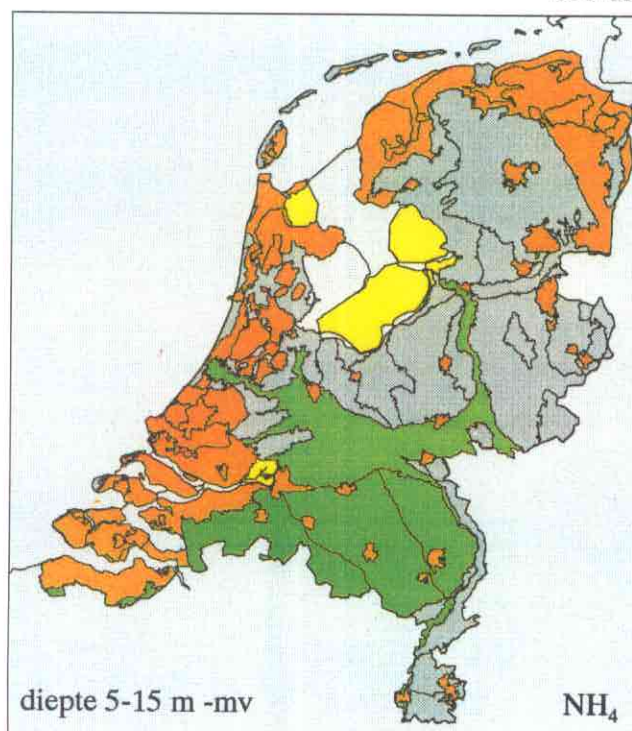


Figuur 28 Ammonium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (zand en leem 2, klei en veen  $10 \text{ g}/\text{m}^3$  ammonium-N). Aangegeven zijn de streefwaarden, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

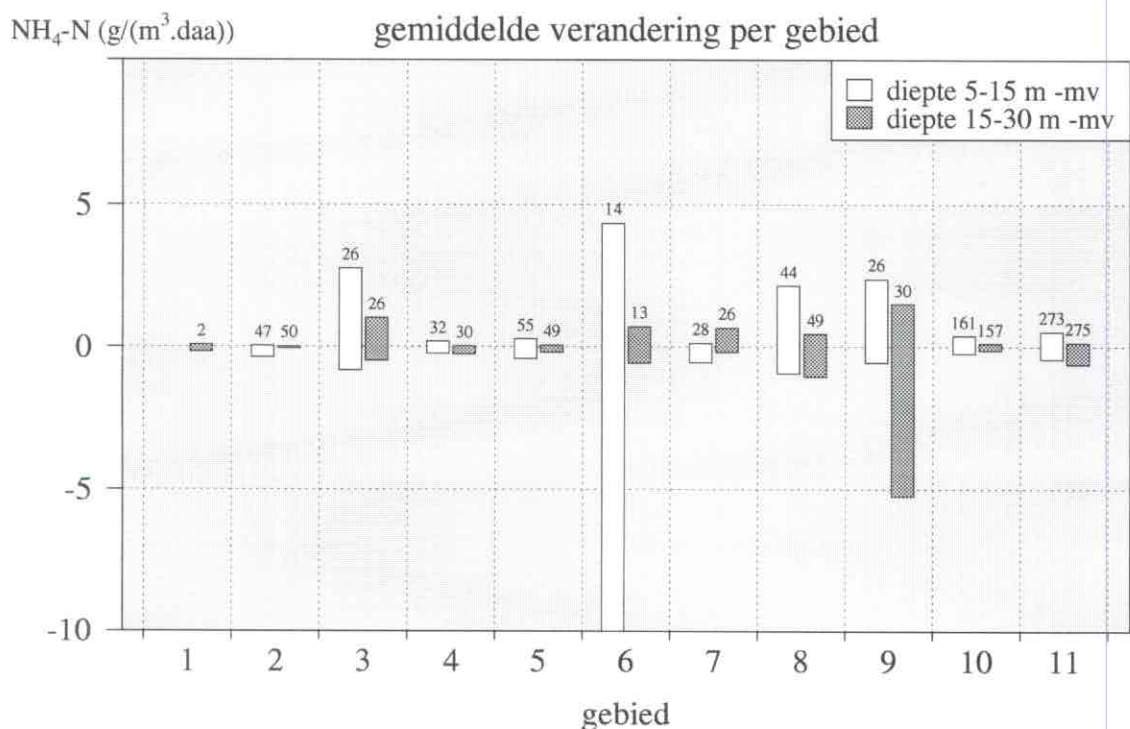
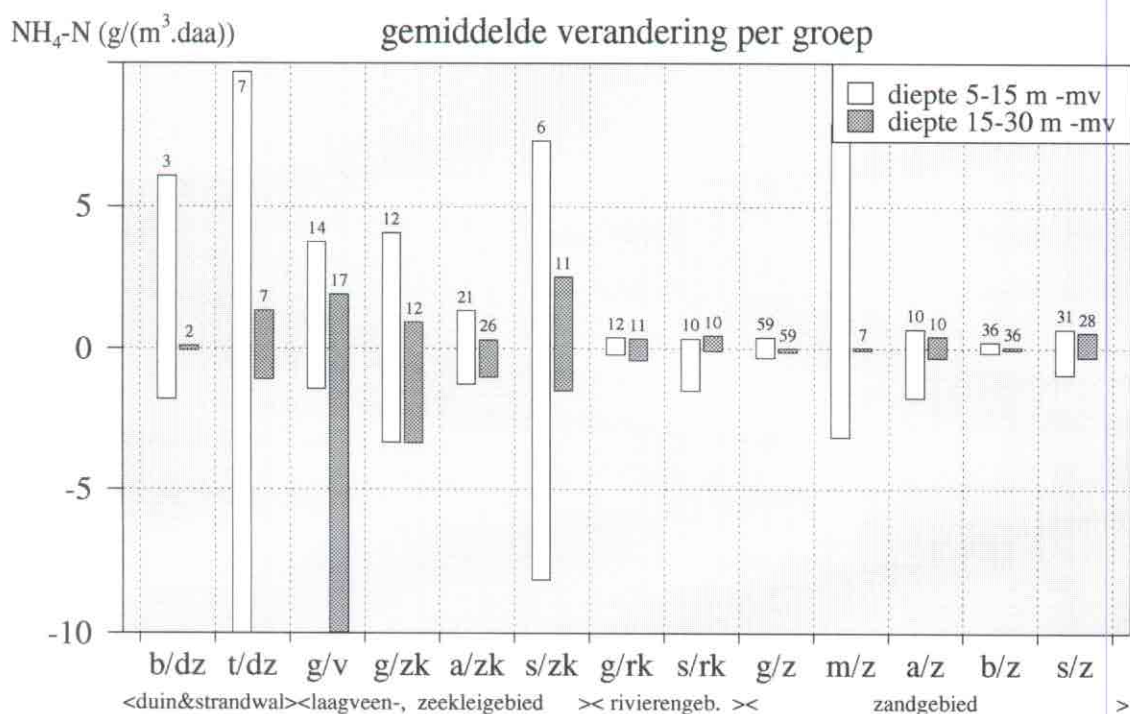


% oppervlakte



Figuur 29 Ammonium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde voor ammonium-N (zand en leem: 2 g/m<sup>3</sup>, klei en veen: 10 g/m<sup>3</sup>); rapport 714801005, RIVM, 1995





Figuur 30 Ammonium in het grondwater in de periode 1984-1992; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)

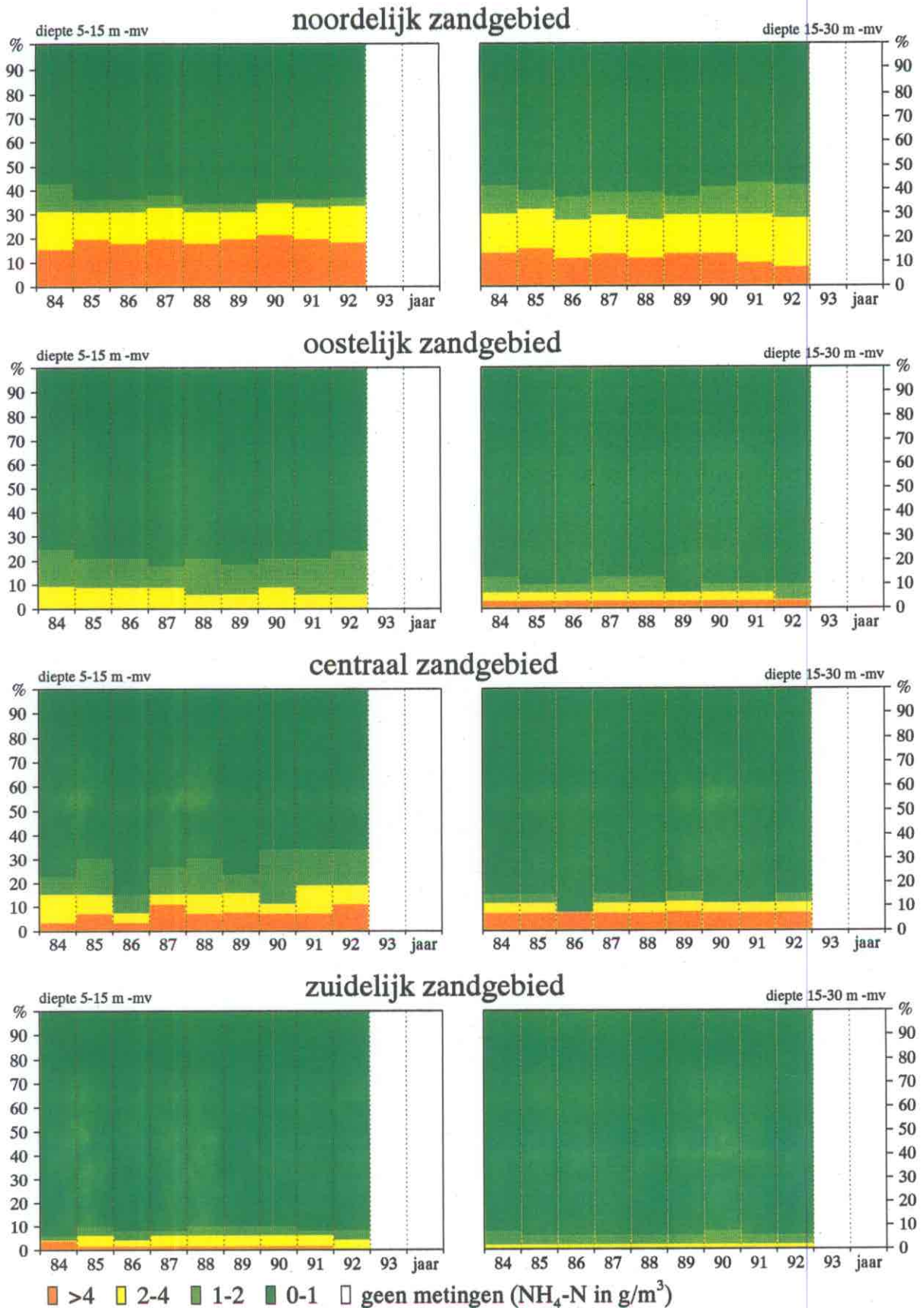
Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en de nummers van gebieden

b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,

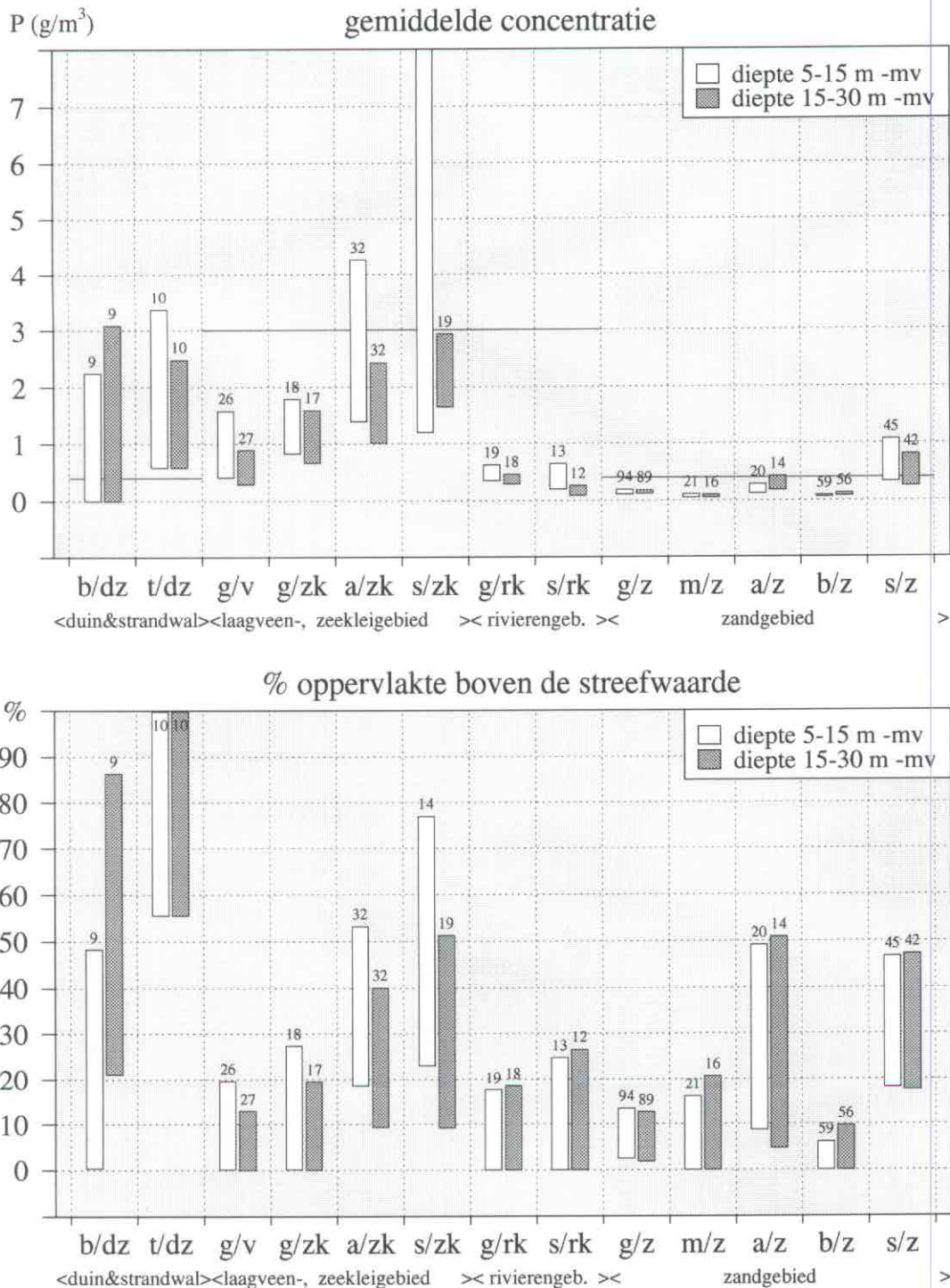
dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-,

7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland

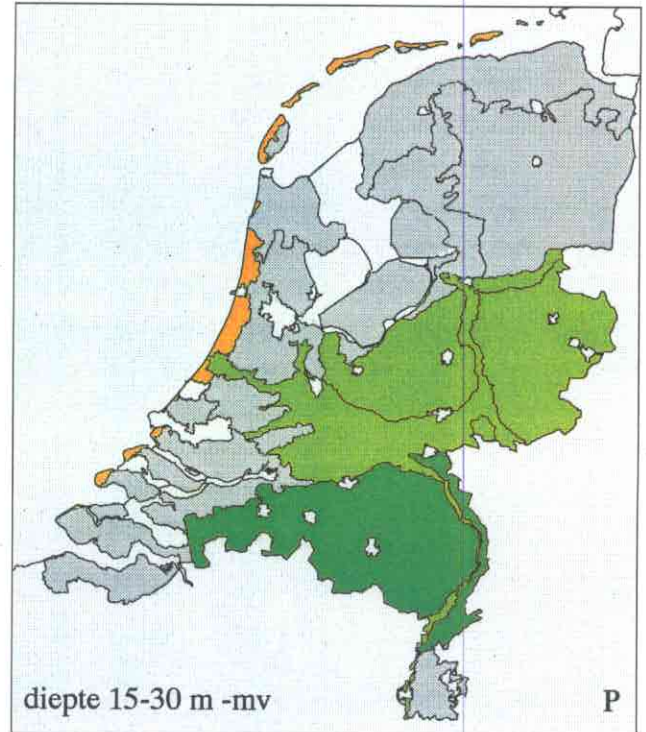
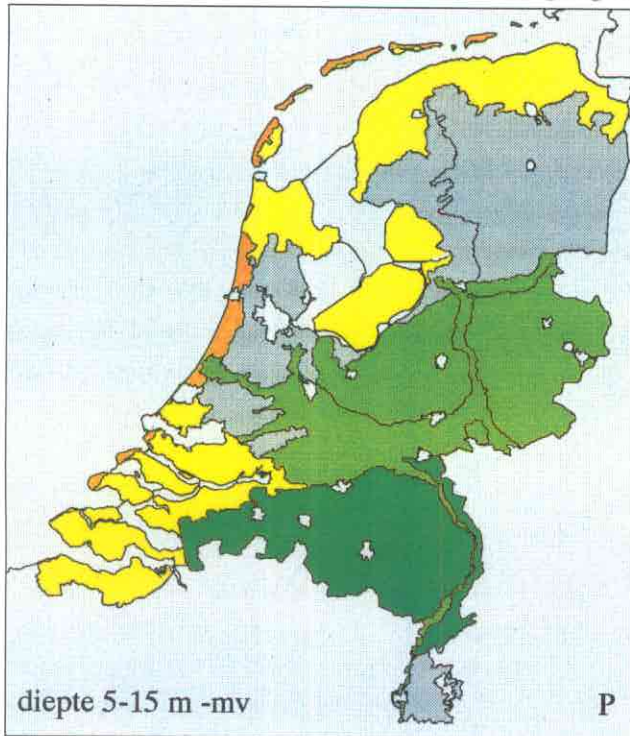


Figuur 31 Ammonium in het grondwater in de periode 1984-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

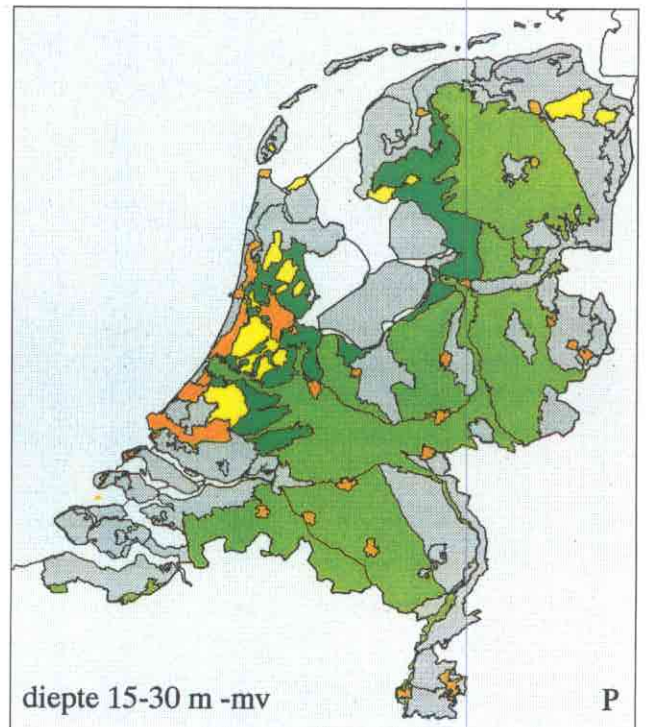
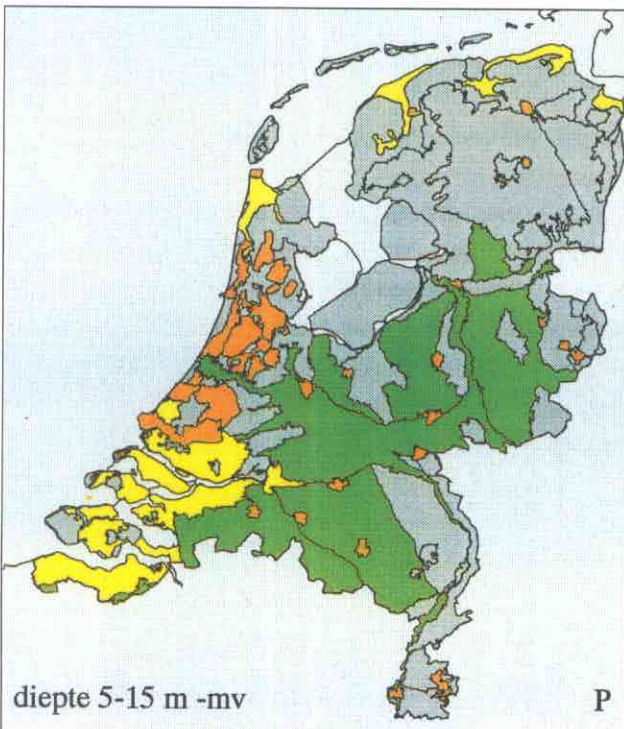


Figuur 32 Totaal-P in het grondwater in het jaar 1991 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (zand en leem: 0,4 mg/m<sup>3</sup>; klei en veen: 3 g/m<sup>3</sup>). Aangegeven zijn de streefwaarden, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



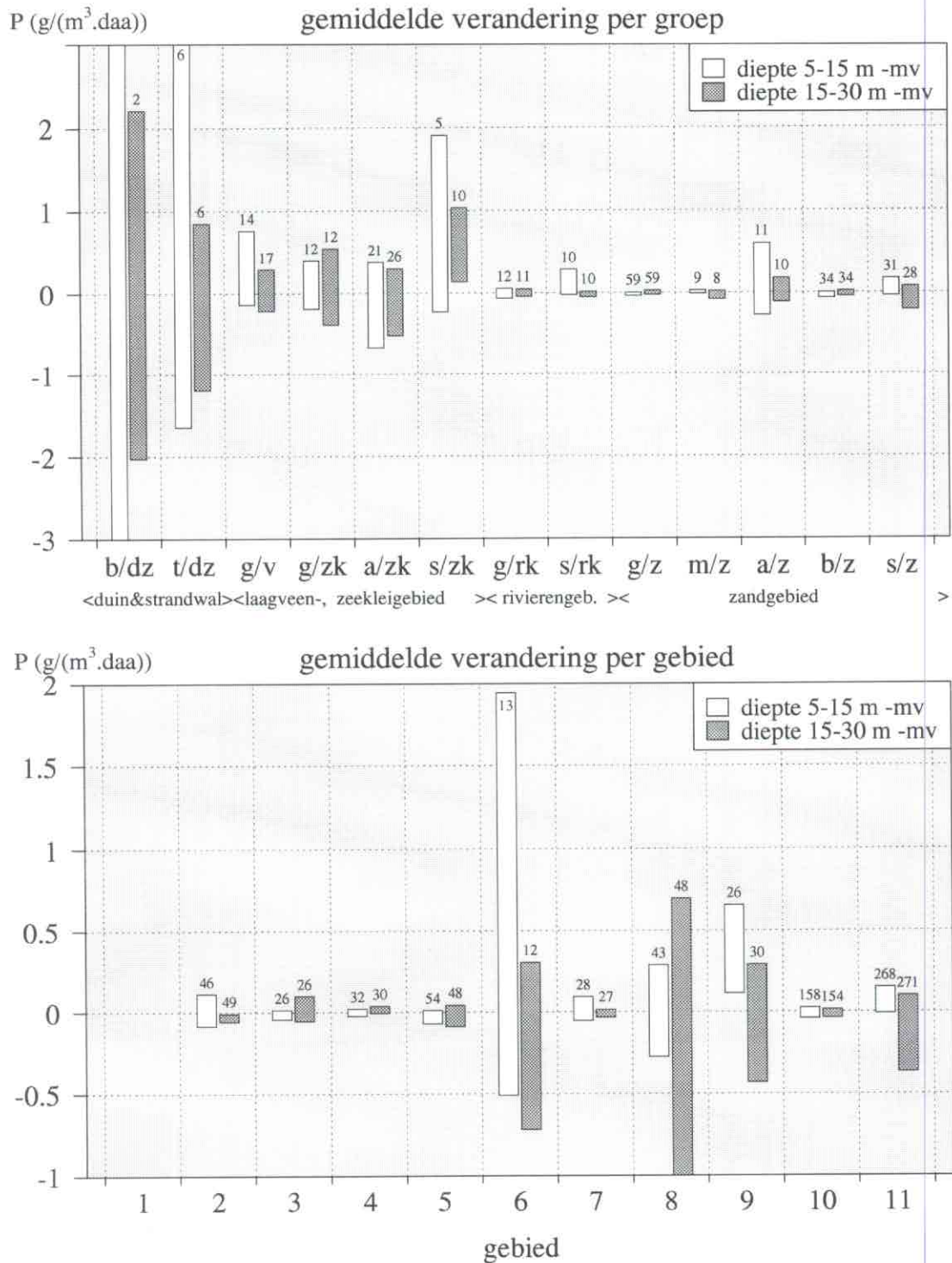
## eco-districten



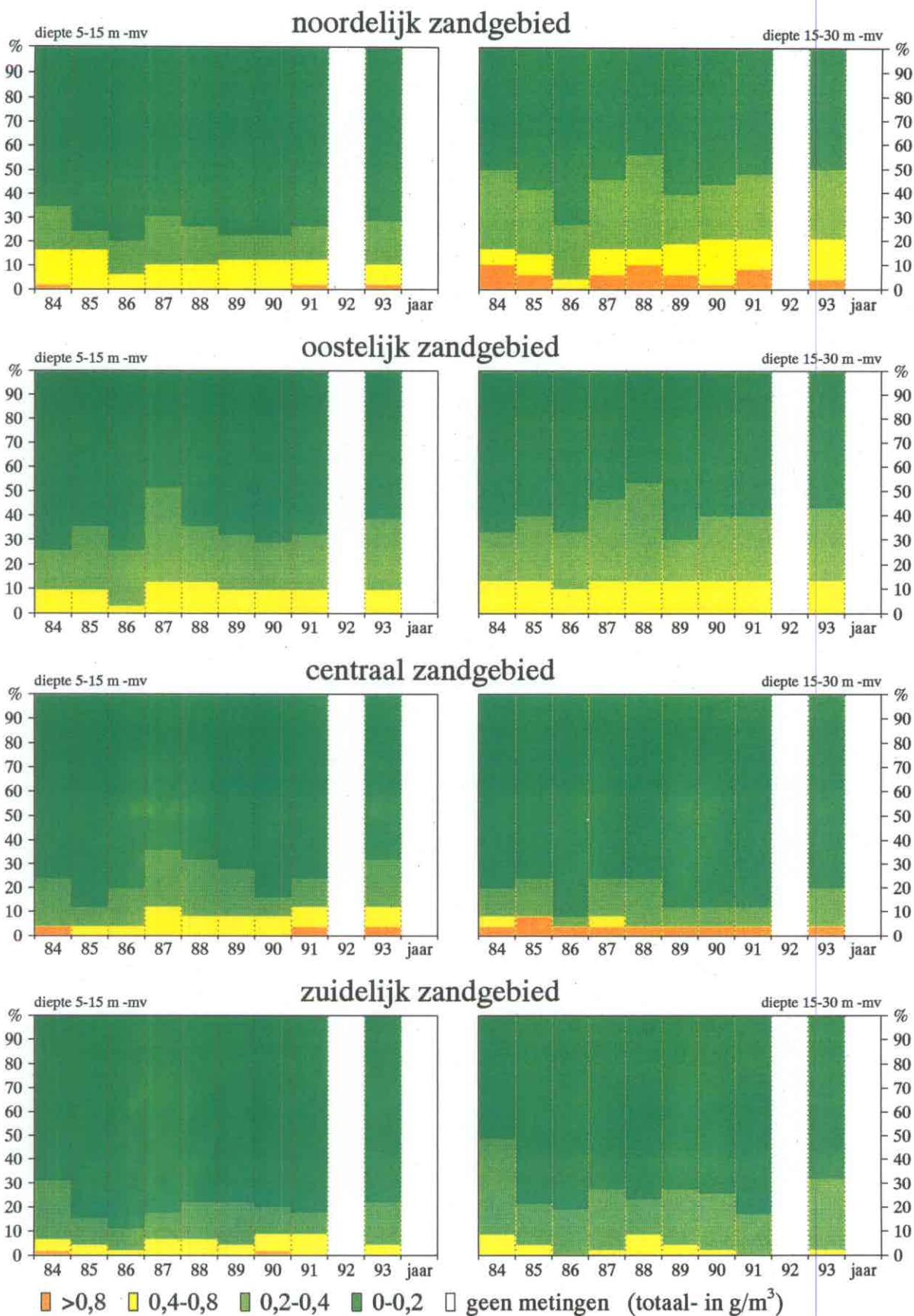
## % oppervlakte



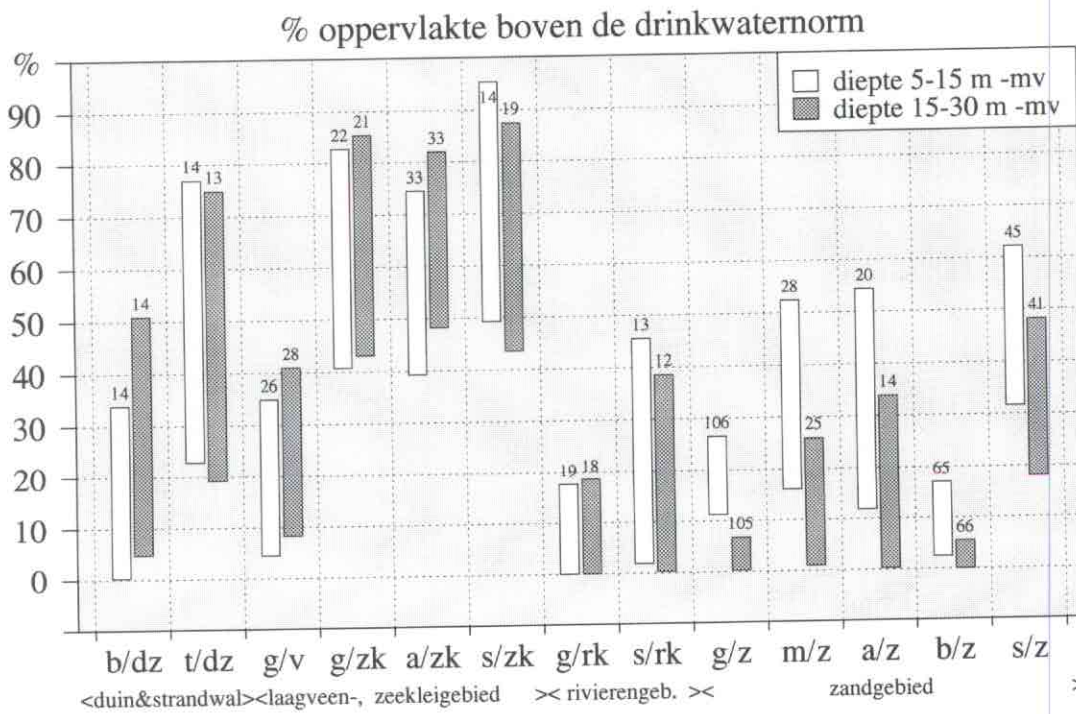
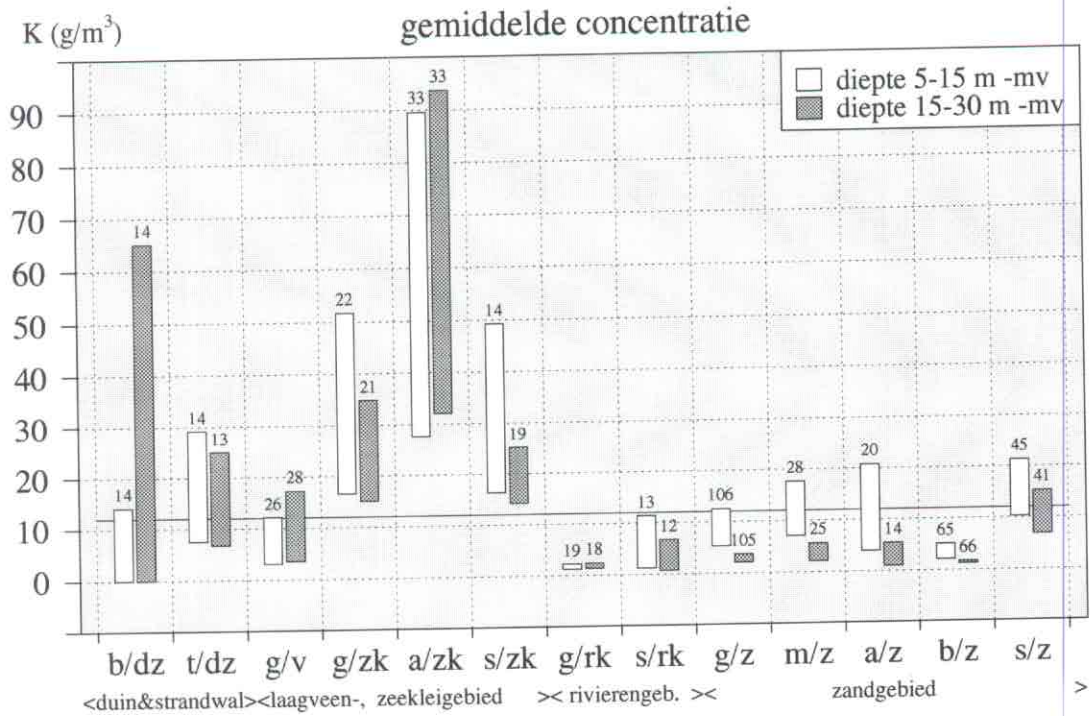
Figuur 33 Totaal-P in het grondwater in het jaar 1991 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (zand en leem:  $0,4 \text{ g/m}^3$ , klei en veen:  $3 \text{ g/m}^3$ ); rapport 714801005, RIVM, 1995



Figuur 34 Totaal-P in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar)  
 Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en de nummers van gebieden  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeelele, rk=rivierlele, z=zand  
 gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-,  
 7=rivieren-, 8=zeelele-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland



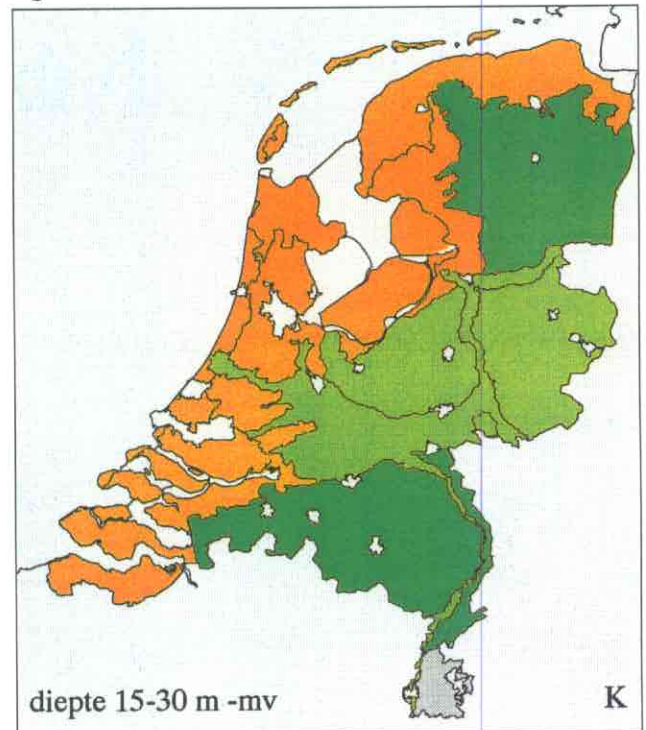
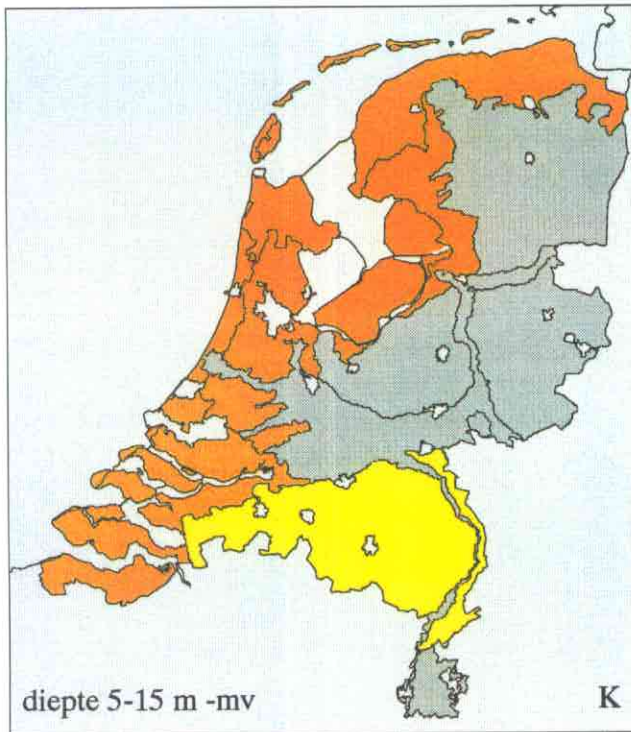
Figuur 35 Totaal-P in het grondwater in de periode 1984-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



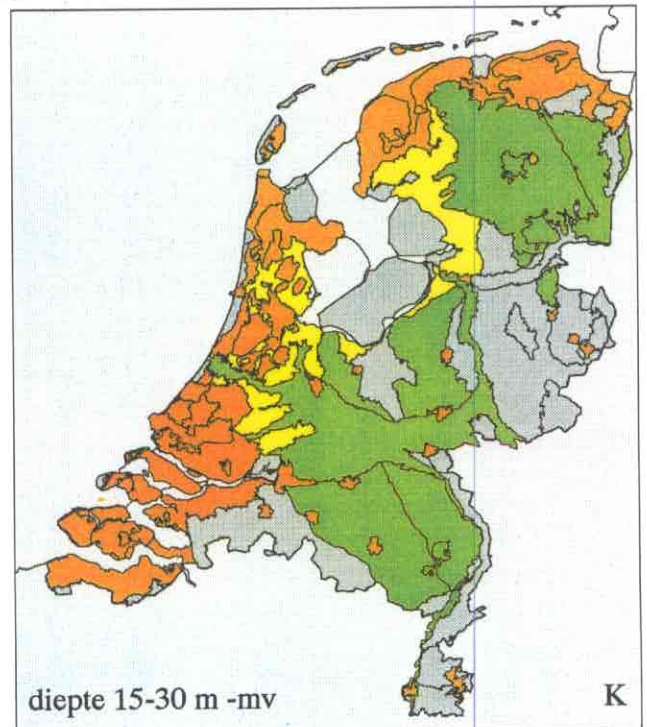
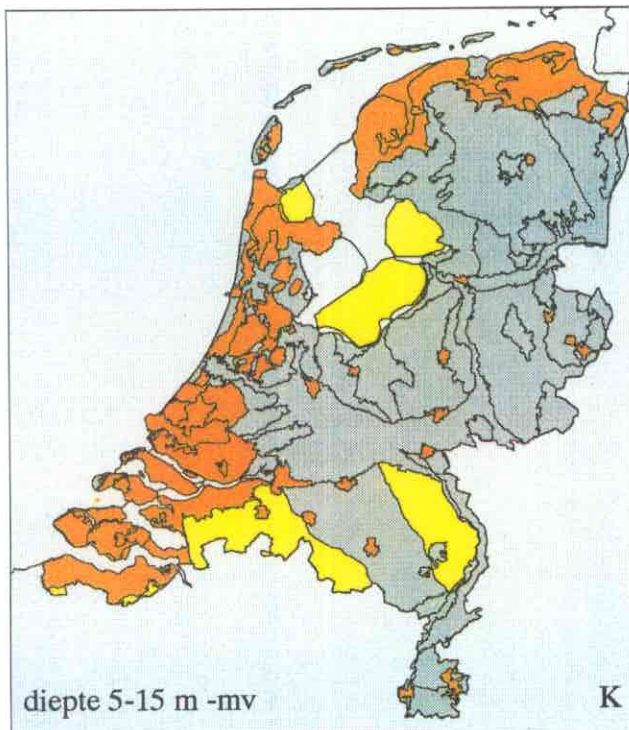
Figuur 36 Kalium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm (12 g/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de drinkwaternorm, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd,  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten



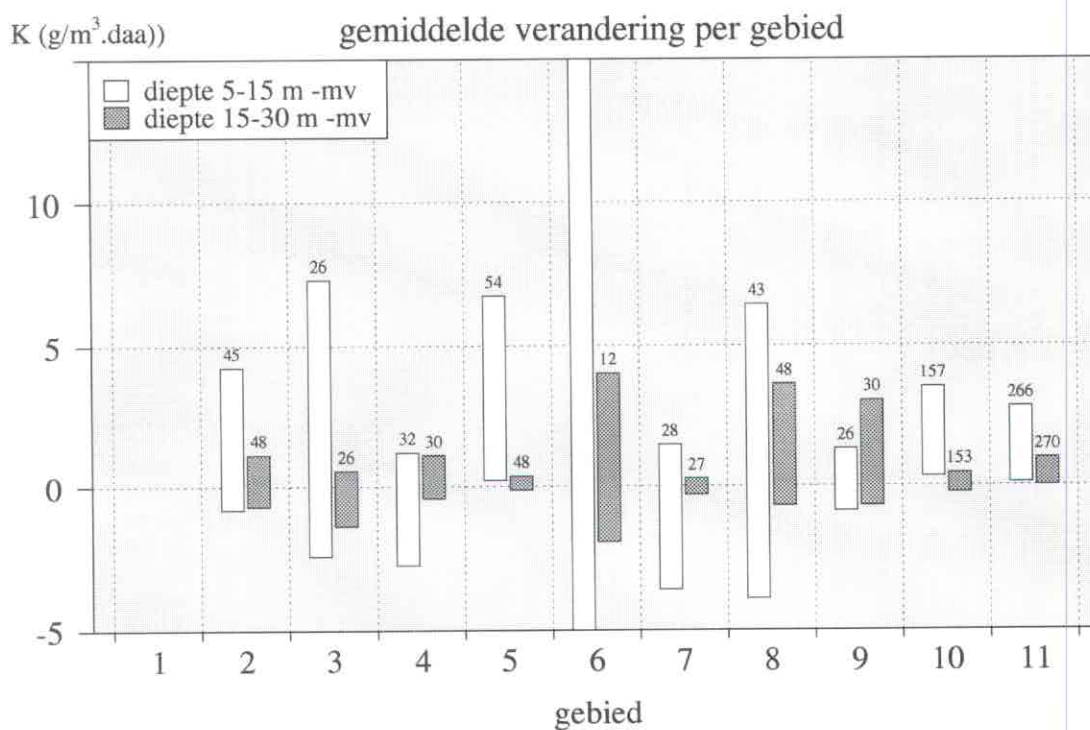
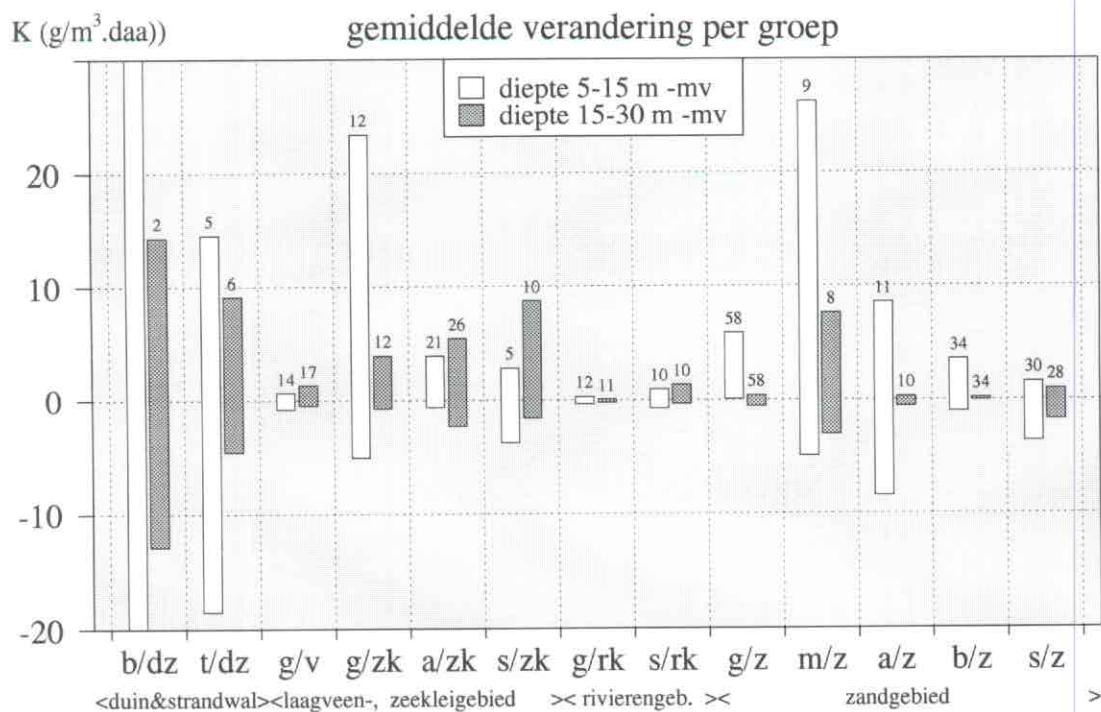
Figuur 37 Kalium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de drinkwaternorm ( $12 \text{ g/m}^3$ );

rapport 714801005, RIVM, 1995

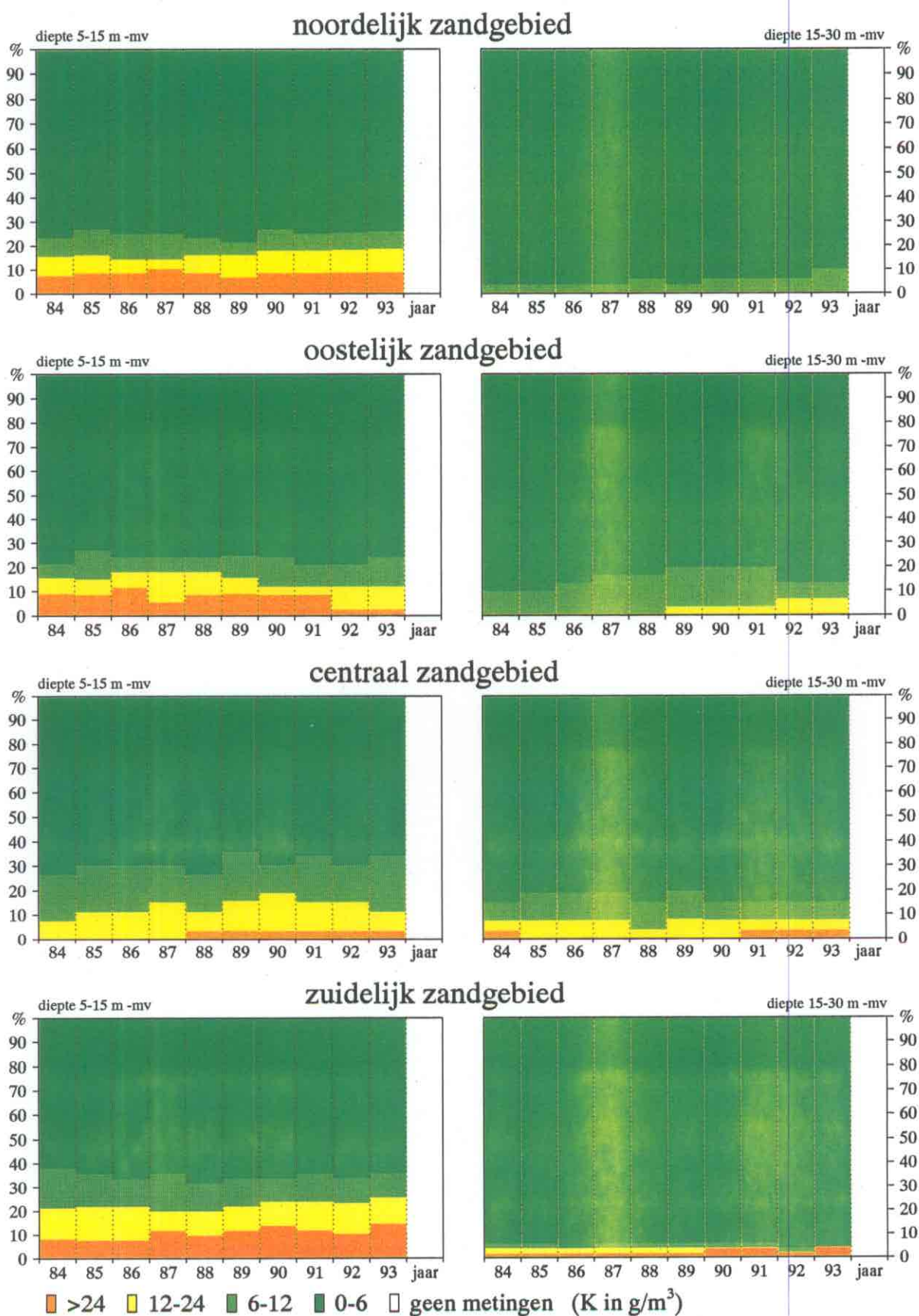
% oppervlakte



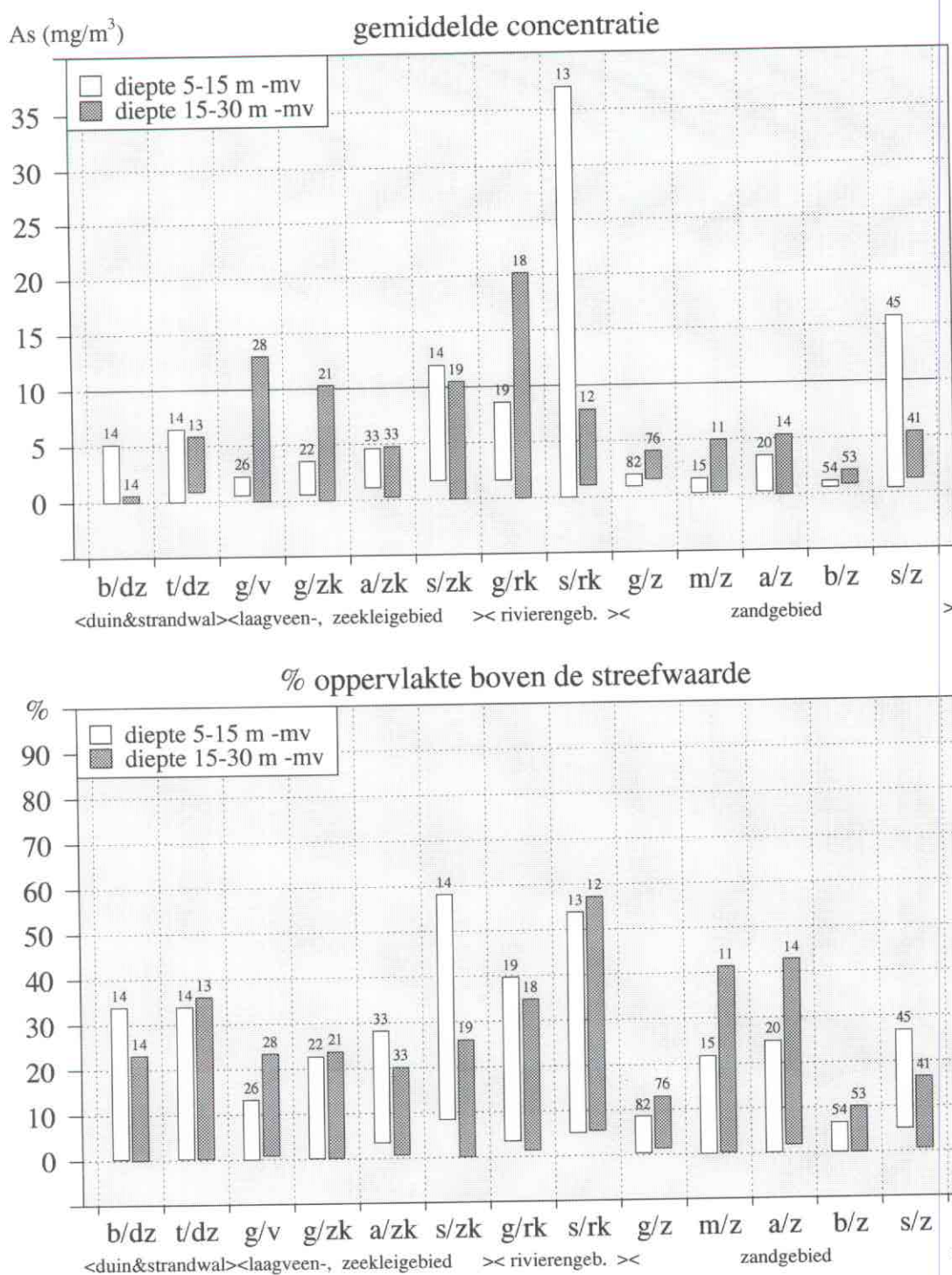




Figuur 38 Kalium in het grondwater in de periode 1984-1993; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde verandering van de concentratie per 10 jaar (deca jaar) Aangegeven zijn het aantal waarnemingen, de codes per grondgebruik/grondsoort en de nummers van gebieden b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd, dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand gebieden: 1=loss-, 2=zuid. zand-, 3=centr. zand-, 4=oost. zand-, 5=noord. zand-, 6=duinen&strandwallen-, 7=rivieren-, 8=zeeklei-, 9=laagveen-, 10=hele zandgebied, 11=heel Nederland



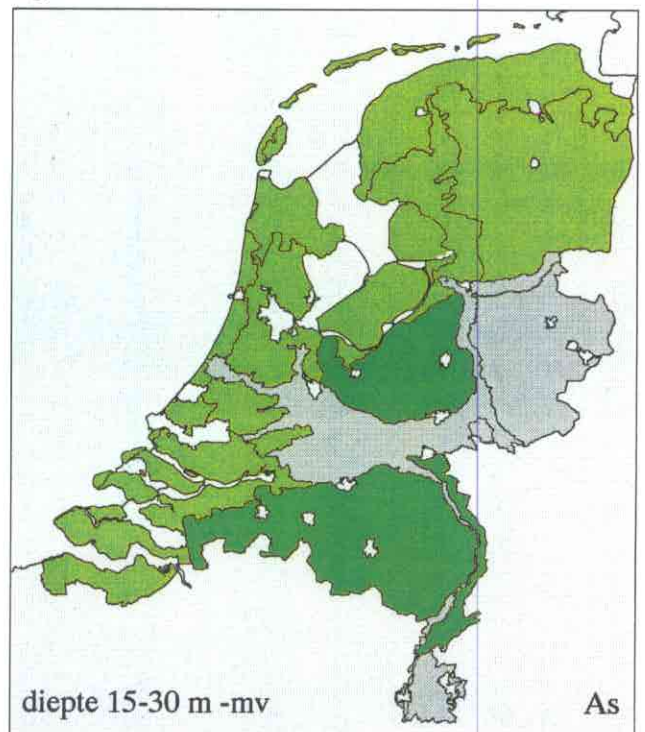
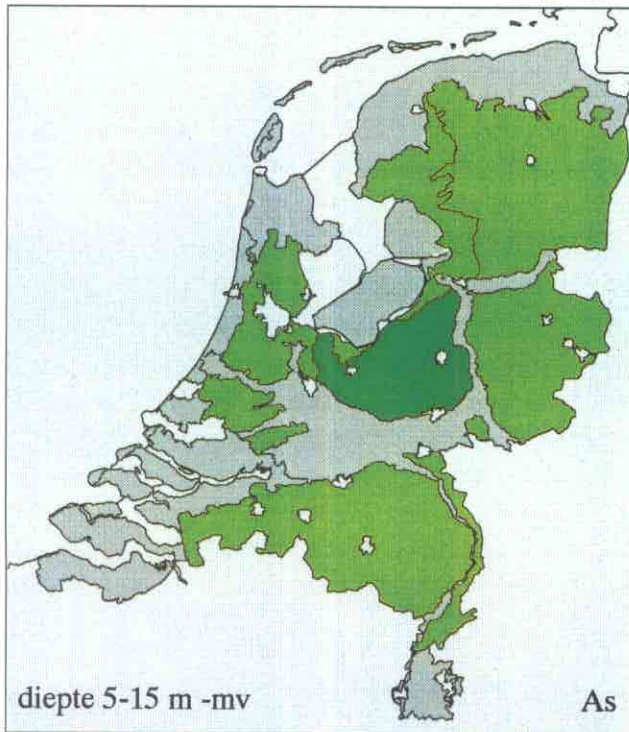
Figuur 39 Kalium in het grondwater in de periode 1984-1993;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



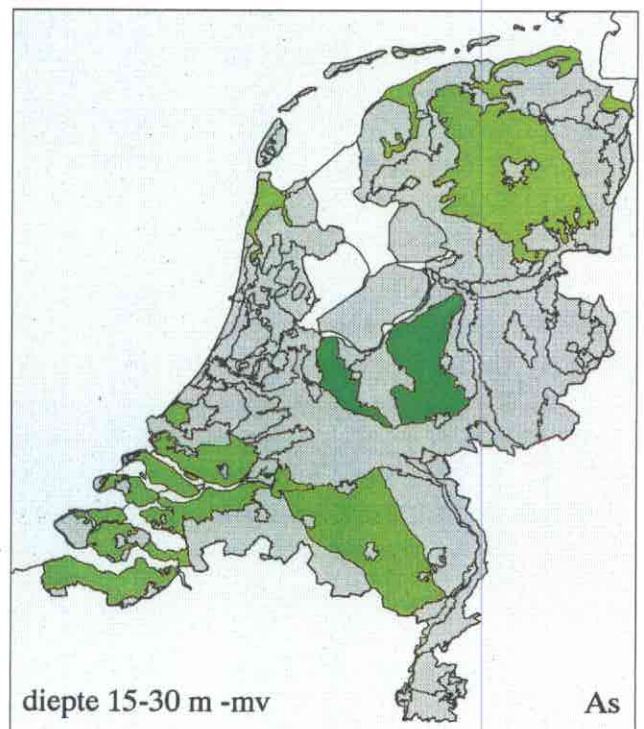
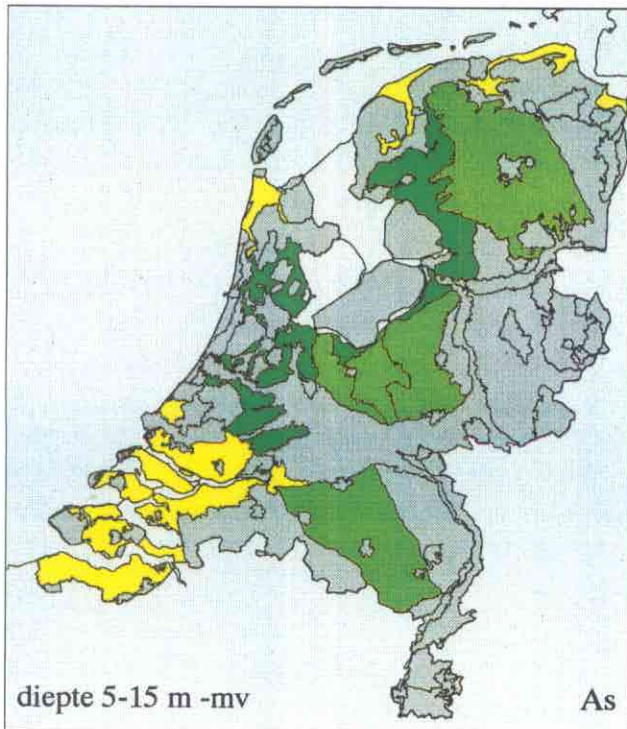
Figuur 40 Arseen in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ )

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



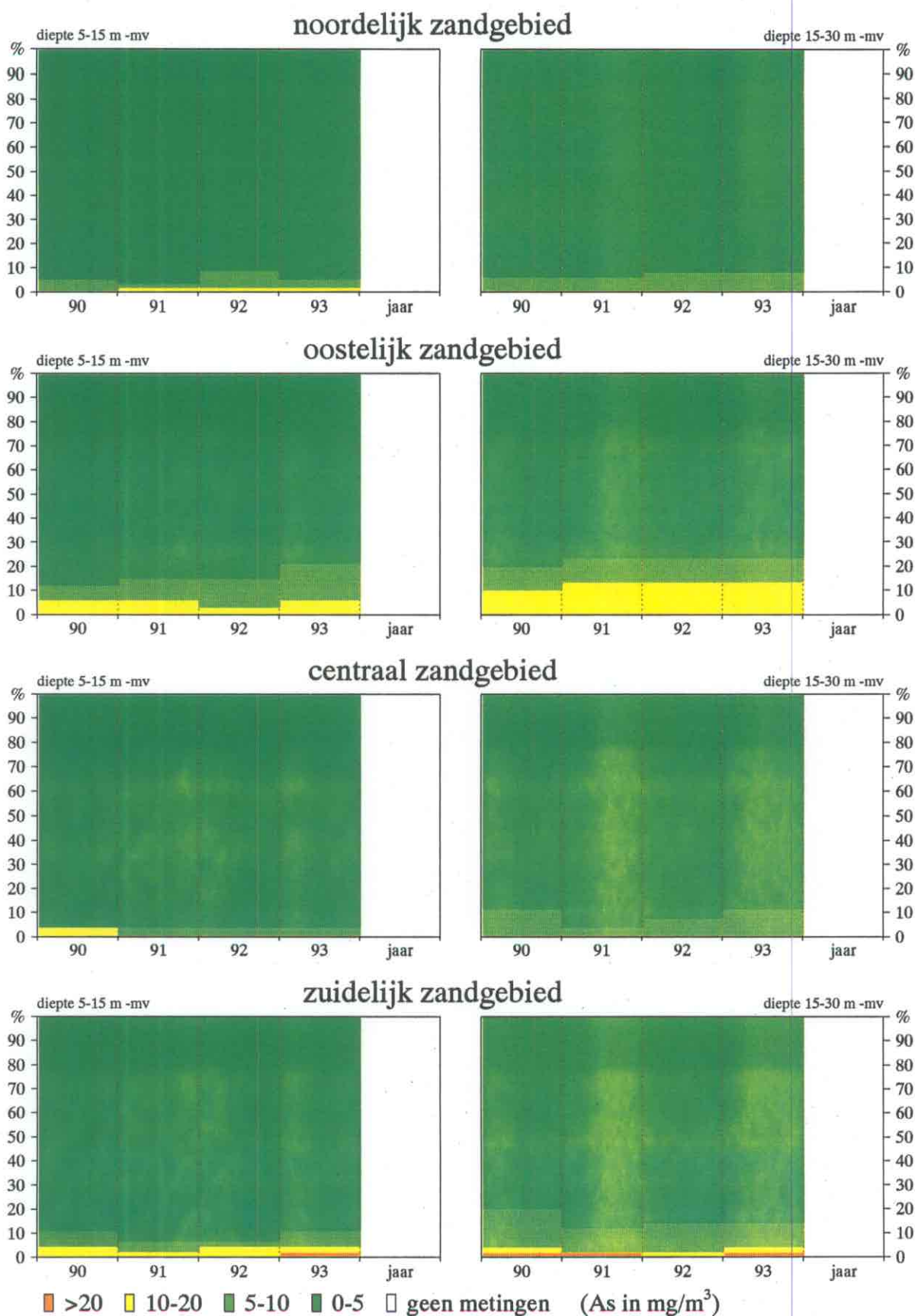
## eco-districten



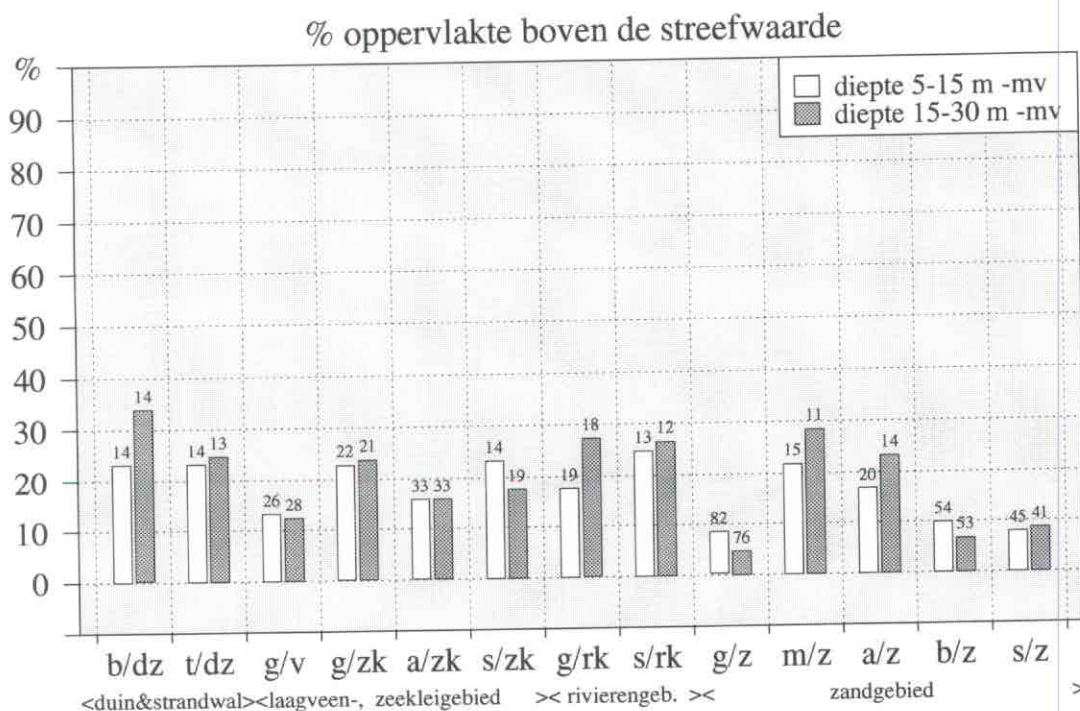
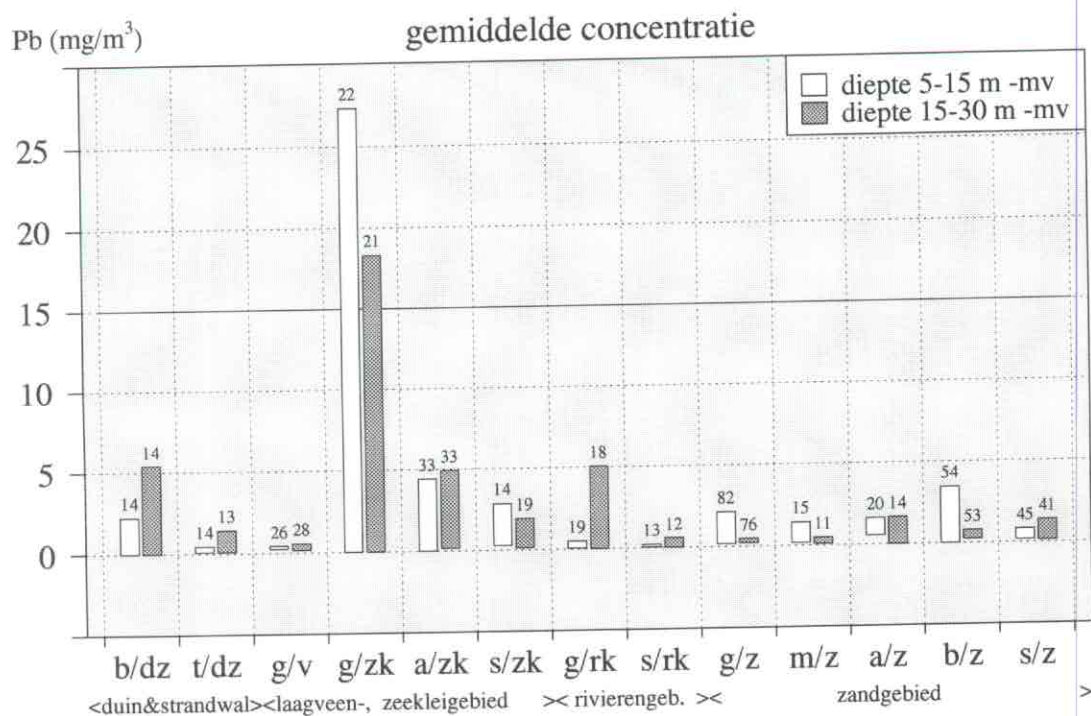
% oppervlakte



Figuur 41 Arseen in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $10 \text{ mg/m}^3$ );



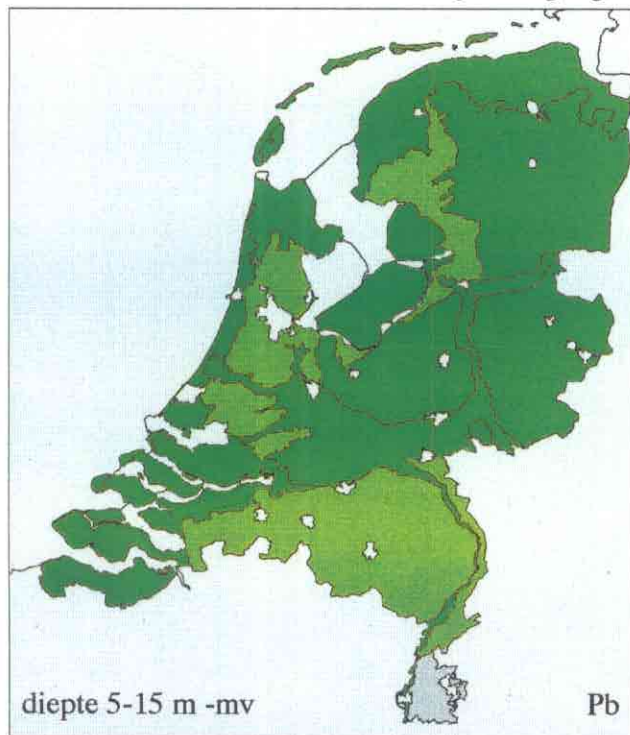
Figuur 42 Arseen in het grondwater in de periode 1990-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



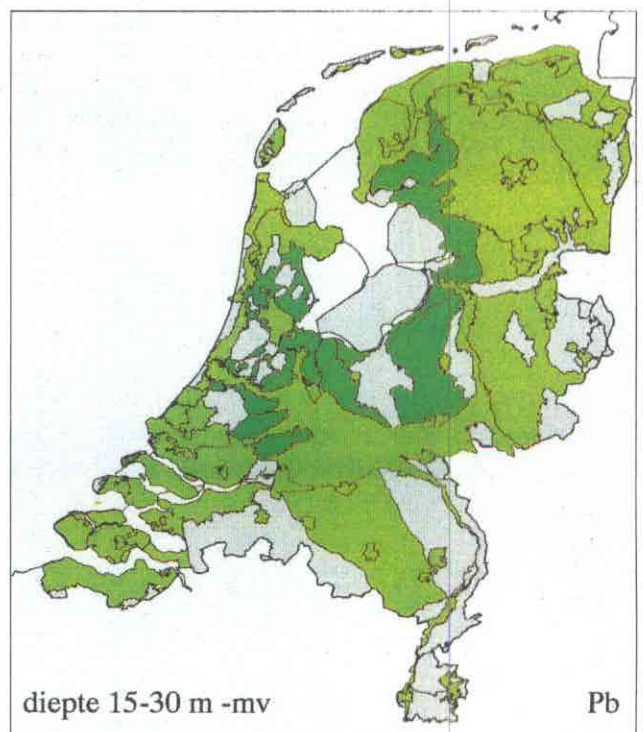
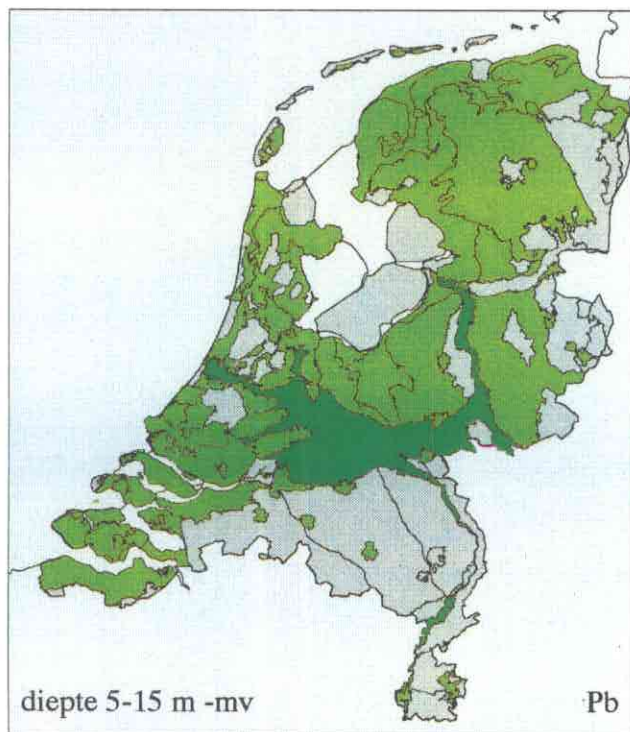
Figuur 43 Lood in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (15 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

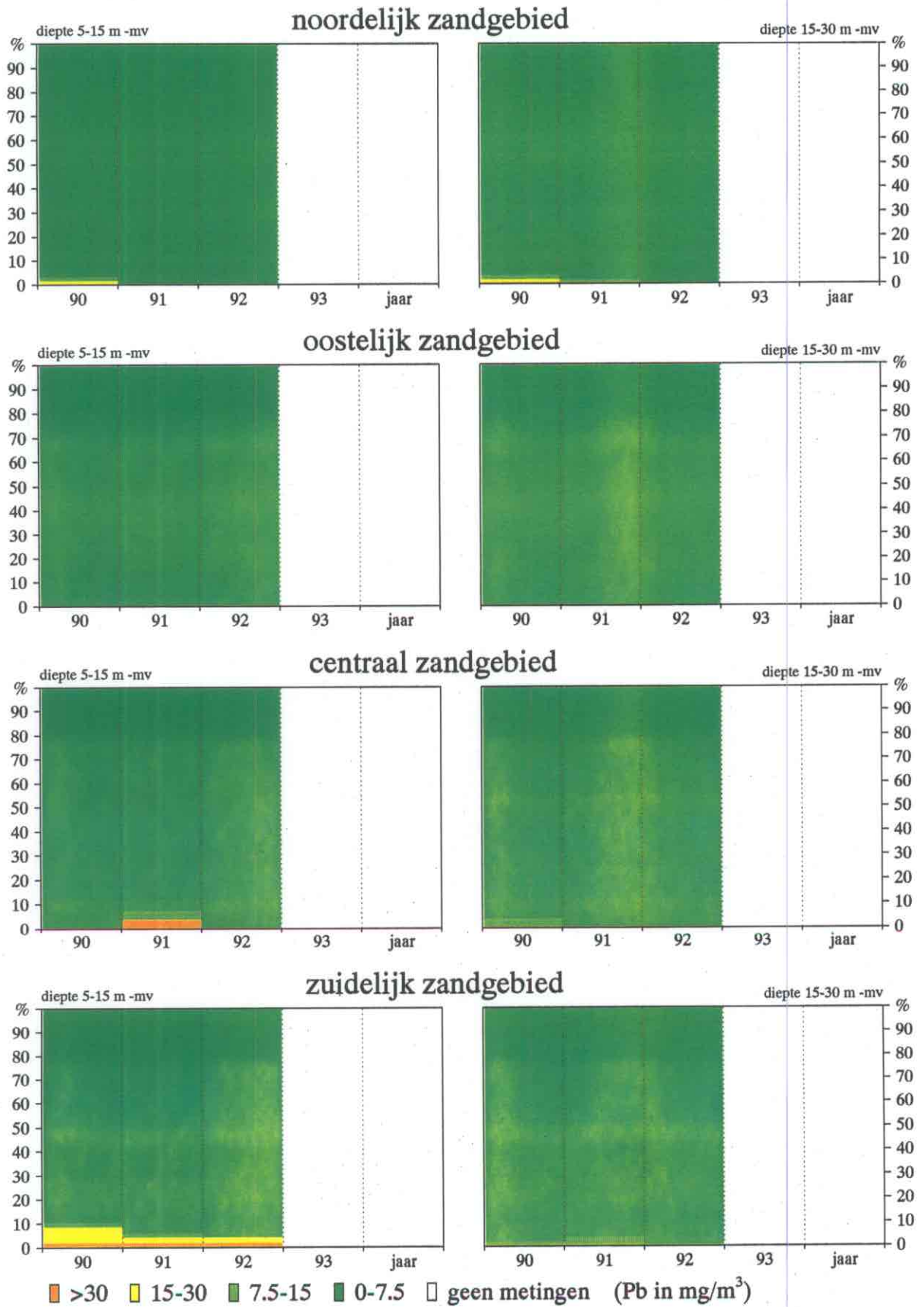


Figuur 44 Lood in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ );

rapport 714801005, RIVM, 1995

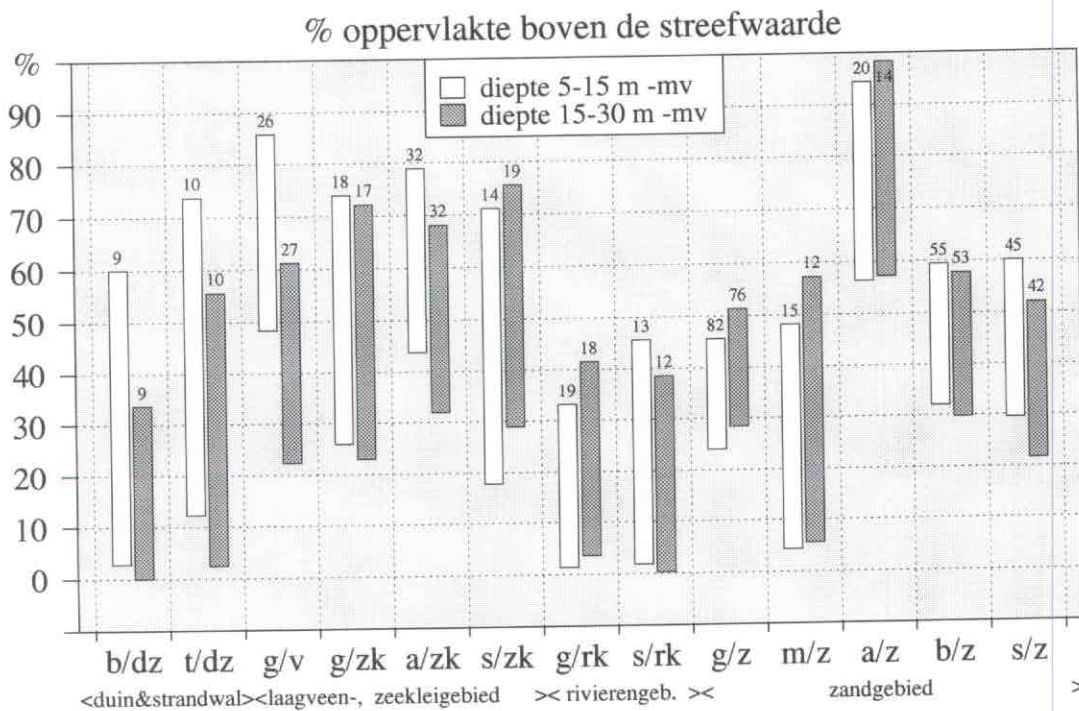
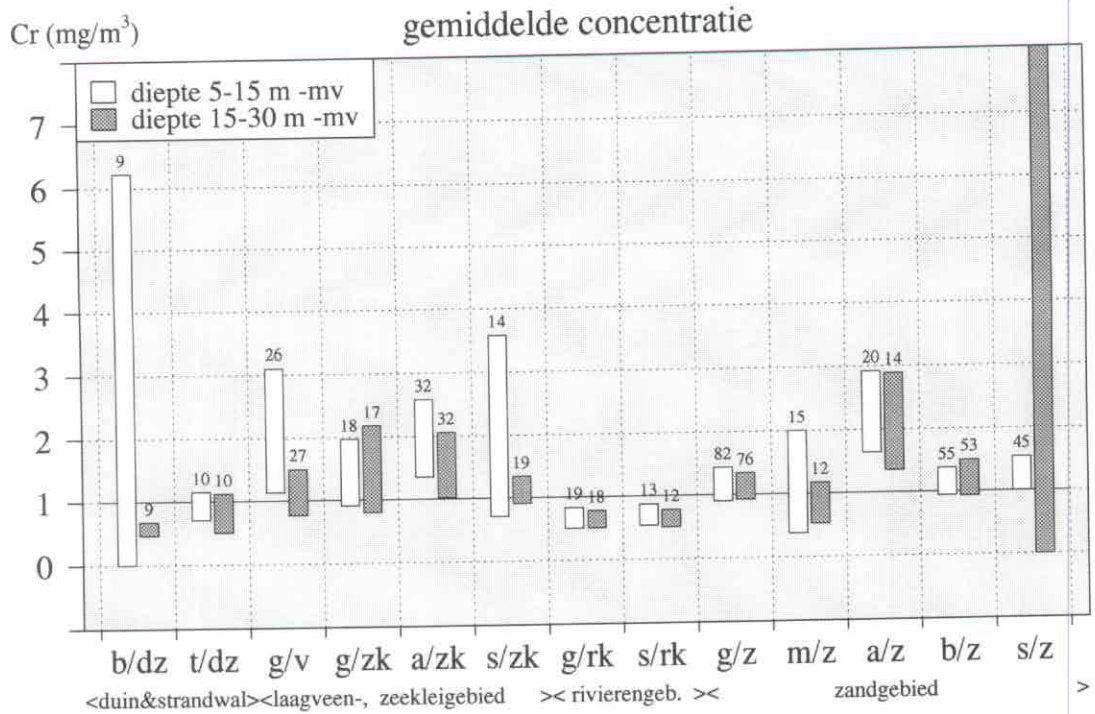
% oppervlakte





Figuur 45 Lood in het grondwater in de periode 1990-1992;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

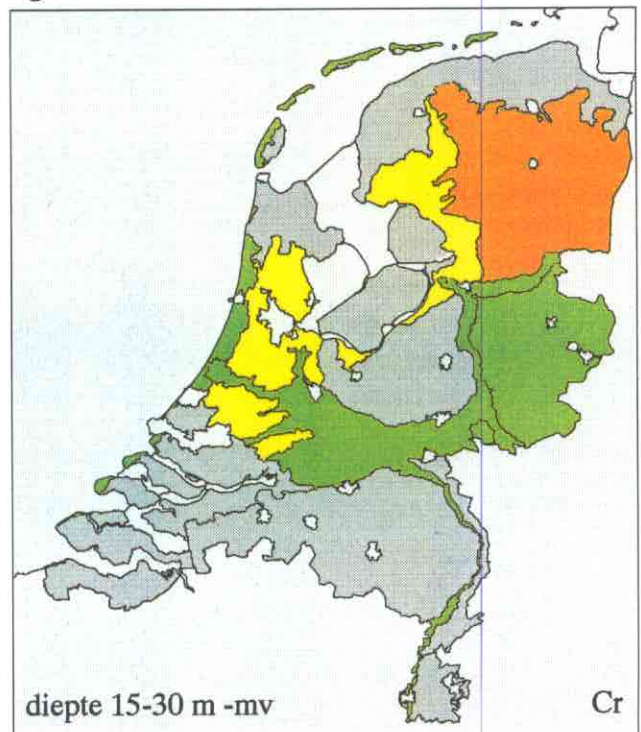




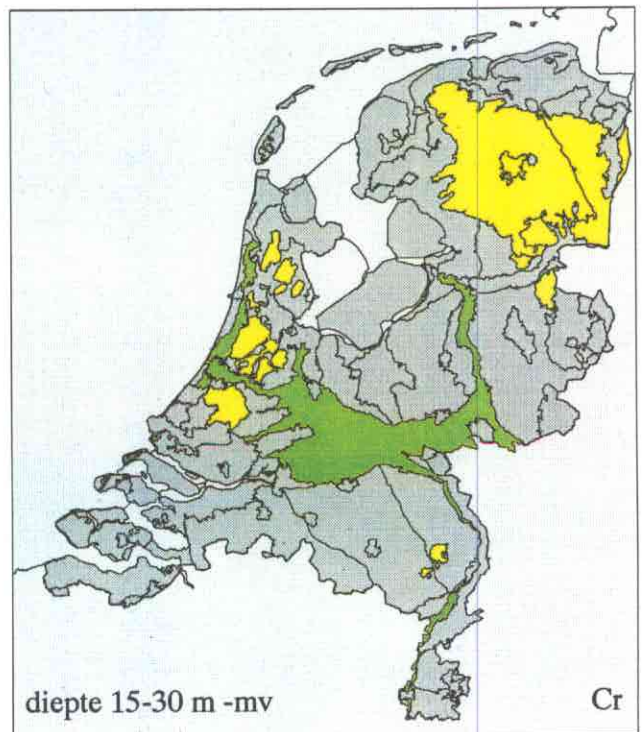
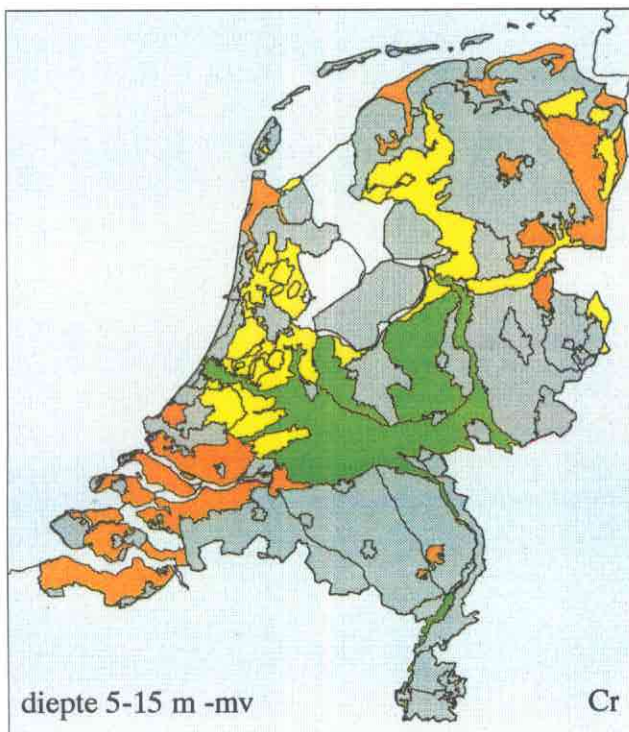
Figuur 46 Chroom in het grondwater in het jaar 1991 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (1 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

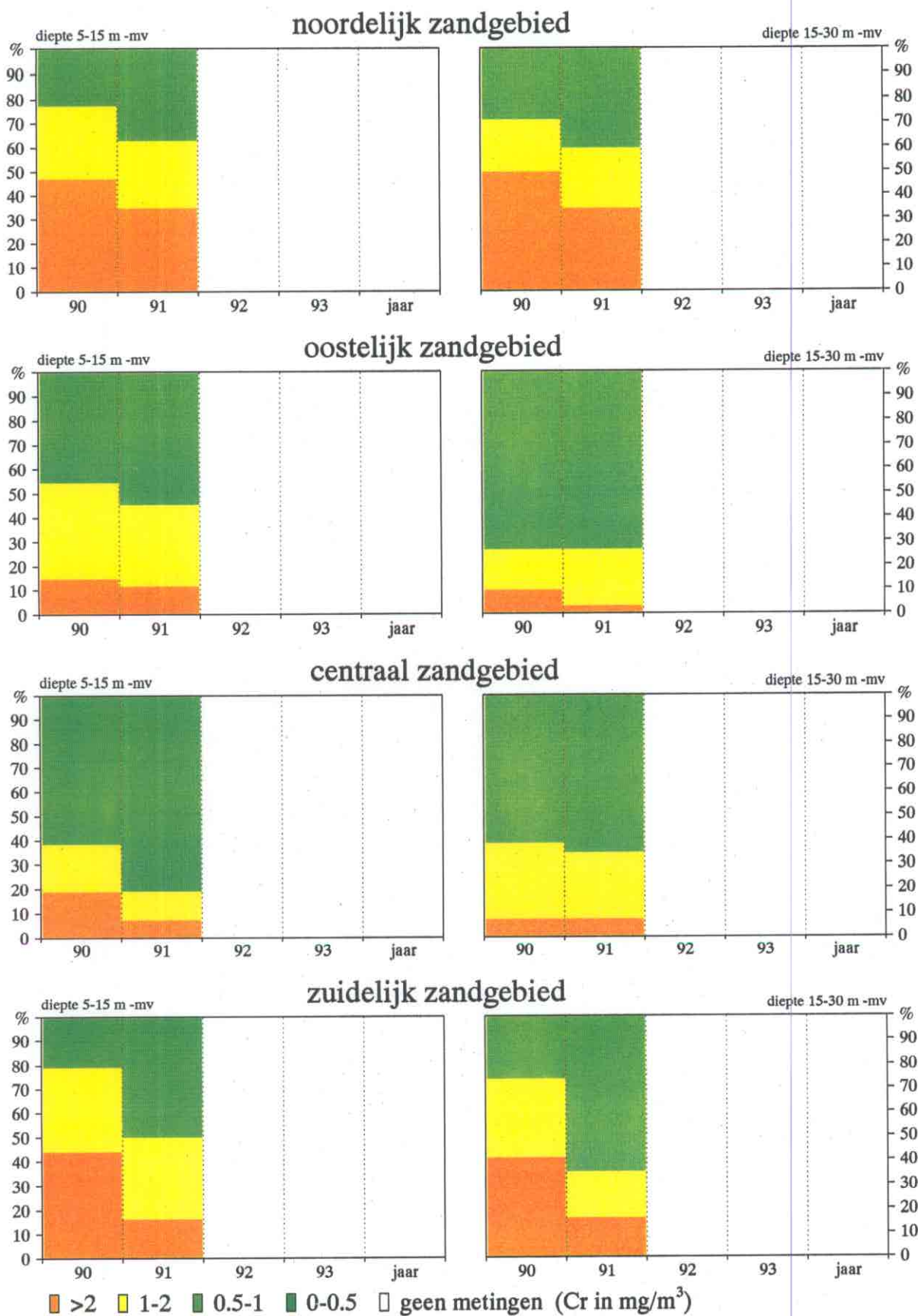


Figuur 47 Chromium in het grondwater in het jaar 1991 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte met een concentratie hoger dan  $2 \text{ mg/m}^3$ ;

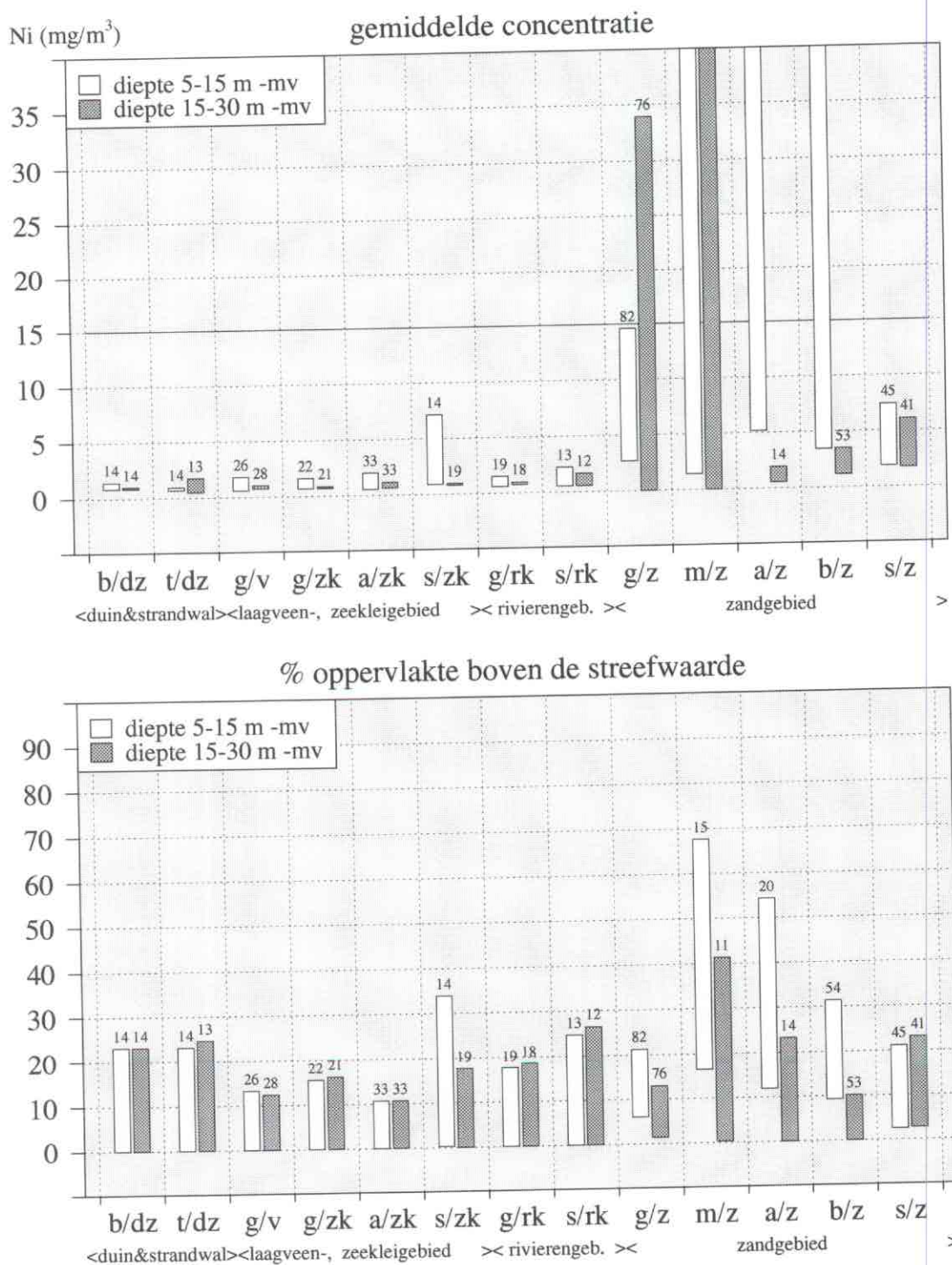
rapport 714801005, RIVM, 1995

% oppervlakte





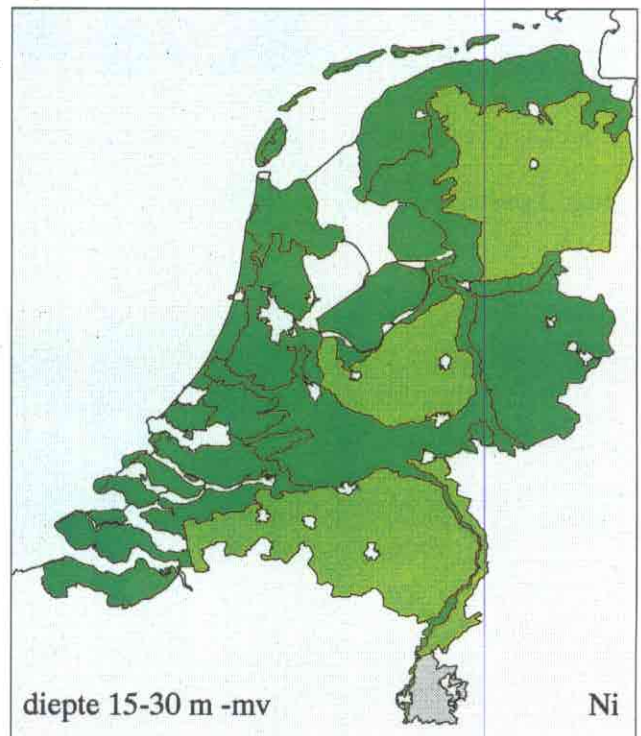
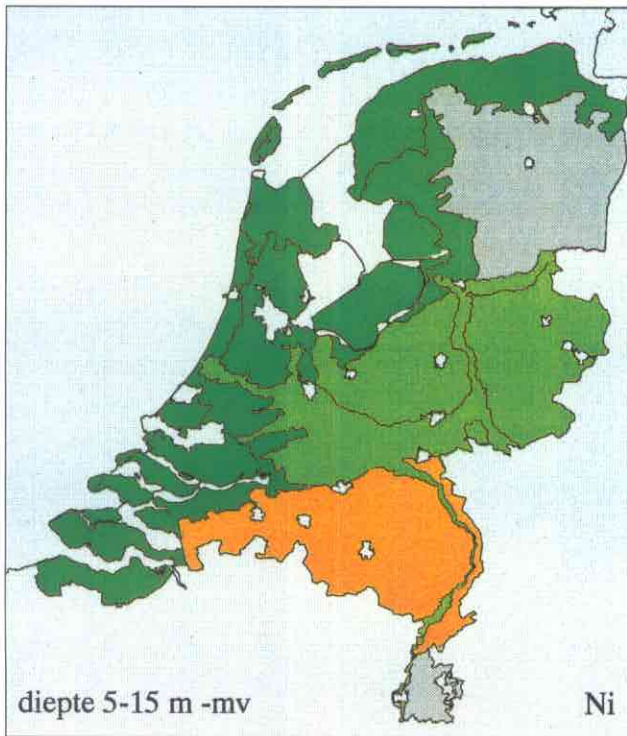
Figuur 48 Chromium in het grondwater in de periode 1990-1991;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



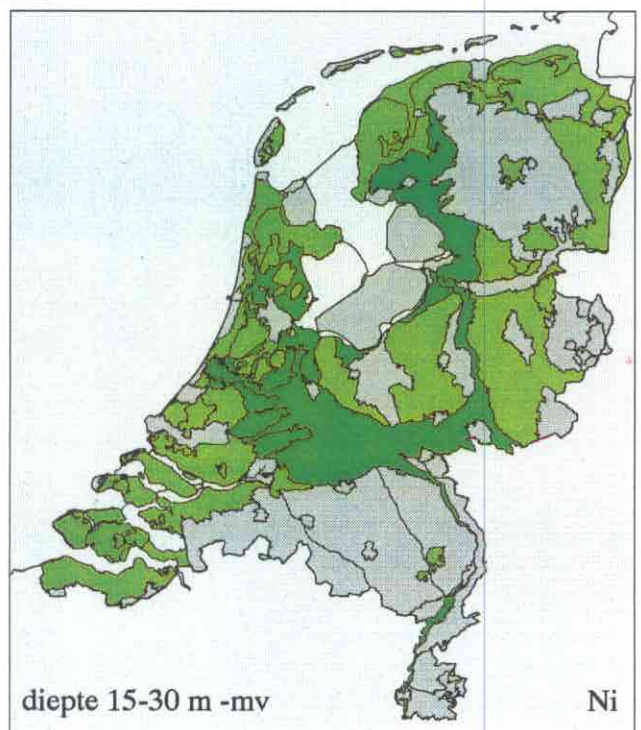
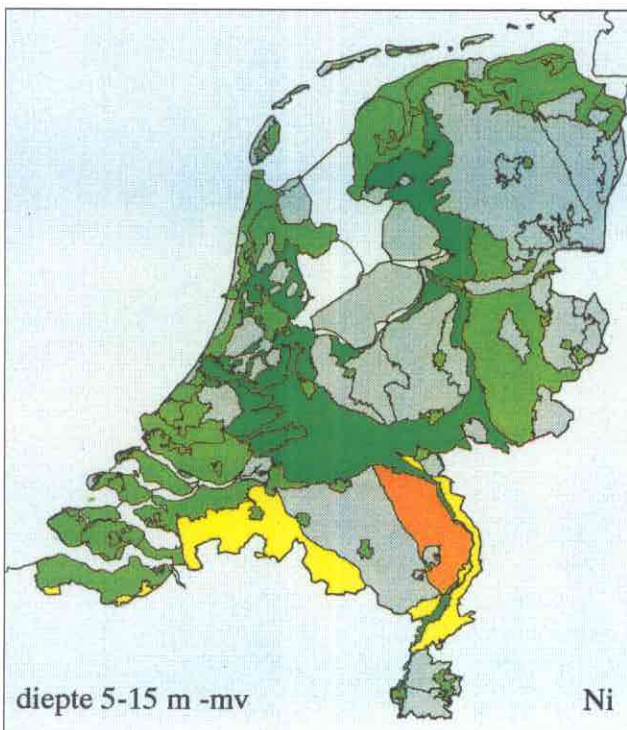
Figuur 49 Nikkel in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (15 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

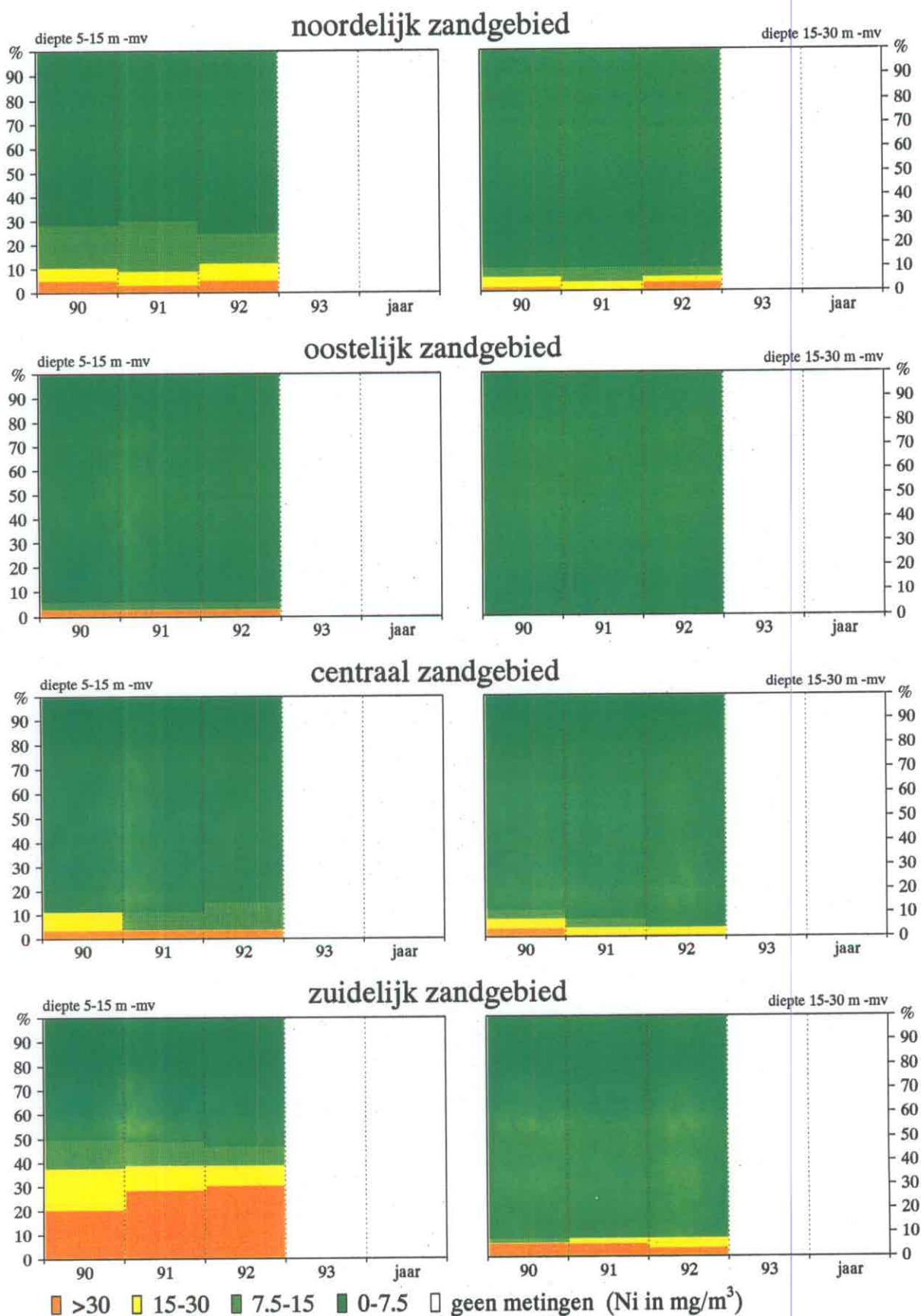


Figuur 50 Nikkel in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ );

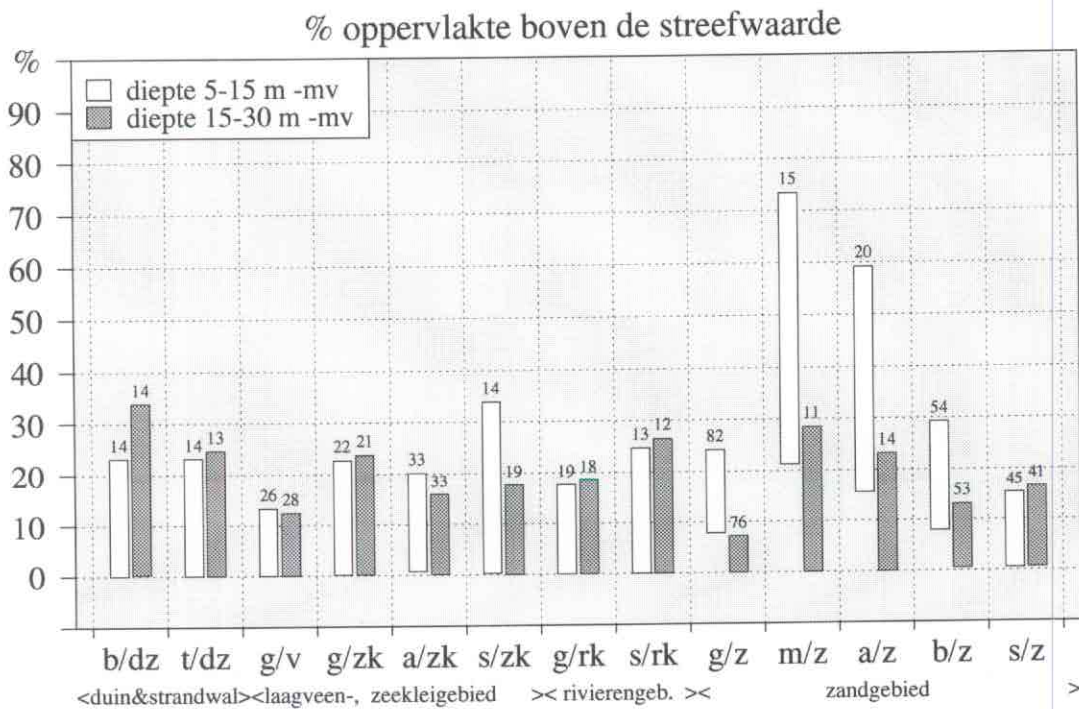
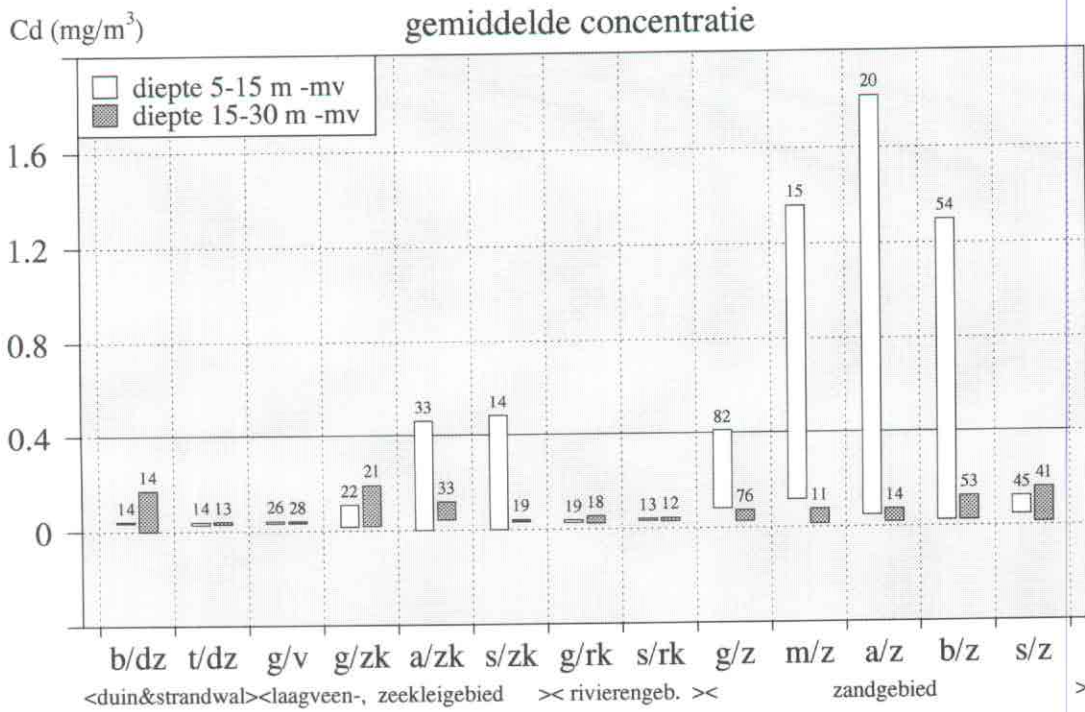
rapport 714801005, RIVM, 1995

% oppervlakte





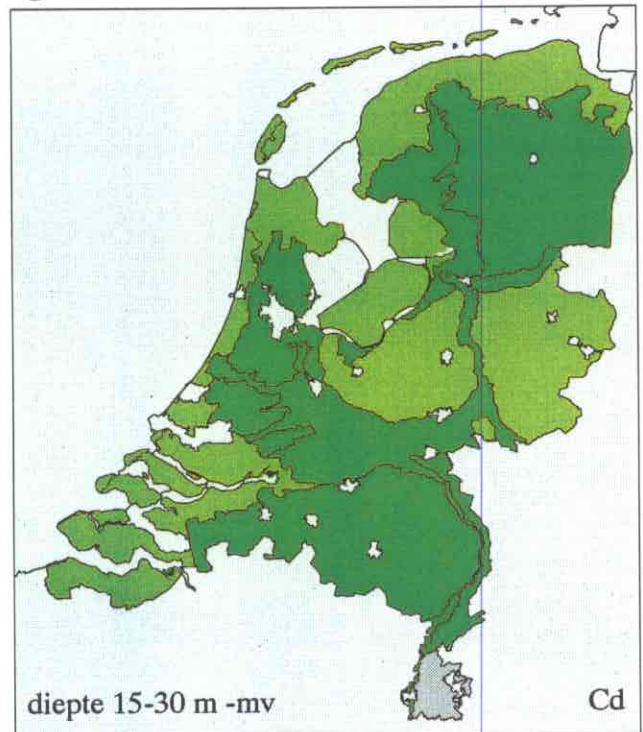
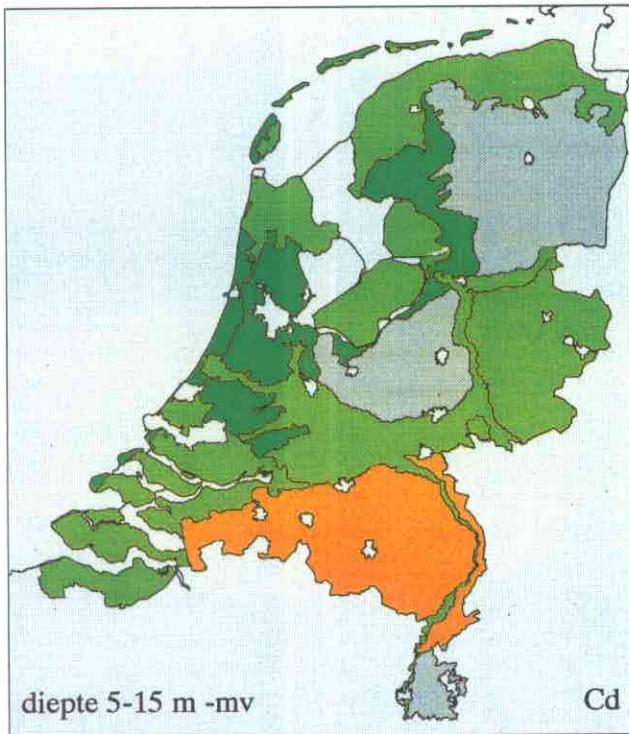
Figuur 51 Nikkel in het grondwater in de periode 1990-1992;  
 procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



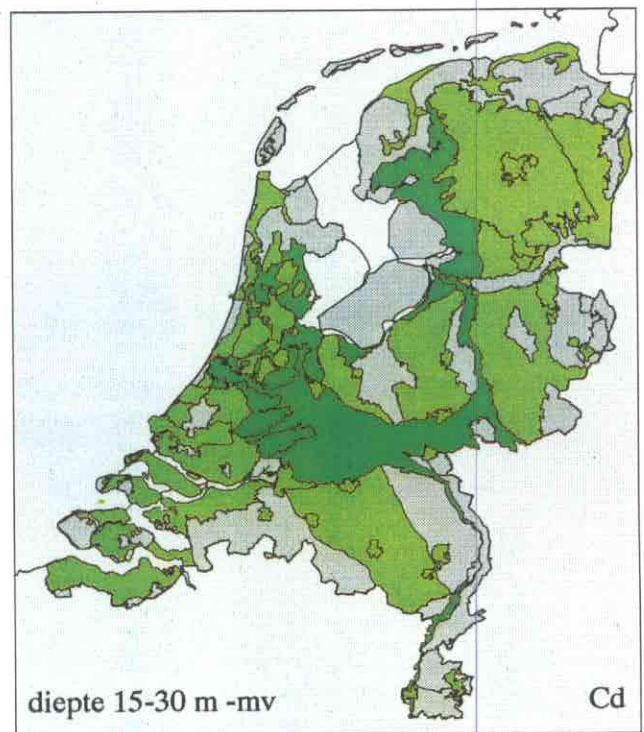
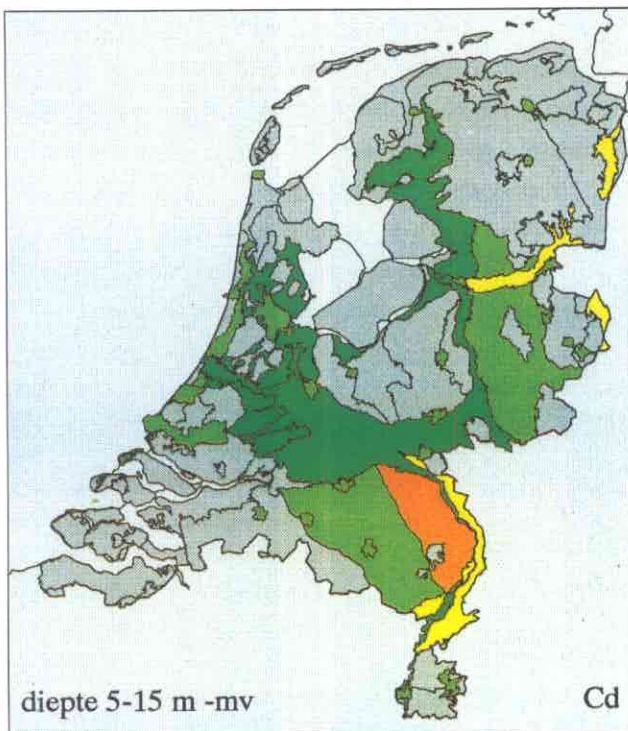
Figuur 52 Cadmium in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (0,4 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort  
 b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd  
 dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



## eco-districten

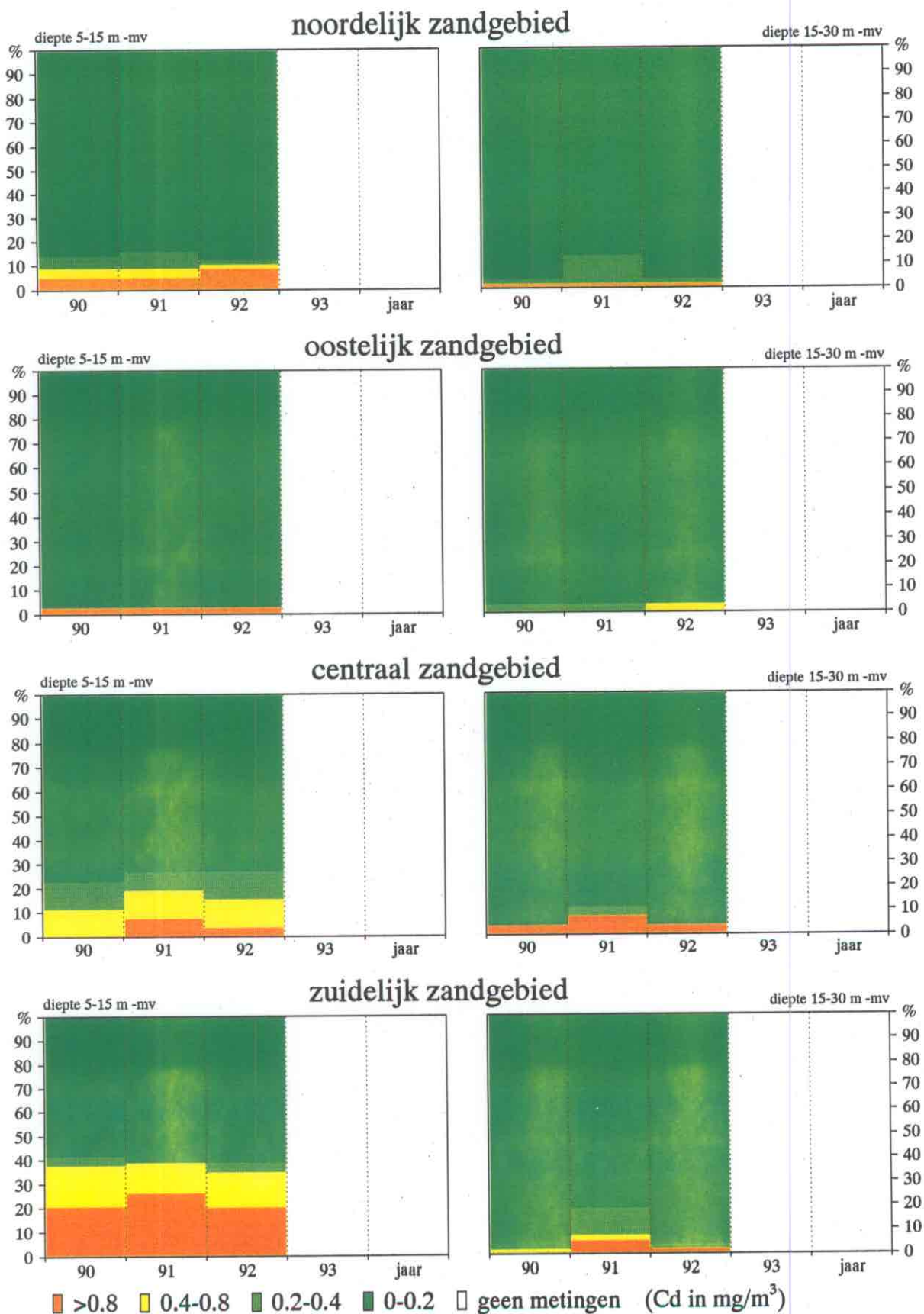


% oppervlakte

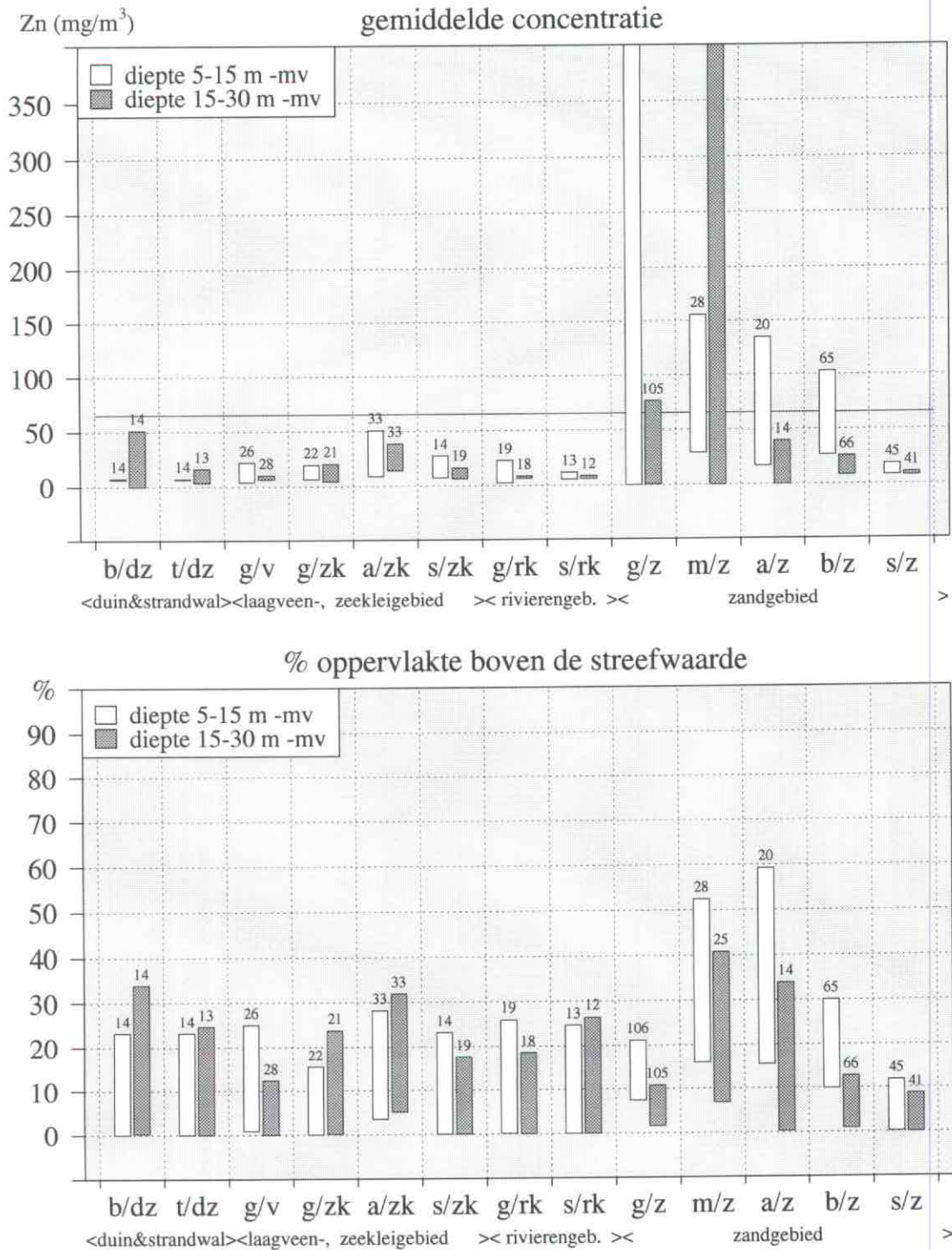


Figuur 53 Cadmium in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $0,4 \text{ mg/m}^3$ );





Figuur 54 Cadmium in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



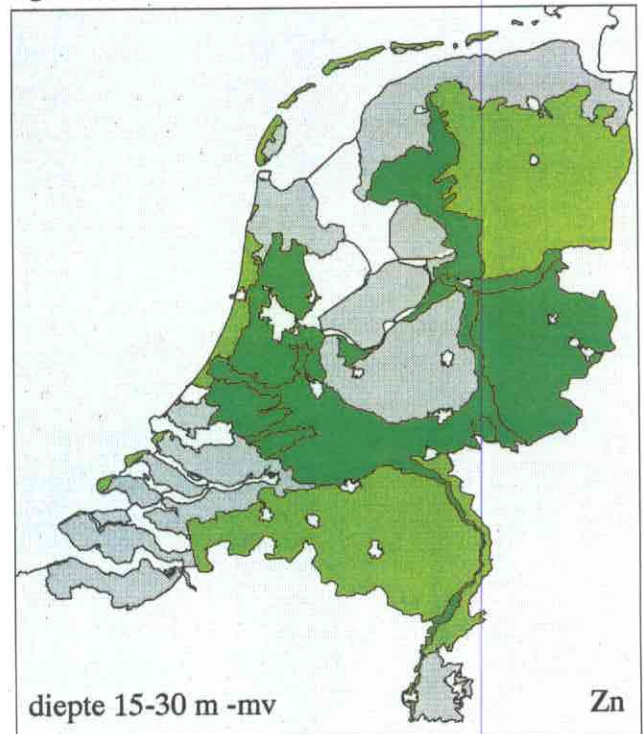
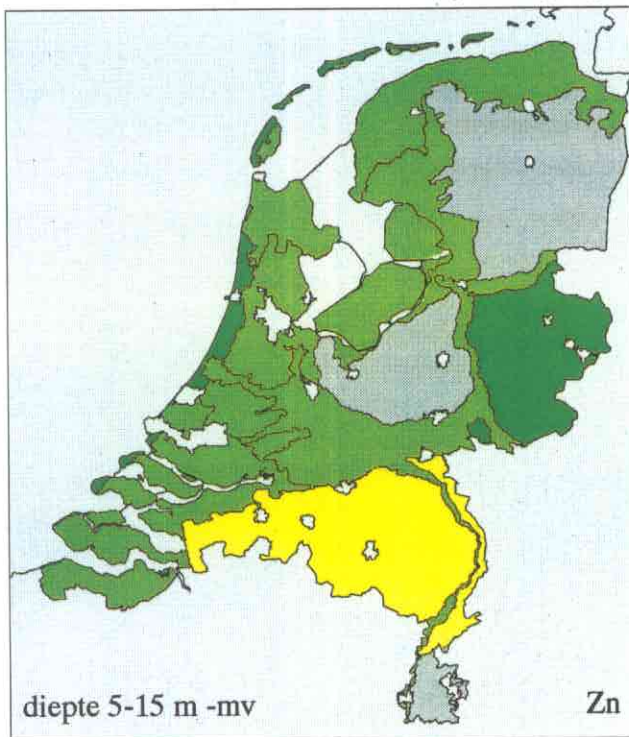
Figuur 55 Zink in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (65 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn de streefwaarde, het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort

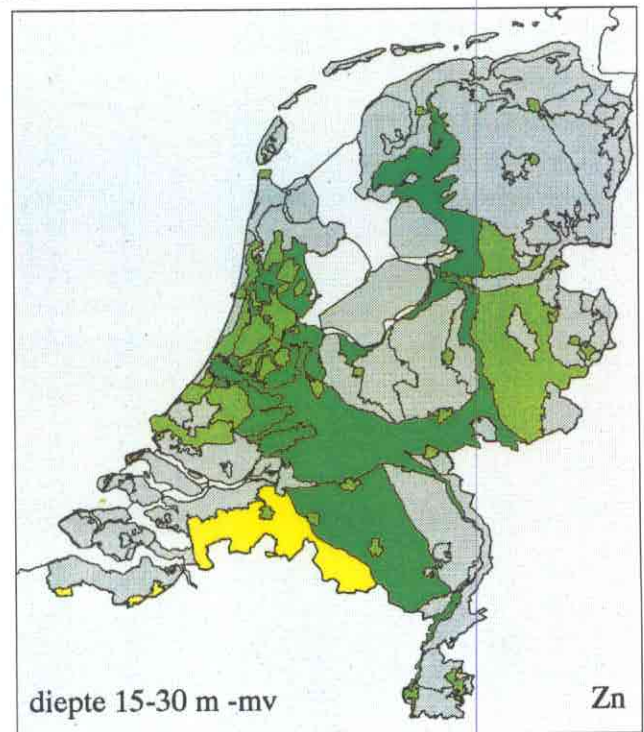
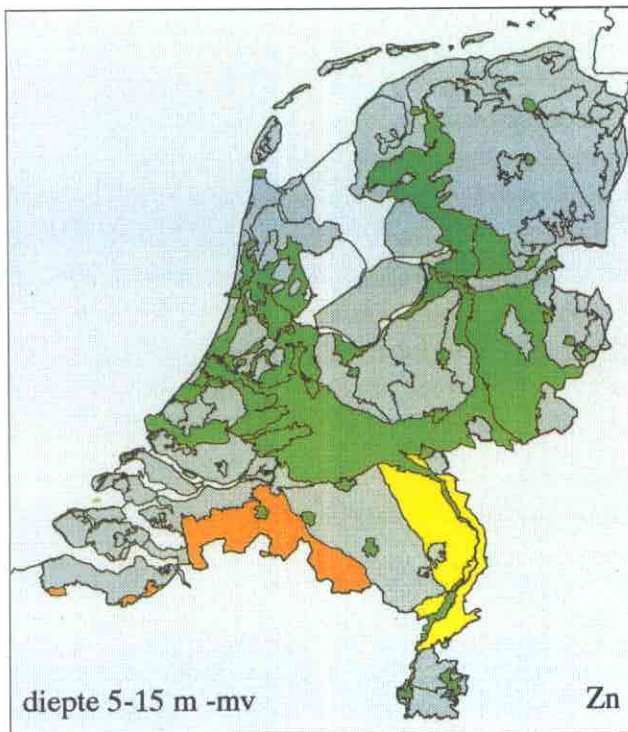
b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd

dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



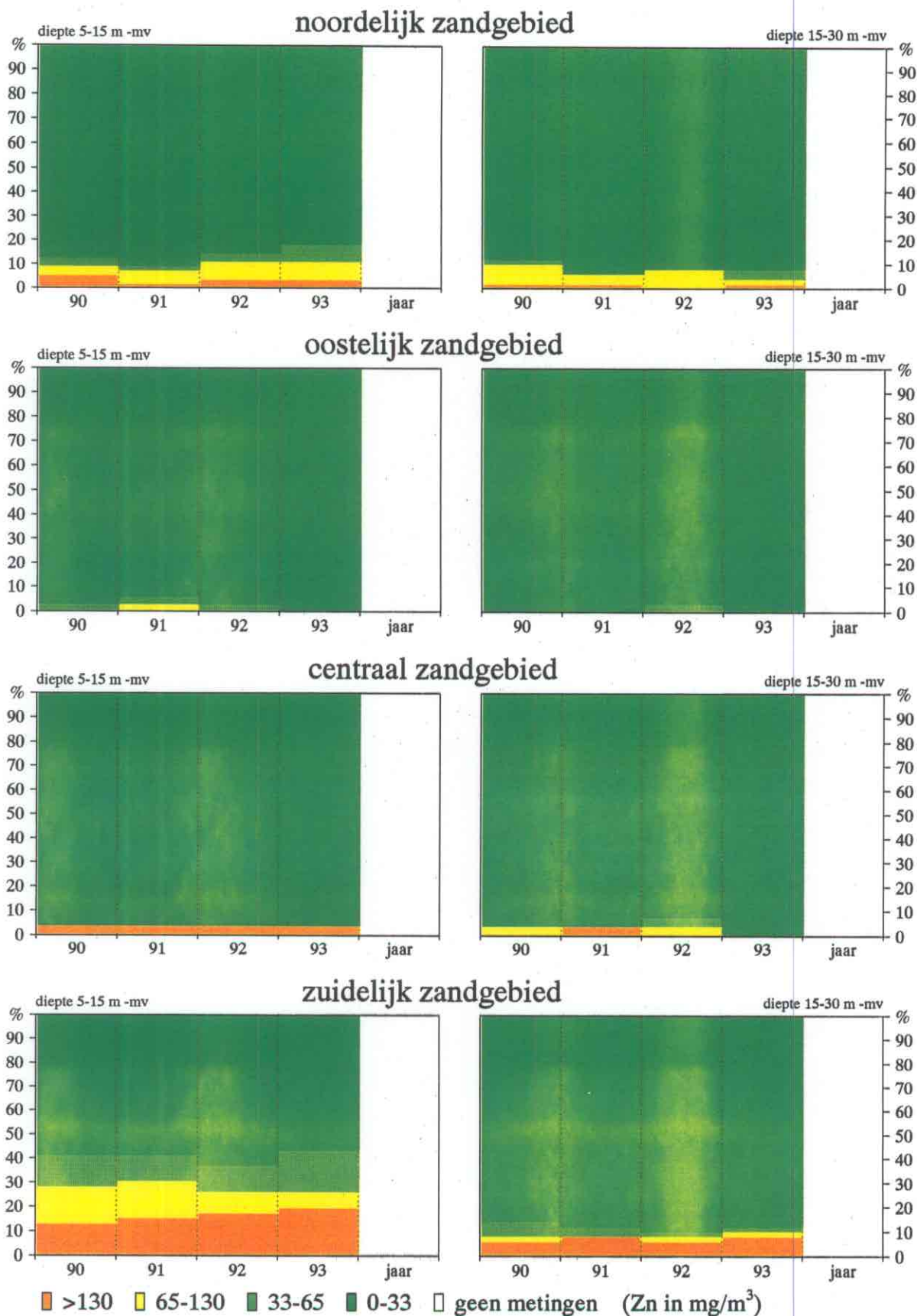
## eco-districten



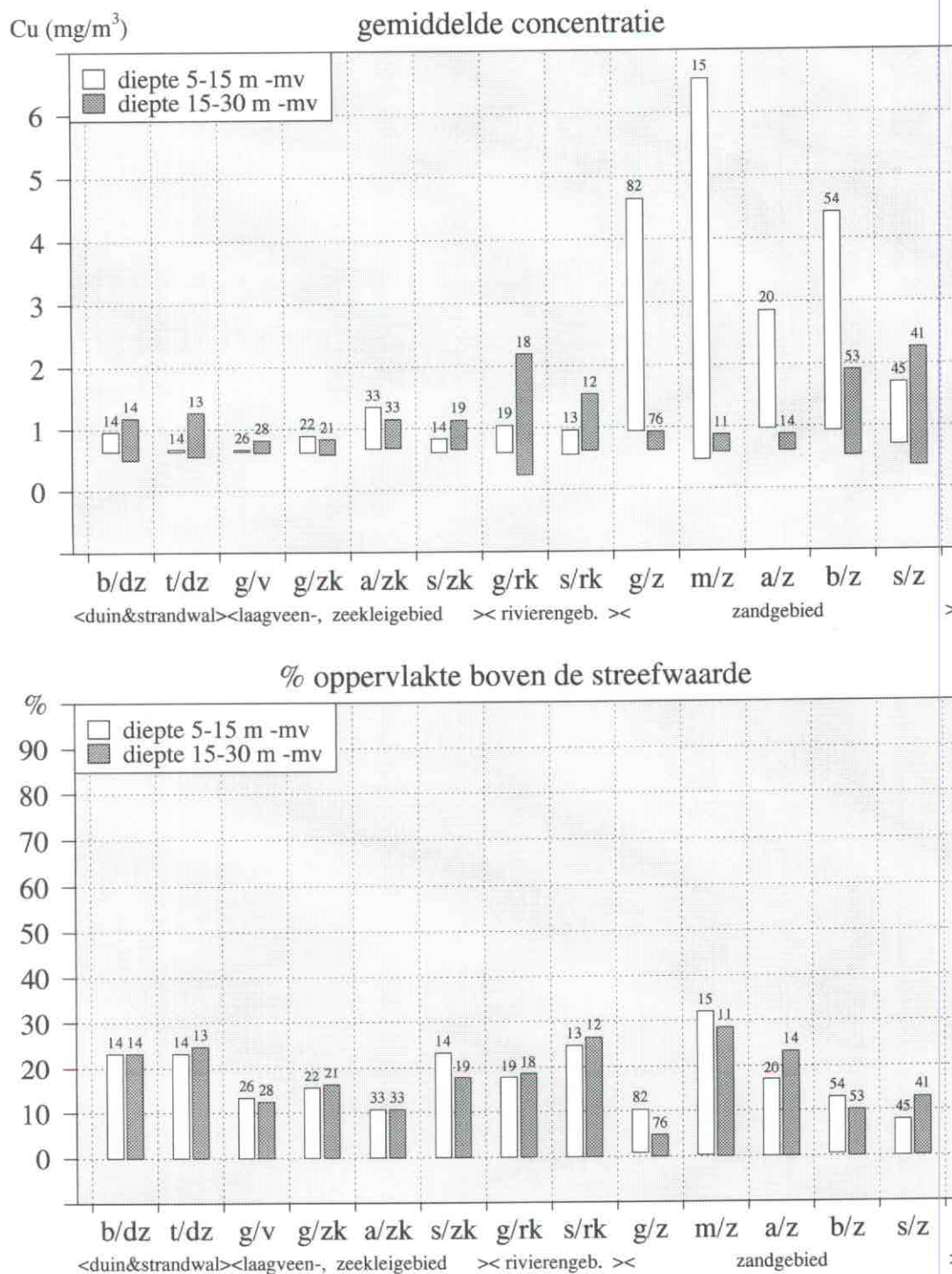
% oppervlakte



Figuur 56 Zink in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $65 \text{ mg/m}^3$ );



Figuur 57 Zink in het grondwater in de periode 1990-1993; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject



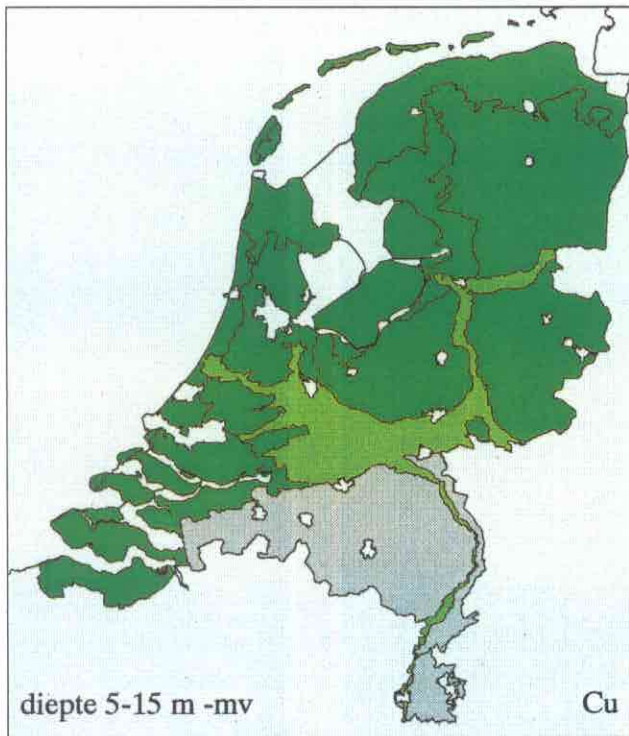
Figuur 58 Koper in het grondwater in het jaar 1992 per grondgebruik/grondsoort; 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor de gemiddelde concentratie en het percentage oppervlakte boven de streefwaarde (15 mg/m<sup>3</sup>)

Aangegeven zijn het aantal waarnemingen en de codes per grondgebruik/grondsoort

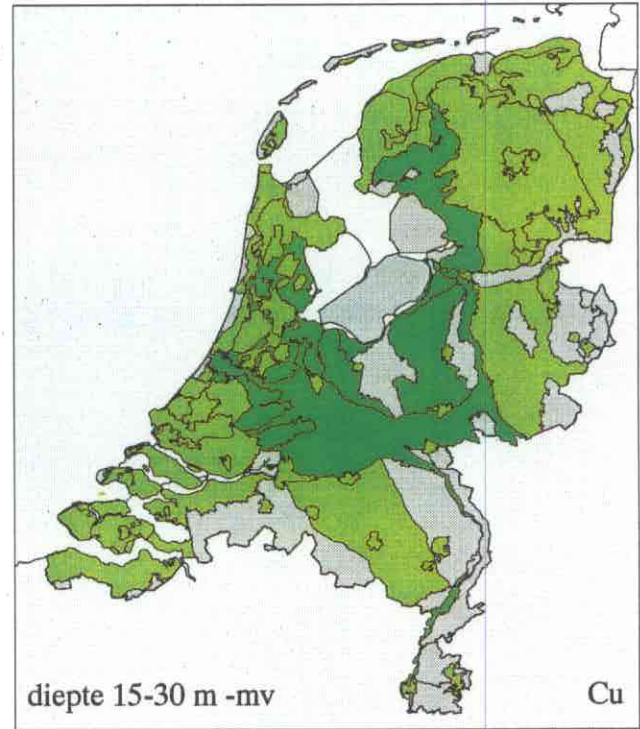
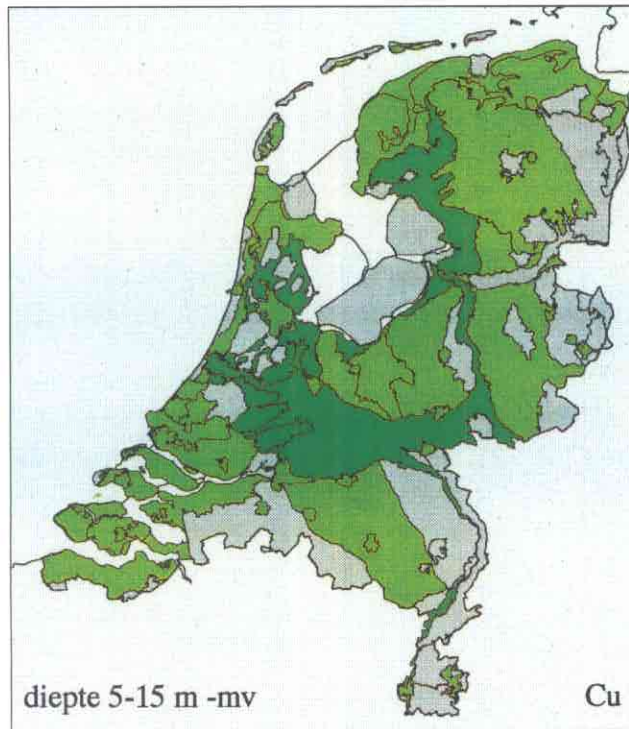
b=bos&natuur, t=tuinbouw, a=akkerbouw, g=gras, m=mais, s=bebouwd

dz=duinzand, v=laagveen, zk=zeeklei, rk=rivierklei, z=zand

## fysisch-geografische gebieden



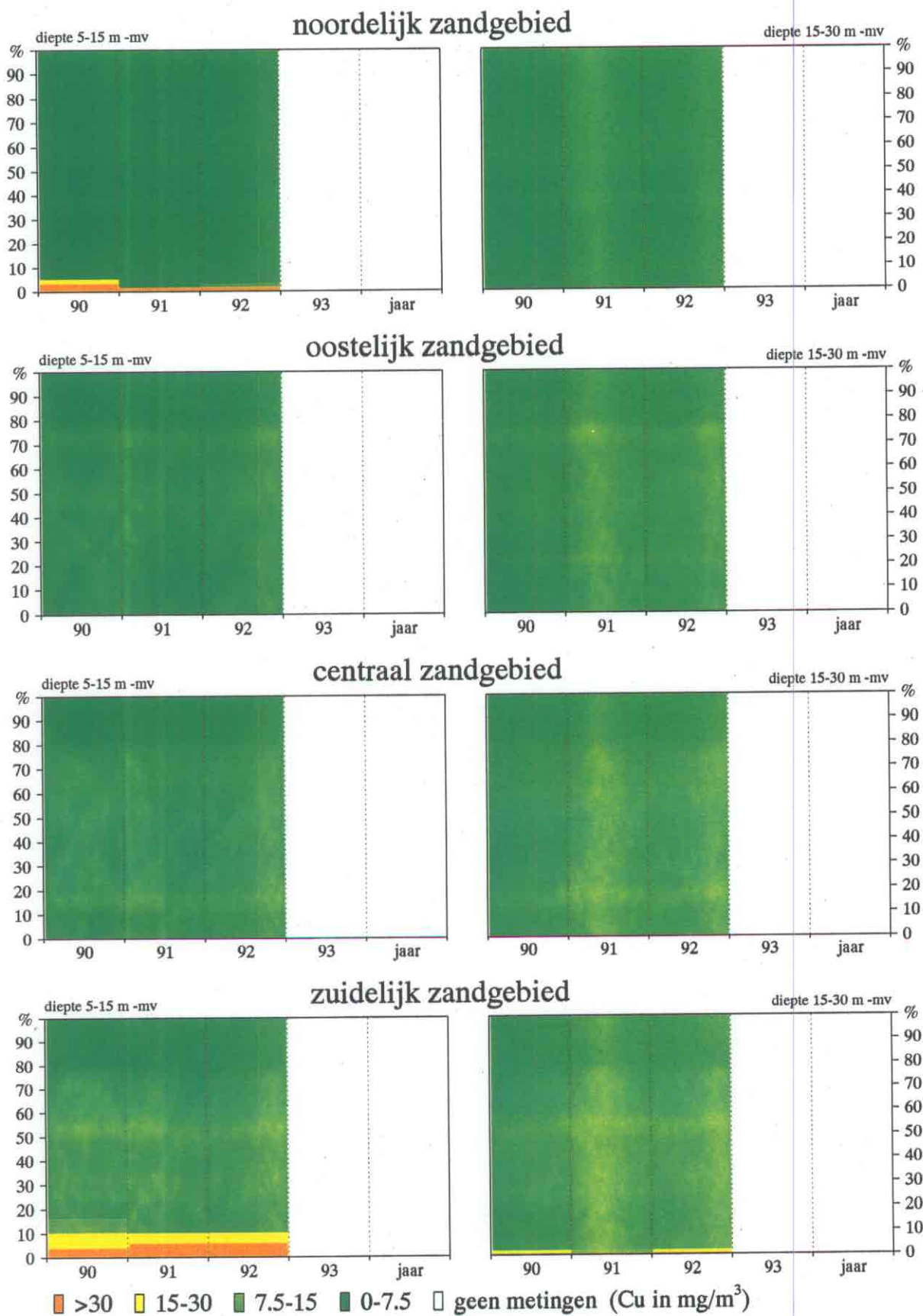
## eco-districten



% oppervlakte



Figuur 59 Koper in het grondwater in het jaar 1992 per fysisch-geografisch gebied (excl. steden) en per eco-district (incl. steden); 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het percentage oppervlakte boven de streefwaarde ( $15 \text{ mg/m}^3$ );



Figuur 60 Koper in het grondwater in de periode 1990-1992; procentuele verdeling van de waarnemingen per jaar, zandgebied en dieptetraject

Bijlage 2 Verandering van de grondwaterkwaliteit  
gebruikte rekenprogramma en berekeningsresultaten



## Gebruikte rekenprogramma

```

# LMGTREND (c) G. van Drecht, 1993, veranderd in 1995
# berekening veranderingen in grondwaterkwaliteit LMG-meetnet,
# awk -f lmgtrend stof=nr start(pj)=1986 eind(pj)=1991 lmgeo > uitvoerfile
# lmgeo = meetnetbestand aangevuld met enkele geografische attributen
# nr = kolomnummer van de te onderzoeken component
# start-eind = te selecteren periode op basis van planjaren (pj)
# niet beschouwd worden:
# meetpunten met oeverinfiltratie (Oe), havenslib (Ha), irrelevant (Irr) ;
# meetpunten met minder dan nmin (def:3) waarnemingen;
# waarnemingen voor het startjaar of na het eindjaar (planjaren).
# de waarnemingen in een reeks worden gescanned op onderste analysegrens (oag),
# nadat de hoogste waarde van de onderste analysegrens in een reeks is vastgesteld,
# worden alle waarnemingen aan de onderkant begrensd met deze hoogste waarde
# hiermee wordt een kunstmatige trend vermeden.
# opbouw meetnetbestand (invoerfile):
# gesorteerd op filter, d.w.z. de waarnemingen van een filter staan bij elkaar
# gebruikte velden in het meetnetbestand:
# nr variabele
# 2   planjaar
# 3   filter
# 5   bodemgebruik (bg)
# 6   bodemtype (bt)
# 15  provincie (pr)
# 16  meetpunt (mp)
# 24  x-coördinaat (xc)
# 25  y-coördinaat (yc)
# 26  bovenkant filter (bf)
# 27  onderkant filter (of)
# 33 t/m 76 componenten, bijv. chloride (38)
# 77  eco-district (eco)
# 78  fysisch-geografische regio (regio)
# 79  landgebruik LANDSAT (land)
# 80  groep grondgebruik (gewas)
# 81  grondsoort bodemkaart (grond)
# 82  grondwatertrap (gt)

function trend() {
sx=0;sy=0;sxx=0;sxy=0;syy=0;
for(i=1;i<=n;i++){
if(y[i]<oag)y[i]=oag;
sx=sx+x[i];sy=sy+y[i];
}
ygem=sy/n;xgem=sx/n;
for(i=1;i<=n;i++){
syy=syy+(y[i]-ygem)**2
sxx=sxx+(x[i]-xgem)**2
}
}

```

```

sxy=sxy+(x[i]-xgem)*(y[i]-ygem)
}
argy=syy/(n-1);sdy=0;argx=sxx/(n-1);sdx=0
if(argy>0)sdy=sqrt(argy)
if(argx>0)sdx=sqrt(argx)
# b=regressiecoefficient; r=correlatiecoefficient
r=0.;b=0.;
if(sxx>0)b=sxy/sxx
if(sxx>0&&sy>0)r=sxy/(sqrt(sxx*syy))
ss=0
for(i=1;i<=n;i++){esty=ygem+b*(x[i]-xgem);ss=ss+(y[i]-esty)**2}
se=0
if(ss>0&&sxx>0){se=sqrt((ss/(n-2))/sxx)}
}
#
BEGIN {
n=0;oag=0;nmin=3;hlp="";lt=0;stof=0;xc="";yc="";mp="";clmax=0;of="";
bf="";clmin=0;fl="";groep="";gt="";pr="";start="";eind="";skip="";eco="";regio="";
grond="";gewas="";land="";}
{
if(NR==1) {
if(stof<32||stof>76){
print "awk -f lmgtrend stof=stofnr start=jaar eind=jaar lmgeo";
print "stofnr=kolomnr in databestand meetnet (lmgeo) ";
print "start-eind = selectieperiode (planjaren)";
print "volgorde kolommen in de uitvoer:"
print "mp,fl,bf,of,xc,yc,pr,regio,eco,bg,land,groep,bt,grond,gt";
print ",clmin,clmax,n,x[1],x[n],r,verandering,rc";
print "r= correlatiecoefficient, verandering = laatste-eerste/10j";
print "rc= 10* regressiecoefficient";
exit}
if($stof=="*"||$5=="Irr"||$6=="Ha"||$7=="Oe")next;
if($2<start+0)next;
if($2>eind+0)next;
hlp=$38;sub(/</,"",hlp);cl=hlp+0;clmax=cl;clmin=cl;fl=$3;bg=$5;bt=$6;pr=$15;
mp=$16;xc=$24;yc=$25;bf=$26;of=$27;eco=$77;regio=$78;land=$79;groep=$80;
grond=$81;gt=$82;
hlp=$stof;lt=sub(/</,"",hlp);n++;y[n]=hlp+0;x[n]=$31;pj[n]=$2;
if(lt==1)oag=hlp+0; }
# NR!=1
else {
# zelfde meetpunt/filter
if($16==mp&&$3==fl) {
if($stof=="*"||$5=="Irr"||$6=="Ha"||$7=="Oe")next;
if($2<start+0)next;
if($2>eind+0)next;
hlp=$38;sub(/</,"",hlp);cl=hlp+0;
if(cl>clmax)clmax=cl;

```

```

if(cl<clmin)clmin=cl;
hlp=$stof;lt=sub(/</, "",hlp);n++;y[n]=hlp+0;x[n]=$31;pj[n]=$2;
if(lt==1){if(hlp+0>oag)oag=hlp+0}; }
# niet zelfde meetpunt/filter, dus afwerken rijtje
else {
# indien voldoende waarnemingen bereken dan verandering
if(n>=nmin&&pj[1]==start&&pj[n]==eind) {
tmin=x[1];tmax=x[n];trend();
if(b*b<1.e-10)b=0.
rc=10*b; verander=10*(y[n]-y[1])/(x[n]-x[1])
print mp,fl,bf,of,xc,yc,pr,regio,eco,bg,land,groep,bt,grond,gt,clmin,clmax,n,tmin,tmax,r,
verander,rc
}
# opnieuw opstarten
n=0;
if($stof=="*"||$5=="Irr"||$6=="Ha"||$7=="Oe")next;
if($2<start+0)next;
if($2>eind+0)next;
#starten met nieuwe rijtje
hlp=$38;sub(/</, "",hlp);cl=hlp+0;clmax=cl;clmin=cl;oag=0;fl=$3;bg=$5;bt=$6;pr=$15;
mp=$16;xc=$24;yc=$25;bf=$26;of=$27;eco=$77;regio=$78;land=$79;groep=$80;
grond=$81;gt=$82;
hlp=$stof;lt=sub(/</, "",hlp);n++;y[n]=hlp+0;x[n]=$31;pj[n]=$2
if(lt==1)oag=hlp+0;
} } }
END {
if(n>=nmin&&pj[1]==start&&pj[n]==eind) {
tmin=x[1];tmax=x[n];trend();
if(b*b<1.e-10)b=0.
rc=10*b;verander=10*(y[n]-y[1])/(x[n]-x[1])
print mp,fl,bf,of,xc,yc,pr,regio,eco,bg,land,groep,bt,grond,gt,clmin,clmax,n,tmin,tmax,r,
verander,rc
}}

```

**Berekeningsresultaten**

B2-1: Verandering van de gemiddelde chlorideconcentraties in de periode 1984-1993  
uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> in 10 jaar

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	-2	10
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	194	-237
3	g/v	gras op (laag-)veen	-14	-25
4	g/zk	gras op zeeklei	-63	-47
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	-34	60
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	-24	24
7	g/rk	gras op rivierklei	-7	-6
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	11	-3
9	g/z	gras op zand	<b>-10</b> ↓	-4
10	m/z	maïs op zand	<b>-14</b> ↓	<b>-6</b> ↓
11	a/z	akkerbouw op zand	-5 ↓	4
12	b/z	bos&natuur op zand	11 ↓	-0 ↓
13	s/z	bebouwd op zand	-19 ↓	-1

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	..
2	zuidelijk zandgebied	<b>-9</b> ↓	-3 ↓
3	centraal zandgebied	1 ↓	0
4	oostelijk zandgebied	<b>-10</b> ↓	1
5	noordelijk zandgebied	2	-2
6	duinen en strandwallengebied	72	-129
7	rivierengebied	4	0
8	zeekleigebied	-69	-56
9	laagveengebied	-35	-14 ↓
10	zandgebieden	-4 ↓	-1 ↓
11	heel Nederland	-13 ↓	-18 ↓

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1993  
 .. geen waarnemingen

B2-2: Verandering van de gemiddelde pH-waarden in de periode 1984-1992,  
uitgedrukt in pH-eenh in 10 jaar

nr	code	groep	verandering op diepte 5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	-0,2	-0,2
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	0,0	-0,1 ↓
3	g/v	gras op (laag-)veen	0,0	-0,1 ↓
4	g/zk	gras op zeeklei	-0,1	-0,1 ↓
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	<b>-0,1</b> ↓	-0,1 ↓
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	-0,1	0,0
7	g/rk	gras op rivierklei	<b>-0,2</b> ↓	-0,1 ↓
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	-0,2 ↓	-0,1 ↓
9	g/z	gras op zand	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>
10	m/z	maïs op zand	<b>-0,2</b> ↓	0,4
11	a/z	akkerbouw op zand	0,0	-0,1
12	b/z	bos&natuur op zand	<b>-0,3</b>	0,1
13	s/z	bebouwd op zand	-0,1	<b>-0,1</b> ↓

nr	gebied	verandering op diepte 5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	-0,1 ↓
2	zuidelijk zandgebied	0,0	0,2
3	centraal zandgebied	<b>-0,3</b> ↓	<b>-0,2</b> ↓
4	oostelijk zandgebied	-0,2	<b>-0,2</b>
5	noordelijk zandgebied	-0,2	<b>-0,3</b> ↓
6	duinen en strandwallengebied	0,0	<b>-0,1</b>
7	rivierengebied	<b>-0,2</b> ↓	<b>-0,1</b> ↓
8	zeekleigebied	<b>-0,1</b> ↓	<b>-0,1</b> ↓
9	laagveengebied	0,0	-0,1 ↓
10	zandgebieden	<b>-0,2</b> ↓	-0,1 ↓
11	heel Nederland	<b>-0,1</b> ↓	<b>-0,1</b> ↓

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1992  
 .. geen waarnemingen

B2-3: Verandering van de gemiddelde sulfaatconcentraties in de periode 1984-1993,  
uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> in 10 jaar

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	2	-25 ↓
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	31	-87 ↓
3	g/v	gras op (laag-)veen	<b>-15</b> ↓	-3 ↓
4	g/zk	gras op zeeklei	<b>-23</b> ↓	-13 ↓
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	6 ↓	<b>-43</b> ↓
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	-6 ↓	<b>-8</b> ↓
7	g/rk	gras op rivierklei	6	16
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	-24	-2
9	g/z	gras op zand	-10 ↓	0
10	m/z	maïs op zand	-15	21
11	a/z	akkerbouw op zand	-25 ↓	4
12	b/z	bos&natuur op zand	4	4
13	s/z	bebouwd op zand	<b>-21</b> ↓	3

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	..
2	zuidelijk zandgebied	-9 ↓	-0 ↑
3	centraal zandgebied	0	1
4	oostelijk zandgebied	-4	4
5	noordelijk zandgebied	-9 ↓	3 ↓
6	duinen en strandwallengebied	-4	-49 ↓
7	rivierengebied	-8 ↓	7
8	zeekleigebied	-13 ↓	<b>-21</b> ↓
9	laagveengebied	<b>-15</b> ↓	-3 ↓
10	zandgebieden	<b>-6</b> ↓	2
11	heel Nederland	<b>-8</b> ↓	-4 ↓

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1993  
 .. geen waarnemingen

B2-4: Verandering van de gemiddelde nitraatconcentraties in de periode 1984-1993, uitgedrukt in  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	0,0	0,0
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	0,0	0,0
3	g/v	gras op (laag-)veen	0,0	0,0
4	g/zk	gras op zeeklei	0,0	0,0
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	-0,1 ↓	0,4
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	0,0	0,0
7	g/rk	gras op rivierklei	-0,1	0,0
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	1,0	0,1
9	g/z	gras op zand	1,4	0,3
10	m/z	maïs op zand	9,8	8,1 ↑
11	a/z	akkerbouw op zand	2,8	-0,3 ↓
12	b/z	bos&natuur op zand	1,0 ↑	0,2
13	s/z	bebouwd op zand	-1,5	-0,9

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	..
2	zuidelijk zandgebied	2,1	0,0
3	centraal zandgebied	<b>1,9</b> ↑	3,3 ↑
4	oostelijk zandgebied	0,1 ↑	0,8
5	noordelijk zandgebied	1,2	-0,1
6	duinen en strandwallengebied	0,0	0,0
7	rivierengebied	0,1	0,0
8	zeekleigebied	-0,1 ↓	0,2
9	laagveengebied	0,0	-0,1
10	zandgebieden	1,4 ↑	<b>0,7</b>
11	heel Nederland	0,8	<b>0,4</b>

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1993  
 .. geen waarnemingen

B2-5: Verandering van de gemiddelde ammoniumconcentraties in de periode  
1984-1992; uitgedrukt in  $\text{g/m}^3$  in 10 jaar ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	2,1	0,0
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	-7,1 ↓	0,1
3	g/v	gras op (laag-)veen	1,1	-4,0
4	g/zk	gras op zeeklei	0,4	-1,2
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	0,0	-0,4
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	-0,4	0,5
7	g/rk	gras op rivierklei	0,1	0,0
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	-0,6	0,2
9	g/z	gras op zand	+0,0 ↓	-0,1
10	m/z	maïs op zand	2,4	0,0
11	a/z	akkerbouw op zand	-0,5 ↓	0,0
12	b/z	bos&natuur op zand	+0,0 ↓	0,0
13	s/z	bebouwd op zand	-0,1 ↓	0,1

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	-0,1 ↓
2	zuidelijk zandgebied	-0,2 ↓	0,0
3	centraal zandgebied	1,0	0,3 ↓
4	oostelijk zandgebied	0,0	-0,1
5	noordelijk zandgebied	-0,1 ↓	-0,1 ↓
6	duinen en strandwallengebied	-3,2	0,1
7	rivierengebied	-0,2	0,2
8	zeekleigebied	0,6 ↑	-0,3
9	laagveengebied	0,9	-1,9
10	zandgebieden	0,1 ↓	-0,0 ↓
11	heel Nederland	-0,0 ↓	-0,2 ↓

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1992  
 .. geen waarnemingen



B2-6: Verandering van de gemiddelde P-totaal-concentraties in de periode 1984-1993;  
uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> per 10 jaar (P)

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	1,7	0,1
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	0,7	-0,2
3	g/v	gras op (laag-)veen	0,3 ↑	+0,0 ↑
4	g/zk	gras op zeeklei	0,1	0,1
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	-0,1	-0,1 ↑
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	0,8 ↑	<b>0,6</b> ↑
7	g/rk	gras op rivierklei	0,0	0,0
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	0,1 ↑	0,0
9	g/z	gras op zand	0,0	0,0
10	m/z	maïs op zand	0,0	0,0
11	a/z	akkerbouw op zand	0,2	0,0
12	b/z	bos&natuur op zand	-0,0 ↓	0,0
13	s/z	bebouwd op zand	0,1	-0,1

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	..
2	zuidelijk zandgebied	0,0	<b>-0,0</b>
3	centraal zandgebied	0,0	0,0
4	oostelijk zandgebied	0,0	0,0
5	noordelijk zandgebied	0,0	0,0
6	duinen en strandwallengebied	0,7	-0,2
7	rivierengebied	+0,0 ↑	0,0
8	zeekleigebied	0,0	-0,6 ↑
9	laagveengebied	<b>0,4</b> ↑	-0,1 ↑
10	zandgebieden	0,0	0,0
11	heel Nederland	0,1	-0,1

↑/↓ significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)  
 vet significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1993  
 .. geen waarnemingen

B2-7: Verandering van de gemiddelde kaliumconcentraties in de periode 1984-1993;  
uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> in 10 jaar

nr	code	groep	verandering op diepte	
			5-15m	15-30m
1	b/dz	bos&natuur op duinzand	22,1 ↑	0,7
2	t/dz	tuinbouw op duinzand	-2,0	2,3
3	g/v	gras op (laag-)veen	-0,1	0,5
4	g/zk	gras op zeeklei	9,1	1,6
5	a/zk	akkerbouw op zeeklei	1,6 ↑	1,5 ↑
6	s/zk	bebouwd op zeeklei en laagveen	-0,5	3,6 ↑
7	g/rk	gras op rivierklei	0,0	-0,1 ↓
8	s/rk	bebouwd op rivierklei	0,1	0,5
9	g/z	gras op zand	<b>3,0</b>	-0,1 ↑
10	m/z	maïs op zand	10,6	2,3 ↑
11	a/z	akkerbouw op zand	+0,0 ↓	-0,1
12	b/z	bos&natuur op zand	1,2 ↑	0,1 ↑
13	s/z	bebouwd op zand	-1,0	-0,4 ↓

nr	gebied	verandering op diepte	
		5-15m	15-30m
1	krijt en lössgebied	..	..
2	zuidelijk zandgebied	1,7	0,2 ↑
3	centraal zandgebied	2,5	-0,4
4	oostelijk zandgebied	-0,7	0,4
5	noordelijk zandgebied	<b>3,5</b>	0,1
6	duinen en strandwallengebied	4,4	1,1
7	rivierengebied	-1,0	0,0
8	zeekleigebied	1,3 ↑	1,5 ↑
9	laagveengebied	0,2	1,2
10	zandgebieden	<b>2,0</b>	0,1 ↑
11	heel Nederland	<b>1,5</b>	<b>0,5</b> ↑

↑/↓	significante lineaire samenhang met de tijd (positieve/negatieve correlatie)
vet	significante gemiddelde verandering tussen 1984 en 1993
..	geen waarnemingen