

# GRUNDVANDSOVERVÅGNING 1993

The logo for the Danish Geological Survey (DGU) consists of the letters 'DGU' in a white, stylized font. The letters are set against a square background that is green on top and blue on the bottom.

Miljøministeriet  
Danmarks Geologiske Undersøgelse

***Særudgivelse***

***Redaktør:*** Ole Stig Jacobsen

***Tegning:*** Eva Melskens

***Repro:*** DGU og From & Co

***Tryk indhold og omslag:*** From & Co.

***Oplag:*** 500 eks.

***Dato:*** 1. december 1993.

ISBN 87-89813-03-0

***Pris:*** Kr. 208, - eks. moms.

© Miljøministeriet

**Danmarks Geologiske Undersøgelse**

Thoravej 8, DK-2400 København NV

Telefon: 31 10 66 00

Telefax: 31 19 68 68

***I kommission hos:***

**Geografforlaget Aps**

Ekspedition: Fruerhøjvej 43, 5464 Brenderup

Telefon: 64 44 16 83      Telefax: 64 44 16 97

---

# Indhold

---

Forord .....	5
Konklusion .....	7
Conclusion .....	9
1 Indledning .....	11
2 Grundvandets hovedbestanddele i over- vågningsområderne .....	13
Klassifikationen af grundvandet .....	14
Hvad hovedklasserne afspejler .....	16
Klima og grundvandskemi .....	16
Geologi og grundvandskemi .....	17
Beskrivelse af Hovedklasserne .....	17
Øvrige hovedkomponenter .....	19
Hovedklassernes fordeling i overvågningsområderne .....	21
Landsfordeling af grundvandets hovedklasser .....	25
Hydrogeokemisk danmarkprofil .....	27
Arealanvendelsens indvirkning .....	28
Koncentrationer og udvikling .....	31
3 Hovedkomponenterne uden for overvågningsområderne .....	37
Amternes vurderinger af Boringskontroldata .....	39
4 Specialanalyser i overvågningsområderne .....	41
Uorganiske sporstoffer .....	41
Koncentrationer og spredninger .....	42
Forhold til fysiske parametre .....	44
De øverste filtre i borerne .....	44
Sammenligning med grundvandets hovedklasser .....	46
Amternes vurderinger .....	47
Organiske mikroforureninger .....	49
Pesticider og klorfenoler .....	52
Påvisning af pesticider i grundvand og råvand .....	52
Datapålidelighed .....	53
Pesticider og grundvandets hovedklasser .....	54
Pesticidernes forekomst .....	54
Fenoxysyrer .....	56
Triaziner .....	58
Fenolmidler .....	59
Klorfenoler og klormetylphenoler .....	59
Amternes kommentarer til pesticidpåvisninger i overvågningsområder .....	59
Pesticidpåvisninger i råvand .....	60

5	Sammenfatning og diskussion .....	63
	Andre kriterier for grundvandskemisk opdeling .....	65
	Udvalgte stofgrupper og stoffer .....	66
	Hovedkomponenter .....	66
	Nitrat .....	67
	Uorganiske sporstoffer .....	68
	Organiske mikroforureninger .....	69
	Pesticider .....	69
	Overvågningsområdernes repræsentativitet .....	69
	Volumenmæssige kvalitetsbetragtninger .....	70
	Referencer .....	73
	Figurliste .....	75
	Tabelliste .....	77
	Bilagsliste .....	79

---

## Forord

---

I denne rapport præsenteres de landsdækkende perspektiver af overvågningen af grundvandet. De tilgrundliggende data er indberettet af Amtskommunerne samt Københavns og Frederiksberg Kommuner til Fagdatacentret for Grundvands- og Boringsdata på Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU). Data er tilvejebragt gennem Vandmiljøhandlingsplanens Overvågningsprogram i perioden 1989 til 1992. Herudover præsenterer og diskuterer rapporten de overvejelser der er gjort i de årlige rapporter amterne udfærdiger. Den faglige vurdering af data i denne rapport er baseret på oplæg fra særligt fagkyndige, der har haft de enkelte stofgrupper som arbejdsområde:

Hovedkomponenter:	Per Nygaard, Erik Nygaard og Henning Kristiansen
Uorganiske sporstoffer:	Carsten Langtofte
Organiske mikroforureninger:	Troels Laier
Pesticider og klorfenoler:	Walther Brusch

Projektgruppen, der står bag rapporten, består herudover af Tibor Czako, Allan Grambo-Rasmussen, Bruno Haldbæk, Ninette Hartwich, Søren Hvilshøj, Ole Stig Jacobsen, Poul Merkelsen, Niels Henrik Mortensen, Birgit Ahlgren Pedersen, Per Rasmussen, Thomas Riedel, Conni Steffensen, Jens Stockmarr og Birgitte Sørensen.

En foreløbig version af rapporten har været udsendt til kommentering i Amtskommunerne, Københavns/Frederiksberg Kommuner og Miljøstyrelsen. Der er blevet taget stilling til disse kommentarer i forbindelse med den endelige udformning af rapporten, der er foretaget af Erik Nygaard, der også har forestået tilrettelæggelsen af rapporten.



---

## Konklusion

---

Indsamlingen af oplysninger om kvaliteten af det danske grundvand, iværksat i forbindelse med gennemførelsen af vandmiljøhandlingsplanen, har nu nået et omfang, der tillader en første sammenhængende bedømmelse, regionalt og på tværs af de kemiske stofgrupper.

Beskrivelsen af stoffernes geografiske og rumlige fordeling tager udgangspunkt i en inddeling af det danske grundvand i seks grundvandskemiske hovedklasser.

Med udgangspunkt i denne inddeling præsenteres et overblik over fordelingen af de undersøgte stoffer, som afspejler summen af en række delvis uafhængige grundvandskemiske faktorer.

Fremgangsmåden og analysen i denne rapport er et bud på en metode til karakteristik af grundvandets kvalitetsforhold, som kan anvendes som et redskab til fastlæggelse af den fremtidige udnyttelse og beskyttelse af grundvandet.

De mest betydende forhold, der afspejles i de grundvandskemiske hovedklasser og dermed i stofindhold og kvalitet, synes at være:

- om der er iltende eller reducerende betingelser i grundvandsreservoiret,
- om grundvandet er overfladenært eller dybereliggende,
- om grundvandet er ungt eller gammelt,
- om grundvandet er præget af arealanvendelse, indvinding eller marint infiltrationsvand,
- om grundvandet findes i de vestlige sandede og kalkfattige eller østlige lerede og kalkrige dele af Danmark.

Der er for landet som helhed ikke konstateret væsentlige generelle ændringer i grundvandets nitratindhold i løbet af overvågningsprogrammets første fire år. I Østjylland og på øerne ses der at være sket en svag, men signifikant stigning i grundvandets gennemsnitlige nitratindhold, inden for de kvartære, sandede og overfladenære reservoirer.

Det gennemsnitlige nitratindhold, i den del af det oxiderede, overfladenære grundvand, som har været nitratholdigt gennem hele overvågningsperioden, er mellem 40 og 50 mg/l, men spredningen er betragtelig, og indhold op til 200 mg/l er ikke usædvanlige. I de dybereliggende reservoirer, der fortrinsvis udnyttes til drikkevandsforsyning, er grundvandets gennemsnitlige nitratindhold under 15 mg/l, og grundvand med reducerende kemiske forhold er nitratfrit.

De opstillede hovedklasser af grundvand afspejler en tendens i fordelingen af de uorganiske sporelementer. Blandt de hovedklasser, der repræsenterer grundvand i ringe dybde, er overfladepåvirkningen størst i det *bløde forvittringsvand* i Midt - Vestjylland og i det *meget hårde forvittringsvand* i Østjylland og på øerne. Dette overfladenære grundvand er relativt stærkest påvirket af arealbelastning og af sænkning af grundvandsspejlet og har i landet som helhed et relativt stort indhold af cadmium, nikkel, zink, kobber, barium og aluminium. I den vestlige del af landet er der yderligere konstateret et relativt højt krom- og kviksølvindhold i det overfladenære grundvand, mens der i den østlige del af landet er konstateret et relativt højt bly-, molybdæn- og bromidindhold. I det relativt dybtliggende

og gamle, *hårde grundvand* og *det ionbyttede grundvand* er indholdet af arsen, litium og strontium forholdsvis højt. De grænseværdier for indholdet af aluminium, barium, nikkel og zink, der gælder for drikkevand, er overskredet i grundvandet i en del tilfælde.

Forurening af grundvandet med organiske mikroforureninger (klorerede kulbrinter, aromatiske kulbrinter og fenoler) er størst i de mest industrialiserede dele af landet, navnlig det storkøbenhavnske område. Der er ikke anvendt samme detektionsgrænse for de organiske mikroforureninger i alle amter, hvorfor det ikke er muligt at give en præcis landsdækkende beskrivelse af forureningens omfang. Generelt er de laveste detektionsgrænser blevet anvendt, hvor der har været formodning om forurening af grundvandet.

Der er konstateret indhold af pesticider i ca. seks procent af de undersøgte grundvandsprøver. Pesticidindholdet i prøver fra mange overvågningsboringer synes at variere gennem tiden, mens det påvises mere konstant i råvandsprøver fra indvindingsboringer, som dokumenteret i særlige undersøgelser i Storstrøms og Fyns Amt. Pesticidgruppen triaziner er fundet i såvel oxideret som reduceret grundvand. De hyppigst påviste pesticider, fenoxysyrerne, kendes især fra det reducerede, *meget hårde forvittringsvand* i Østjylland og på øerne. Påvisningerne af fenolmidler synes at have samme udbredelsesmønster som for fenoxysyrer, men datagrundlaget er meget spinkelt.

Grundvandsovervågningsprogrammet er et varslingsystem, der skal opfange tilstande og udviklinger i grundvandets kvalitet, så der så vidt muligt kan etableres tidlige beskyttelsestiltag, med henblik på sikring af drikkevandskvaliteten. Grundvandsovervågningsprogrammet har i denne henseende været en succes, idet mange observationer har kunnet relateres til konkrete problemstillinger. I lyset af de tilvejebragte oplysninger bør undersøgelserne i risikoområder intensiveres og udvides til vandværkernes råvand og eventuelt drikkevandet i tilfælde af påvisninger i området.

Grundvandets stofindhold afspejler et samspil mellem naturlige forhold, sænkning af grundvandsspejlet og punkt- eller arealmæssige påvirkninger. Dette samspil er en balance, hvor ændringer af de grundvandskemiske forhold vil kunne påvirke grundvandets indhold af forskellige stoffer såvel opad- som nedadgående retning.

I bestræbelserne på at sikre grundvand til den fremtidige drikkevandsforsyning må der derfor peges på differentierede tiltag, der tager hensyn til de aktuelle kemiske forhold i grundvandet, som de blandt andet kommer til udtryk i de her opstillede hovedklasser.

Kvaliteten af grundvandet, og den afsmittende effekt denne eventuelt kan have på vandværksvandet, kan med den nuværende forståelse ikke alene udmøntes i et valg mellem godt og dårligt. Den fremtidige udfordring synes snarere at blive et spørgsmål om at reservere forskellige kvaliteter til forskellige formål. For eksempel er grundvand med højt nitratindhold velegnet til markvanding. Herigennem kan det sikres, at det bedste, men mere sparsomme, grundvand reserveres til drikkevandsforsyning.



---

## Conclusion

---

Data on the quality of the danish groundwater are collected in pursuance of the danish Action Programme for the Aquatic Environment. Since the initiation in 1989 the amount of data have now grown to an extent that allows a regional coherent evaluation of the groundwater quality interlinking groups of chemical constituents to be performed.

The study of the 80 analysed chemical constituents is here based on subdivision of the groundwater, by means of a cluster analysis, into six main types. On this basis, an overview of the spatial and geographical distribution of the main types of groundwater is given, as well as a presentation of their content of chemical constituents as related to partly unrelated hydrogeochemical factors.

The most important chemical conditions, which are reflected in the content of constituents in the main types of groundwater, are in shortness whether there are a prevalence of oxidizing or reducing conditions, whether the groundwater is superficial or deeper seated, whether it is influenced by areal usage, abstraction, or marine infiltrating waters, and whether it is located in the western sandy and lime-depleted or the eastern clayey and lime-rich parts of Denmark.

The present approach is proposed as a general tool for characterisation of the quality of groundwater, and may be applicable in future planning of protection and exploitation of the resource.

On average the nitrate content of the groundwater within the monitoring areas is constant within the four year period of investigation. Only in eastern Jylland and on the isles there is a statistically significant tendency for increased nitrate content in sandy quaternary deposits. The average content of nitrate in the shallow groundwater, collected from filters that have produced nitrate containing water throughout the years of investigation, is in the range 40 - 50 mg/l, but the scatter is considerable, and contents up to 200 mg/l are not unusual.

In the deeper seated reservoirs, which are the predominant location of abstraction for the waterworks, the average nitrate content is approximately 25 mg/l. In most of this groundwater there are reducing conditions and thus no nitrate.

The six established main types of groundwater reflect tendencies in the distribution of the inorganic trace elements. Among the main classes that represent shallow groundwater the anthropogenic influence from the surface is greatest for the *soft weathering affected* and *very hard weathering affected groundwater* in mid - western Jylland, and eastern Jylland and the isles respectively. In this groundwater there is a relatively high content of cadmium, nickel, zinc, copper, barium and aluminium. In the western part of the country a relatively high content of chrome and mercury has further been ascertained, while conversely in the eastern part of the country the content of lead, molybdenum and bromine is relatively high.

In the old and relatively deep seated hard groundwater and ionexchanged groundwater the average content of arsenic, lithium, and strontium is particularly high. The content of aluminium, barium, nickel, and zinc does in a number of cases surpass the maximum allowed values relating to drinking water.

The presence of organic micropollutants, i.e. chlorinated hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, and phenols, in the groundwater is most prominent in the industrialized parts of the country, in particular the greater Copenhagen region. Evaluations of the comparable regional distribution of these micropollutants is hampered by differences in analytical detection limits applied in the counties. Generally the lowest detection limits (the 0,05 µg/l level) has been applied in the greater Copenhagen region.

Pesticides have been detected in approximately 6 percent of the analysed samples from the monitoring areas. The content of pesticides in samples from the monitoring filters appear to vary through time, while detections in water from producing wells at waterworks may be repeated to larger extent. The latter is documented in supplementary investigations within the counties of Storstrøm and Fyn.

The presence of the triazine group of pesticides has been proven in groundwater under oxidizing as well as reducing conditions, whereas the group of phenoxy acids is predominantly documented in the reducing environment. The pesticide group of phenols appear to occur in the groundwater in the same areas as the phenoxy acids, but data are very sparse. The phenoxy acids are the most frequently documented pesticides, and this documentation relates to the rather shallow, very hard and weathering affected groundwater in eastern Jylland and on the isles.

The groundwater monitoring programme is a means of timely warning, intended to discover problematic conditions and evolutions in the groundwater, allowing remedial actions to secure the resources of future drinking water. In this respect the groundwater monitoring programme has been a success as many observations have been relatable to specific contexts of problems. In the light of the achieved results investigations in susceptible areas should be intensified and, in case of problematic indications, expanded to include the supply of drinking water.

The constituents of the groundwater reflect an interplay between natural conditions, effects of lowering of the groundwater table, and the effects of both point and areal pollution. This interplay is a balance, in which changes in the hydrogeochemical conditions may alter the content of different components in each their direction.

In attempting to secure groundwater for future abstraction for the waterworks the appropriate initiatives should be arranged under consideration of actual local geochemical conditions, as e.g. expressed through the main types of groundwater presented here.

The quality of the groundwater, and the effect it may have on the quality of drinking water, may on the background of present knowledge not be minted in choices of good or bad alone. Rather the future challenge appears to be a question of reserving different qualities for each their purpose. Groundwater with high content of nitrate may thus be suitable for irrigation purposes. Hereby it may be secured that the better, but more sparse, groundwater may be reserved for the supply of drinking water.

---

# 1 Indledning

---

Grundvandets kvalitet er traditionelt blevet analyseret i forbindelse med etableringen af nye borer. I forbindelse med iværksættelsen af Vandmiljøhandlingsplanen blev der iværksat en egentlig løbende overvågningen af grundvandets kvalitet, Miljøstyrelsen 1989, idet der i hele landet blev etableret 67 grundvandsovervågningsområder og 6 landovervågningsoplande, figur 1. Inden for disse områder blev der installeret godt henholdsvis 1100 og 270 filtre, hvori grundvandet overvåges særlig intenst. Yderligere blev der på samme tidspunkt stillet krav om overvågning af vandet fra vandværkernes indvindingsboringer ved iværksættelsen af programmet for boringskontrol. Samtidig blev der iværksat indberetning af oplysninger om oppumpede vandmængder, drikkevandskvalitet, punktforureninger og pejlinger af grundvandsstanden. Der er således, gennem amtskommunernes indberetninger til Fagdatacentret for Borings- og Grundvandsdata på DGU, et meget omfattende datamateriale til rådighed for denne årligt tilbagevendende rapportering.

Behovet for at skaffe overblik over kemiske data vedrørende det danske grundvand har i tidens løb ført til inddeling af typer med internt fælles særpræg, der ligner hinanden. Den bedst kendte inddeling af grundvandet er baseret på hårdhedsgraden ( $1,4 \times$  calciumindholdet plus  $2,3 \times$  magnesiumindholdet, divideret med 10). Med udgangspunkt i hårdhedsgraden og reaktionskemiske overvejelser inddelte Ødum og Christensen, 1936, det danske grundvand i typer relateret til landsdelene.

Et Hydrokemisk Klassifikationssystem (HK-klassifikation) af grundvandet baseret på erfaringsværdier for meget hyppigt målte komponenter er blevet udviklet af Kristiansen, 1991 og 1992. Med dette system kan grundvandet inddeles i et halvt hundrede klasser baseret på beregning af Alkalinitet, Forvittringsgrad, Under- eller Overskud af Kalk og Redoxforhold.

Med den hastigt stigende og systematiske dataindsamling er det imidlertid nu muligt, at danne et overblik over hovedkategorier af grundvand på basis af numerisk analytiske metoder.

I denne rapport tager vurderingen af grundvandet således udgangspunkt i en numerisk klassifikation i form af en såkaldt clusteranalyse af data fra grundvandsovervågningsområderne (klassifikation ved numerisk taxonomi), SAS 1989. Denne analyse er et arbejdsredskab og forudsætter ingen anvendelse af forhåndsviden om sammenhænge i datasættet. Til gengæld må betydningen af de klasser, der findes, fortolkes bagefter. Resultatet vil afhænge af, hvor godt de parametre, der indgår i analysen, beskriver de forhold der ønskes belyst, og af det erfaringsgrundlag, der ligger til grund for tolkningen.

Tilrettelæggelsen af analysen er baseret på en række eksperimenter, hvorigennem der er fundet frem til et antal hovedkomponenter, hvis fordeling beskriver naturligt grundvand, versus det, der er antropogent påvirket. Gennem forundersøgelserne er det godtgjort, at de overordnede tendenser i resultaterne er robuste overfor justeringer af metode og datagrundlag. Denne robusthed gælder også, når analysen baseres på datagrundlaget for HK-klassifikationen. De forskellige metoder til at skaffe overblik over data supplerer således i udstrakt grad hinanden.

Flere amter har klassificeret grundvandet inden for eget område på basis af andre parametre end de her valgte, idet valget af datagrundlag afspejler den aktuelle problemstilling. Der er ikke i denne rapport foretaget en diskussion af disse forskellige angrebsvinkler til klassifikation.



Figur 1. Beliggenheden af grundvandsovervågningsområder og landovervågningsoplande. Sidstnævnte er skrevet i kursiv.

## 2 Grundvandets hovedbestanddele i overvågningsområderne

Analyseprogrammet for hovedkomponenter i grundvandsovervågningsområderne omfatter 24 stoffer eller parametre, bilag 1. Der analyseres for en stor del af disse stoffer i hver grundvandsprøve, og mindst én gang årligt foretages der komplette analyseserier. Analyseresultaterne vil imidlertid være mere eller mindre forskellige for alle prøver.

For at kunne skabe overblik over de mange analyser, og dermed det grundvand de repræsenterer, er det derfor nødvendigt at gruppere analyser, der ligner hinanden, i klasser. Klassifikationen er her gennemført på basis af oplysninger om indholdet af nogle få væsentlige og veldokumenterede parametre, for hvilke der ikke forventes signifikante koncentrationsvariationer inden for overvågningsperioden (4 år).

Forud for klassifikationen er der, for hvert af de 1100 grundvandsovervågningsfiltre, udregnet et gennemsnitsindhold for alle målte hovedkomponenter. Klassifikationen er således baseret på én værdi pr. stof for hvert filter og giver derfor et situationsbillede (1989-1992). En eventuel dynamisk vurdering må baseres på en viderebearbejdning af resultaterne, som det f.eks. er gjort for nitrat (se senere).

Aggressiv kulsyre, CO <sub>2</sub> Sulfat, SO <sub>4</sub> Klorid, Cl	Magnesium, Mg Bicarbonat, HCO <sub>3</sub> Calcium, Ca
---	--

**Tabel 1.** De 6 hovedkomponenter, som er grundlaget for klassifikationen af grundvandet i denne rapport. Afhængig af lokale forhold måles disse stoffer fra 1 til 4 gange årligt i hvert af de 1100 grundvandsfiltre (se dog vedr. aggressiv kuldioxid i teksten). Hvor der i rapporten benyttes kemiske symboler for stoffer er ladningerne udeladt, og hvor der angives CO<sub>2</sub>, betyder det aggressiv CO<sub>2</sub>.

Klassifikationen er baseret på indholdet af 6 stoffer, som der så vidt muligt er målt for i grundvand fra alle filtre, tabel 1. De valgte stoffer kan forekomme naturligt og afspejle naturlige forhold, men kan også til en vis grad afspejle antropogen påvirkning.

Analyser af indholdet af aggressiv kuldioxid afspejler om der er kalkover- eller underskud i jordlagene. Disse analyser er ikke til rådighed fra hele landet. Amterne har imidlertid taget stilling til, hvorvidt den aggressive kuldioxid ville være målbar i grundvandet. På dette grundlag er det i en del tilfælde udeladt at foretage disse analyser. Til trods for den optimering af datasættet, som er foretaget på fagdatacentret på DGU, har det derfor været nødvendigt at benytte en metodik, der tillader fortolkning også selv om der er "huller" i datasættet.

Bikarbonat er inddraget i klassifikationen, bla. fordi det er væsentligt til karakterisering af grundvandets alkalinitet. Efter klassifikationen fremgår det at bikarbonat er den komponent, der tydeligst udskiller koncentrationsintervaller for de enkelte hovedklasser af grundvand. Calcium og magnesium er medtaget, dels for at kunne afspejle ionbytning, dels for i sammenhæng med bikarbonatindholdet at kunne angive grundvandets forvitningsgrad

og hårdhed. Disse tre stoffer indgår således også i eksisterende klassifikationer, med hvilke det er aktuelt at sammenligne de nye resultater.

Sulfatindholdet er inddraget for at kunne tage højde for på den ene side oxidation af svovlholdige forbindelser og på den anden side sulfatreduktion. Klorid er inddraget for at opfange tegn på bl.a. overfladebelastning, opstigende mineralvand og indtrængende havvand.

Der er foretaget en analytisk vurdering af korrelation og spredning mellem indholdene af de forskellige stoffer inden for de klasser af grundvand, som klassifikationen resulterer i. Som eksempel fremgår det heraf, at natrium og klorid fordeler sig ens, hvorfor det er tilstrækkeligt kun at inddrage det ene af disse stoffer i klassifikationen.

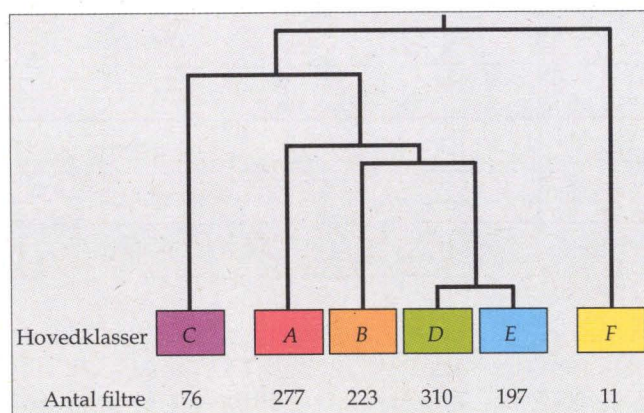
### Klassifikationen af grundvandet

Overvågningsdata indeholder, som hovedregel, information om indholdet af de 6 udvalgte stoffer i grundvandsprøverne fra godt 1100 prøvetagningsfiltre. Ved klassifikationen opdeles grundvandet fra filtrene i hovedklasser på basis af indholdet af disse stoffer.

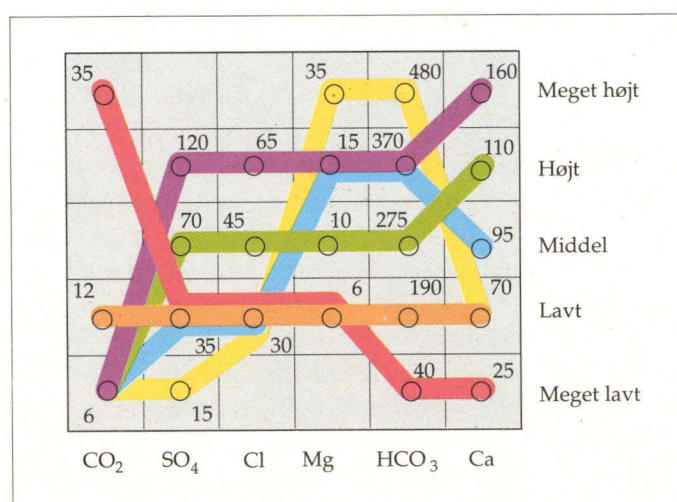
Resultatet af klassifikationen, figur 2, er, at grundvandet i overvågningsområderne er blevet delt op i 6 kvantitativt og kvalitativt væsentlige hovedklasser, som i figuren er tildelt hver sin farve. I figuren er hovedklasser af grundvand, som ligner hinanden meget, forbundet af en meget lav "bro", f.eks. hovedklasserne *D* og *E*. Omvendt er hovedklasser, der er meget forskellige, forbundet af en høj bro, f.eks. hovedklasserne *A* og *F*. Overalt, hvor der i det følgende anvendes farver, refererer disse til hovedklasser i overensstemmelse med figur 2. Gennem klassifikationen er det klarlagt, hvor stor forskellen er på det grundvand, der er i de enkelte hovedklasser, og hvor godt der kan skelnes mellem dem på grundlag af indholdet af de enkelte stoffer, bilag 2. Der er kun 6 filtre, hvorfra grundvandet ved den samlede klassifikation ikke lader sig indpasse i de seks hovedklasser. Ved klassifikationen er der således sket en udskillelse af nogle få filtre, hvorfra der enten er mangelfulde oplysninger eller hentes grundvand med meget afvigende sammensætning. Det gennemsnitlige indhold i hovedklasserne af de 6 stoffer, som klassifikationen er baseret på, er vist i tabel 4 og illustreret i figur 3.

Hydrokemien i de seks hovedklasser af grundvand, som benyttes i denne rapport, kan også beskrives med HK-klassifikationens terminologi, tabel 2. Klassifikationen i denne rapport er imidlertid baseret på, at det geokemiske helhedspræg inden for de enkelte hovedklasser optræder med en vis spredning. For nogle af HK-klassifikationens kriterier har det derfor været nødvendigt at justere koncentrationsgrænserne, for at beskrivelsen af grundvandet i hovedklasserne skal blive meningsfuld. Der er således sket en mindre tilpasning af kriterierne for vurdering af kalkunder- eller overskud og redoxforholdene. Bedømmelsen af redoxforholdene er baseret på det gennemsnitlige indhold af nitrat, som ikke indgår i fastlæggelsen af hovedklasser, idet data vedrørende ilt-, metan- og svovlbrinteindholdet i grundvandet ikke er analyseret i tilstrækkeligt omfang. Nitratfordelingen viser sig imidlertid delvist at følge aggressiv kuldioxid, idet det også i vid udstrækning er muligt at karakterisere hovedklasserne ud fra indholdet af stoffer, der ikke indgår direkte i klassifikationen, tabel 4.

Det understreges, at det er HK-klassifikationens koncentrationsgrænser, sådan som de er defineret af Kristiansen, 1992, der kan anvendes til klassifikation af data fra de enkelte filtre.



**Figur 2.** Klassifikationen af grundvandet i hovedklasser illustreret sådan, at det fremgår, hvor stor forskel der er på grundvandet i de enkelte hovedklasser. Højden af de broer, der forbinder de seks hovedklasser af grundvand, afspejler, hvor forskellige de er. Jo lavere bro desto større er ligheden. Sammenhængen mellem hovedklassernes bogstavbetegnelser og farver fastholdes og benyttes gennem hele denne rapport. Antallet af grundvandsfiltre, der falder ind under de enkelte hovedklasser, er også anført.



**Figur 3.** Koncentrationsniveauer i mg/l af de 6 stoffer, der indgår i klassifikationen, angivet i forhold til en relativ skala, der afspejler ionstyrken af det enkelte stof. Ved at følge de farvede streger, som svarer til de enkelte hovedklasser af grundvand, kan det gennemsnitlige stofindhold aflæses. En sammenligning mellem hovedklasserne viser, hvad der karakteriserer dem i forhold til hinanden (dette er uddybet i teksten og tabellerne 2 og 3).

Hovedklasse	Alkalinitet	Forvitningsgrad	Kalkunder/overskud	Redoxforhold
A	Lav	Høj	Underskud	Oxiderende
B	Middel	Middel	Grænsetilfælde	Oxiderende
C	Høj	Høj	Overskud	Grænsetilfælde
D	Høj	Høj	Overskud	Grænsetilfælde
E	Høj	Middel	Overskud	Reducerende
F	Høj	Lav	Overskud	Reducerende

**Tabel 2.** Karakteristik af de seks hovedklasser af grundvand, som er etableret i denne rapport, i HK-klassifikationens terminologi, jævnfør Kristiansen 1992. Inddelingsgrundlaget for HK-klassifikationen er i denne sammenhæng tilpasset denne undersøgelse, se teksten.

### Hvad hovedklasserne afspejler

Opdelingen af det ferske grundvand i Danmark i kun seks hovedklasser er en forenkling, som ikke dækker alle variationer i de grundvandskemiske forhold. Til gengæld giver en sådan forenkling mulighed for et landsdækkende overblik over de rumlige variationer i de grundvandskemiske forhold, som det ikke er muligt at opnå ved detailbeskrivelser.

### Klima og grundvandskemi

Grundvandets kemiske sammensætning er bestemt af en kombination af påvirkninger fra overfladen ("forvitringstrykket") og jordlagenes reaktion på disse påvirkninger. Som følge af disse forhold er der karakteristiske regionale og rumlige forskelle i grundvandskemien. Danmark har humide klimaforhold, idet nedbøren er større end fordampningen. Jordlagene er derfor udsat for en fremadskridende udvaskning, som fjerner vandopløselige stoffer og medfører en gradvis forsuring og oxidation af de øverste jordlag. Forsuring og oxidation afhænger såvel af naturlige som antropogene (menneskeskabte) forhold.

En vigtig naturlig faktor for grundvandskemien er nettonedbøren eller mængden af vand, der siver ned mod grundvandet (nedbør minus fordampning). Nettonedbøren i Danmark varierer fra 400 til 150 mm pr. år og er som hovedregel størst i den vestlige del af landet, Miljøstyrelsen 1992. Nettonedbørens størrelse har betydning for mængden af opløste forsurende henholdsvis oxiderende stoffer (brintioner og elektronacceptorer), der dannes i de øverste jordlag.

Den naturlige forsuring i de øverste jordlag som følge af opløst kuldioxid i nedbøren og af den kuldioxid, der produceres ved biologiske processer i de øverste jordlag, er langt større, end den antropogene forsuring som følge af luftforurening, Miljøstyrelsen 1984. Tilførslen af oxiderende stoffer til grundvandet er derimod overvejende antropogen. Nitratkoncentrationen i nedsivende vand fra især agerbrugsarealer er således ca. 5 gange højere end under skov og naturarealer, hvor opløst ilt er det vigtigste oxidationsmiddel, Postma et al. 1990.



Sænkning af grundvandsstanden gennem indvinding kan medføre oxidation af jordlagene i en zone under det oprindelige grundvandsspejl. Den vigtigste proces som følge af denne grundvandssænkning er oxidation af pyrit (svovlkis), som enten medfører kraftig forsuring eller opløsning af kalk fra jordlagene. Herved kan der yderligere frigøres spormetaller til grundvandet.

### **Geologi og grundvandskemi**

Udover "forvitringstrykket" i form af påvirkninger fra jordoverfladen bestemmes grundvandets kemiske sammensætning af de jordlag, som vandet kommer i kontakt med dels under grundvandsdannelsen (umættet zone) og dels i grundvandsreservoirerne (mættet zone).

Der er store regionale forskelle i jordlagenes geokemi inden for Danmark. I sandede kalkfri jordlag f.eks. i det vestlige Jylland, er indholdet af reducerende stoffer i jordlagene som hovedregel lavt. Her vil forsuring og oxidation fra overfladen påvirke grundvandskvaliteten stærkt og direkte, ofte til stor dybde. Grundvandet, især det øverste, vil blive surt, indeholde aggressiv kuldioxid og som hovedregel have højt nitratindhold.

I morænelersområderne på øerne og i det østlige Jylland indeholder jordlagene kalk og reducerende stoffer. Derfor influerer den fremadskridende forsuring og oxidation kun i mindre grad på grundvandskvaliteten. Her vil grundvandets hårdhed til gengæld stige som følge af øget opløsning af kalk fra jordlagene.

Den del af hårdhedsforøgelsen, som skyldes, at der er dannet svovlsyre ved oxidation af pyrit, vil være "blivende". Hårdhedsgraden i dette "forvitningsprægede" grundvand kan blive meget høj. Stærkt stigende hårdhed og korresponderende højt sulfatindhold udgør en betydelig kvalitetsforringelse af grundvandet. I lerede områder indeholder jordlagene reducerende stoffer, og derfor vil oxidationsprocesserne ikke nødvendigvis medføre samme nitratindhold, som i sandede områder.

Påvirkningen af grundvandet ved den fremadskridende forsuring og oxidation afspejler således de regionale geologiske forhold.

De ældste og mest dybtliggende grundvandsforekomster, især i lerjordsområderne, kan have en oprindelig kvalitet, som er upåvirket af forvitringen fra overfladen. Dette grundvand kan være sulfatreduceret og ionbyttet, især hvis det har været i kontakt med natriumholdige marine leraflejringer.

### **Beskrivelse af Hovedklasserne**

De seks hovedklasser af grundvand afspejler samspillet mellem geologi, klima, hydraulik og arealanvendelse. Hovedklasserne afspejler også i forenklet form en rækkefølge efter "forvitringstryk" og jordlagenes resistens overfor dette "forvitringstryk".

På hele det skitserede grundlag kan de seks hovedklasser af grundvand beskrives og karakteriseres på en enkel måde, tabel 3.

Hoved-klasse	Beskrivelse af hovedkarakteren i dette grundvand	Grundvandet er...	Grundvandets hovedklasser kaldes...
A	Grundvandet er blødt og surt, og har som regel højt indhold af aggressiv kuldioxid. Nitratindholdet er ofte højt, i mange tilfælde over 50 mg/l. Dette grundvand er meget sårbart overfor forurening fra overfladen, og kan være problematisk som grundlag for drikkevandsproduktion.	Blødt med lav alkalinitet og høj forvitningsgrad	<i>Blødt forvitningsvand</i>
B	Grundvandet er middelhårdt, oftest svagt surt og har et varierende men lavt indhold af både aggressiv kuldioxid og nitrat. Dette grundvand er sårbart overfor fremtidig nedsivning af nitratholdigt vand, men er som hovedregel bedre egnet som grundlag for drikkevandsforsyning end hovedklasse A.	Middelhårdt med middel alkalinitet og middel forvitningsgrad	<i>Middelhårdt grundvand</i>
C	Stærkt forvitningspræget grundvand med meget stor hårdhedsgrad og ledsagende høj sulfatkoncentration, sandsynligvis overvejende forårsaget af pyritoxidation. Aggressiv kuldioxid forekommer normalt ikke eller kun i lave koncentrationer. Også nitratindholdet vil normalt være forholdsvist lavt. Dette grundvand er præget af afsænkning ved vandindvinding, der medfører, at hårdheden og sulfatindholdet stiger. Kloridindholdet kan være relativt højt som følge af forurening.	Meget hårdt med høj alkalinitet og høj forvitningsgrad	<i>Meget hårdt forvitningsvand</i>
D	Vandet er hårdt, oftest med en del blivende hårdhed, sandsynligvis som følge af forvitring. Udover den naturlige kalkudvaskning med kuldioxidholdigt vand, skyldes hårdheden påvirkning fra mineralsyrer (svovlsyre og salpetersyre) fra nedbøren eller fra oxidationsprocesser i de øvre jordlag. Nitratindholdet er varierende, afhængig af oxidationsgraden i de øverste jordlag, og af de overliggende jordlags reduktionskapacitet.	Hårdt med høj alkalinitet og høj forvitningsgrad	<i>Hårdt forvitningsvand</i>
E	Vandet er hårdt, men kun en mindre del af hårdheden er blivende. Grundvandet vil normalt være reduceret og svagt ionbyttet, og er i almindelighed gammelt og ikke sårbart overfor nitratforurening.	Hårdt med høj alkalinitet og middel forvitningsgrad	<i>Hårdt grundvand</i>
F	Dette middelhårde grundvand er oftest ionbyttet og derfor uden blivende hårdhed. Grundvandet er reduceret og ikke sårbart overfor nitratforurening fra overfladen. Som et resultat af ionbyttningen, kan natriumindholdet være relativt højt med risiko for stigning ved for kraftig indvinding. Grundvandet er typisk gammelt og marint præget.	Middelhårdt med høj alkalinitet og lav forvitningsgrad	<i>Ionbyttet vand</i>

Tabel 3. Karakteristik af det ferske grundvands hovedklasser. Hovedklassernes kaldenavne, der benyttes i den her efterfølgende del af rapporten, vil være skrevet med kursiv og med tilføjelse af hovedklassens bogstavbetegnelse.

## Øvrige hovedkomponenter

Gennemsnitsindholdet i grundvandet af overvågningsprogrammets kemiske hovedkomponenter samt tritium er angivet for hver hovedklasse i tabel 4. Høje værdier er fremhævet med farve (for pH og tritium er de laveste værdier fremhævet, og for hårdhed såvel de højeste som de laveste). Ved sammenligning mellem tabel 4 og figur 3 fremgår det blandt andet, at koncentrationsfordelingen af natrium og kalium følger magnesium, men i de fleste henseender afviger fra fordelingen af calcium.

Dette synes hovedsagelig at være et udtryk for ionbytningsprocesser. Det forholdsvis høje gennemsnitsindhold af kalium i *det relativt overfladenære bløde forvittringsvand, A*, og *meget hårde forvittringsvand, C*, antyder, at kalium også tilføres som overfladepåvirkning. Se også den geografiske fordeling af dette grundvand i figur 9.

Fluorid forekommer især i *det hårde grundvand, E*, og *det ionbyttede grundvand, F*, som bl.a. afspejler marint påvirket grundvand i kalkreservoirer på øerne. Nitrat og permanganattallet (forbruget af kaliumpermanganat, der viser, hvor meget oxiderbart stof, der er i grundvandet) fordeler sig analogt med aggressiv kuldioxid. Jernindholdets fordeling tyder på, at det afspejler jern med både to og tre elektriske ladninger, idet indholdet er relativt højt både i *det bløde oxiderede* og *det middelhårde grundvand (A og E)*.

Manganindholdet fordeler sig analogt med aggressiv kuldioxid, nitrat og oxideret jern. Fordelingen af pH-værdier udskilles med de lave værdier i *det bløde oxiderede grundvand, A*, på linie (men omvendt proportionalt) med aggressiv kuldioxid. Tritiumværdierne viser, at *det hårde* og *det ionbyttede grundvand (E og F)* er relativt gammelt.

Væsentlige elementer til forklaring af alle hovedkomponenter i grundvandet er anført i bilag 3, og de vigtigste forhold er fremhævet i tabel 5. Indholdet i bilag 3 er baseret på en kombination af kendt viden og resultaterne i denne rapport.

På basis af bl.a. data præsenteret i tabel 4 og forklaringerne i bilag 3 fremgår det, at den inddeling af det ferske grundvand, som er foretaget gennem klassifikationen i denne rapport, har en videre betydning, der siger noget om helhedsbilledet af fordelingen af hovedkomponenter i grundvandet.

Hoved-klasse	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Mg	HCO <sub>3</sub>	Ca	Na	K	F	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Perm.	Fe	Mn	tot-P	PO <sub>4</sub> -P	Hårdh.	NH <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Tr
A	37.5	38.6	30.3	6.3	36.2	27.2	16.1	3.8	0.2	0.04	41.0	11.8	2.2	0.41	0.06	0.03	5.3	0.07	19.8	5.5	0.02	0.08	6.0	22.7
B	11.7	37.4	31.0	5.6	172.0	69.1	18.0	1.7	0.2	0.08	35.3	11.1	2.3	0.31	0.10	0.11	10.8	0.12	35.5	3.4	0.01	0.17	7.5	23.9
C	6.4	117.0	65.5	15.1	383.0	156.0	32.4	4.8	0.3	0.07	13.3	7.3	1.8	0.26	0.08	0.07	24.6	0.18	15.0	1.5	0.04	0.08	7.4	26.9
D	5.3	74.2	45.7	10.6	277.0	113.0	26.1	3.2	0.3	0.06	23.7	9.7	2.1	0.26	0.09	0.06	18.1	0.21	23.5	1.9	0.07	0.09	7.5	24.6
E	5.1	27.4	32.0	14.4	357.0	95.3	28.8	3.7	0.5	0.03	4.1	7.8	2.5	0.19	0.16	0.14	16.9	0.64	22.9	1.3	0.05	1.08	7.5	9.5
F	6.1	14.0	35.8	34.2	482.0	75.1	60.1	5.3	1.7	0.02	0.8	6.5	2.1	0.09	0.10	0.11	17.7	0.74		1.1	0.04	0.08	7.5	5.9

**Tabel 4.** Gennemsnitsindhold/værdier af hovedkomponenter/parametre og tritium i grundvandets seks hovedklasser. Særligt høje værdier (særligt lave for pH og tritium, og både særligt lav og høj hårdhedsgrad) er fremhævet med farve. Klassifikationen er baseret på de første 6 stoffer. En sammenligning mellem indholdet af disse 6 stoffer med de øvrige viser, at inddelingen af grundvandet i hovedklasser indirekte også afspejler fordelingen af stoffer/parametre, der ikke har ligget til grund for selve klassifikationen. Tallene angiver mg/l for stofferne og permanganatforbruget, pH ubenævnt og tritium i TU. Antallet af analyser fremgår af bilag 4.

Oxiske Oxidation af svovlholdige forbindelser Kalkindhold Salt som overfladepåvirkning samt Ionbytning og Udvaskning	kontra kontra kontra kontra	Anoxiske forhold Sulfatreduktion Fravær af kalk Underjordisk salttilførsel
---	--------------------------------------	---

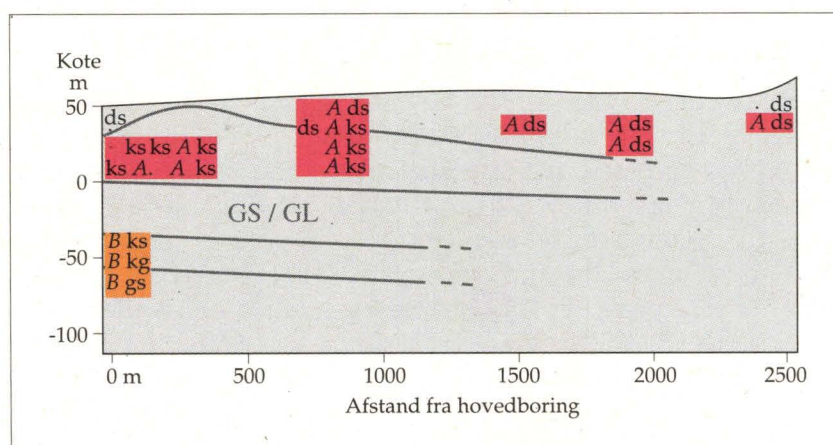
**Tabel 5.** Forhold der i betydelig grad influerer på hovedkomponenternes fordeling i grundvandet.

### Hovedklassernes fordeling i overvågningsområderne

Den rumlige fordeling af grundvandets hovedklasser i overvågningsområderne er blevet undersøgt. Til dette brug er der fremstillet simplificerede profiler over overvågningsområderne, i hvilke filtret i hovedboringen (indvindingsboring på et vandværk) er angivet i venstre side, figurerne 4-8 og 12. De øvrige filtre er vist til højre for hovedboringen i forhold til afstanden herfra. Filtrene er også vist i den korrekte dybde, og jordartssymbolet efter DGU standard, er anført, se bilag 5. Endelig er de geologiske laggrænser indtegnet i forenklet form. Oversigtsmæssige beskrivelser af overvågningsområderne findes i Nygaard (red.) 1991, hvori der er referencer til uddybende beskrivelser.

I det følgende er det helhedsindtrykket af den rumlige fordeling, sådan som den fremstår efter en undersøgelse af samtlige 67 overvågningsområder, der er præsenteret. Det er ikke tilstræbt at nævne alle varianter af forholdene, og den nødvendige dialog med amterne, om hvad klassifikationen af grundvandet fra det enkelte filter afspejler, er kun lige begyndt.

Med fem profiler gennem udvalgte overvågningsområder, eksemplificeres nogle af de vigtigste forhold mellem grundvandets hovedklasser og dermed grundvandet.

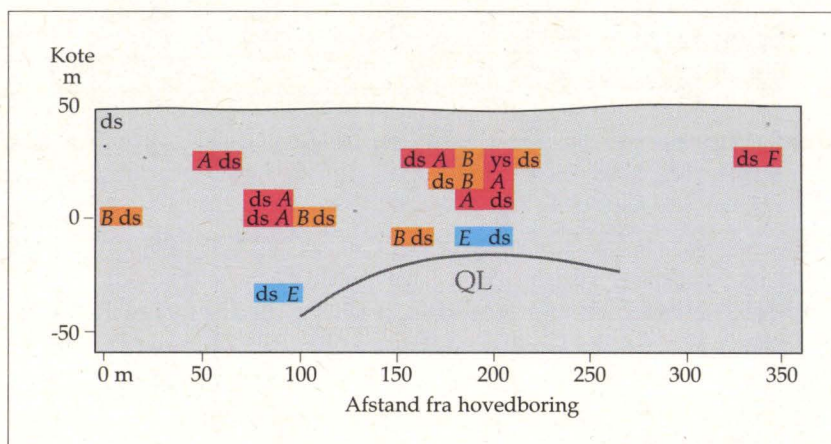


**Figur 4.** Profil gennem overvågningsområdet Grindsted. Se forklaring i teksten.

Forholdet mellem *blødt forvittringsvand*, A, og *middelhårdt grundvand*, B, er eksemplificeret ved overvågningsområdet Grindsted, figur 4.

Det *bløde forvittringsvand*, A, omfatter det grundvand, som dannes og findes, hvor der er kalkfri eller meget kalkfattige (udvaskede) jordarter. Dette område består geologisk af hedesletteaflejringer og ligger vest for isens hovedopholdslinie under sidste istid.

Det *middelhårde grundvand*, B, findes i knapt så udvaskede jordarter, der i lidt højere grad har kunnet påvirke vandet. Det *middelhårde grundvand*, B, findes derfor, dels hvor udvaskningen på større dybde ikke er nået helt så langt (under et glimmerlerholdigt lag i Grindsted), dels hvor jordarterne nær ved terræn er lidt rigere på opløselige stoffer (f.eks. delvist udvaskede, sandede moræneaflejringer), hvor grundvandet strømmer langsomt fordi lagene er relativt tætte eller fordampningen er høj (under skove og plantager), og hvor den antropogene stoftilførsel er relativt høj.



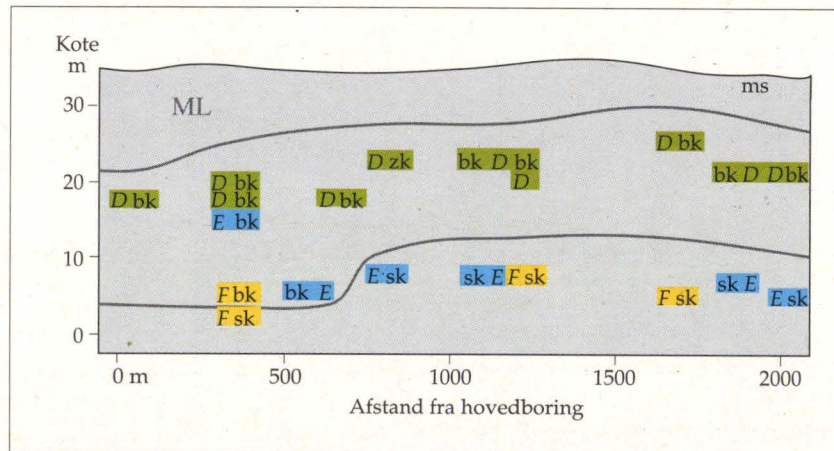
**Figur 5.** Profil gennem overvågningsområdet Albæk. Se forklaring i teksten.

Fordelingen mellem *det bløde forvittringsvand*, A, og *det middelhårde grundvand*, B, kan være kompliceret. Hvis forskellen på disse hovedklasser opfattes som et udslag af grader af udvaskning af jordlagene, kan forholdene i overvågningsområdet Albæk, figur 5, opfattes som en illustration af betydningen af samspillet mellem udvaskning, jordlagenes gennemstrømmelighed og kildestyrke samt arealanvendelsen inden for det yngre overfladenære grundvand.

I Albæk demonstreres også en anden væsentlig relation mellem hovedklasserne, idet *hårdt grundvand*, E, findes i forholdsvis dybtliggende jordlag, hvor strømmingen er langsom og grundvandet forholdsvis gammelt, tritium tabel 4.

I de fleste af de overvågningsområder, hvor enten *det middelhårde grundvand*, B, eller *hårde grundvand*, E, dominerer, er der, som for eksempel i overvågningsområdet Nordsamsø, figur 6, også en del *hårdt forvittringsvand*, D. Det *hårde forvittringsvand*, D, afspejler generelt et stærkt præg fra jordarterne og relativt højt sulfat-, klorid- og især nitratindhold, tabel 4. Det *hårde forvittringsvand*, D, er relativt ungt, mens *det hårde grundvand*, E, i almindelighed både er relativt dybtliggende og gammelt, tabel 4. Det *hårde forvittringsvand*, D, kan imidlertid også opfattes som en svagt overfladepåvirket variant af *det hårde grundvand*, E, figur 7.



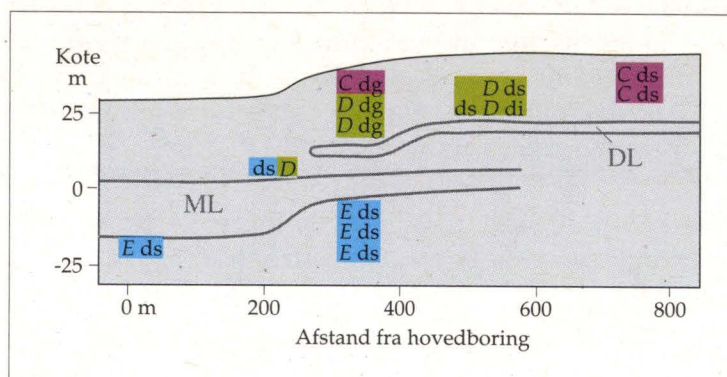


Figur 7. Profil gennem overvågningsområdet Store Heddinge. Se forklaring i teksten.

I mange overvågningsområder, især på øerne, er der øverst *hårdt forvittringsvand*, *D*, mens der på større dybde er *hårdt grundvand*, *E*, og dybest *ionbyttet grundvand*, *F*. Dette er illustreret ved overvågningsområdet Store Heddinge, figur 7. Mens *det hårde forvittringsvand*, *D*, repræsenterer ungt strømmende grundvand, som bla. indeholder en del sulfat og klorid, se tabel 4, er *det hårde grundvand*, *E*, i regelen gammelt, svagt sulfatreduceret og kan være let ionbyttet.

Det *ionbyttede grundvand*, *F*, adskiller sig fortrinsvis fra *det hårde grundvand*, *E*, ved at være stærkere ionbyttet og sulfatreduceret, se figur 3.

Meget *hårdt forvittringsvand*, *C*, findes fortrinsvis i det aller mest overfladenære grundvand i en del overvågningsområder, i Østjylland og på øerne. Overvågningsområdet Munke Bjergby er valgt som eksempel, figur 8. Under *det meget hårde forvittringsvand*, *C*, er der i de fleste tilfælde *hårdt forvittringsvand*, *D*. Det *meget hårde forvittringsvand*, *C*, findes dog til meget stor dybde i overvågningsområderne Frederiksberg og Vesterborg. Det *meget hårde*



Figur 8. Profil gennem overvågningsområdet Munke Bjergby. Se forklaring i teksten.



*forvittringsvand, C*, synes dog som hovedregel at afspejle en effekt fra jordoverfladen. Væsentlige årsagssammenhænge synes at være, at svovlholdige forbindelser enten bliver tilført, især fra jordoverfladen, og/eller at naturlige svovlholdige stoffer, så som svovlkis, bliver oxiderede ved afsenkning af grundvandet i områder, hvor jorden ikke er udvasket. Herved dannes der svovlsyre, som opløser kalk, således at hårdheden i grundvandet øges. En væsentlig del af kloridindholdet i dette grundvand, figur 3, skyldes antropogen arealpåvirkning, mens det, især i det sydøstlige Danmark, synes knyttet til den meget fede lerjord, jævnfør Det Kongelige Danske Geografiske Selskab 1986.

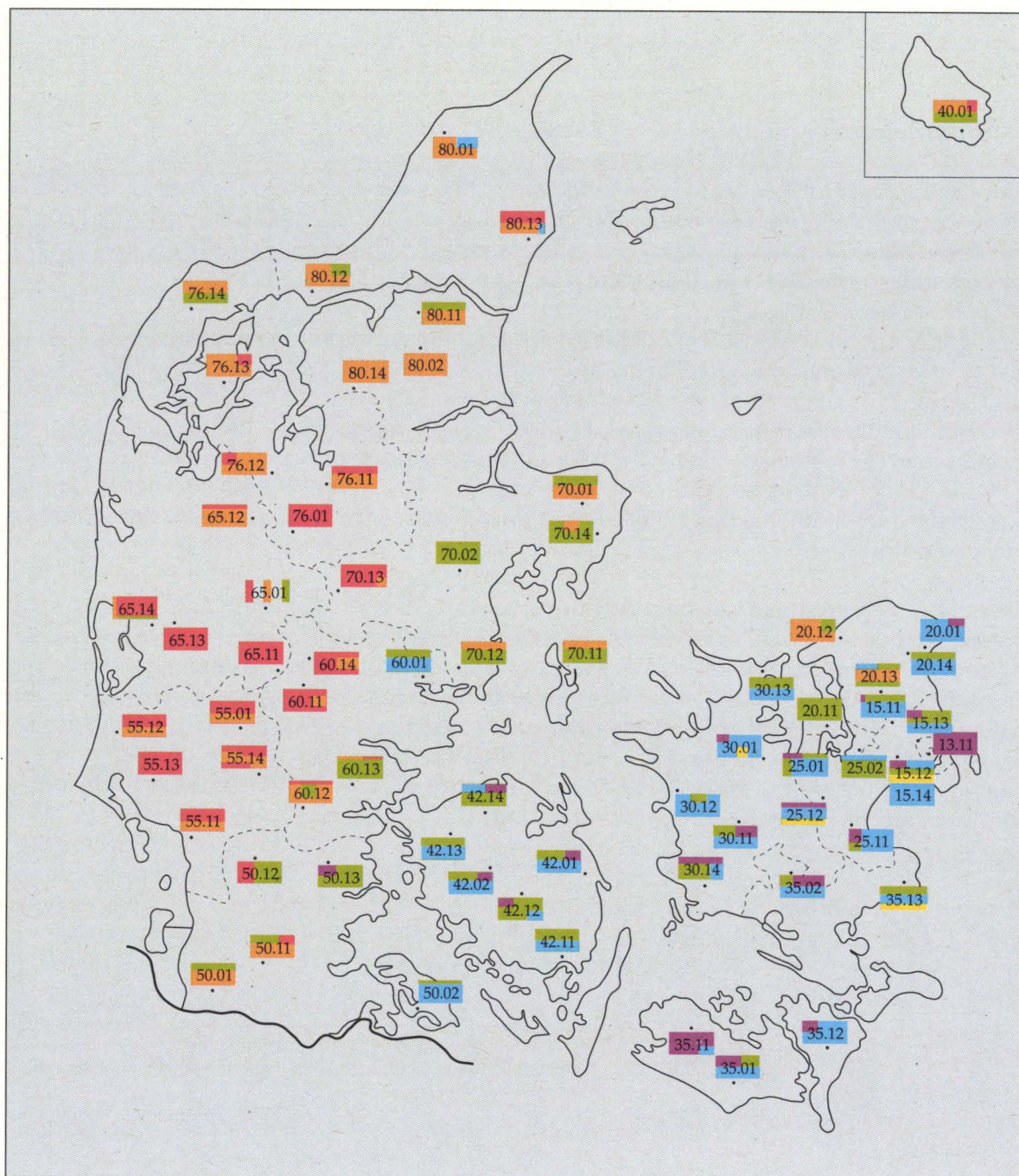
### Landsfordeling af grundvandets hovedklasser

Den geografiske fordeling af grundvandets hovedklasser er illustreret på en simplificeret form i figur 9. De farvelagte felter viser det relative antal filtre, der tilhører hver af hovedklasserne inden for hvert af overvågningsområderne. Hvert felt viser yderligere fordelingen af hovedklasserne i det overfladenære hhv. dybereliggende grundvand.

Af figur 9, der alene bygger på data fra overvågningsområderne, som udgør ca. 1,5% af det danske landområde, kan der umiddelbart udledes nogle geografiske hovedtræk. Først ved samfortolkning med boringskontrollata, se figur 17, kan den regionale repræsentativitet af billedet i figur 9 dokumenteres. Da data fra overvågningsområderne altovervejende repræsenterer det ferske grundvand, er det indlysende, at der ikke på dette grundlag er taget højde for enhver variation i det danske grundvand. Figur 9 viser imidlertid, at den geografiske og dybdemæssige fordeling af grundvandets hovedklasser antyder regionale særpræg.

Der er en vis spredning på data indenfor hver hovedklasse af grundvand. For at forstå, hvordan afvigende data er håndteret ved klassifikationen, er alle oplysninger om grundvandet fra de enkelte filtre blevet vurderet. Herigennem er det konstateret, at grundvand, der kun lige akkurat kan siges at tilhøre én bestemt hovedklasse, som nærmeste alternativ ville falde ind under en af nabo-hovedklasserne, sådan som de fremgår af figur 2 og 10. Herudover ville grundvandet i en del af de aller mest overfladenære filtre inden for *det bløde forvittringsvand, A*, og *det middelhårde grundvand, B*, som nærmeste alternativ skulle tilhøre *det meget hårde forvittringsvand, C*.

De indledende undersøgelser viste, at hvis datagrundlaget for klassifikationen justeres, forskydes fordelingen af grundvandsfiltre, der falder ind under de enkelte hovedklasser. Også i sådanne tilfælde flyttes grundvandsfiltrene i regelen til en af nabo-hovedklasserne, mens de generelle regionale og dybdemæssige tendenser bibeholdes. De viste regionale særpræg synes derfor at være reelle.



**Figur 9.** Fordelingen af grundvandets hovedklasser inden for grundvandsovervågningsområdernes filtre. For hvert overvågningsområde er det rumlige forhold mellem grundvand, der tilhører de enkelte hovedklasser, så vidt muligt illustreret. Hovedklasserne er angivet med farver, jævnfør figur 2, sådan at de viser det omtrentlige indbyrdes mængdeforhold.

## Hydrogeokemisk danmarkprofil

Sammenstilles de tidligere beskrevne rumlige forhold mellem hovedklasserne i udvalgte overvågningsområder med figur 9 fremstår en hovedtendens i fordelingen af det ferske grundvand i overvågningsområderne:

Det *bløde forvittringsvand*, A, i Midt- og Vestjylland underlejres- og omgives i nord, syd og østlige retninger af *middelhård grundvand*, B. Det *middelhårde grundvand*, B, under- og mellemlajres, og omgives (især mod øst), af *hårdt forvittringsvand*, D. Dette grundvand overlejrer som hovedtræk *hårdt grundvand*, E, som dominerer mod øst, og igen overlejrer *ionbyttet grundvand*, F. Kun fordelingen af *det meget hårde forvittringsvand*, C, synes at falde uden for den beskrevne succession, idet det forekommer tættest ved jordoverfladen og iøvrigt hyppigst i det østlige Danmark.

Baseret på disse indbyrdes forhold kan den rumlige og geografiske fordeling af det ferske grundvands hovedklasser sammenstilles til et konceptuelt vest - øst profil. I udformningen af dette profil, som er baseret på data fra overvågningsområderne, figur 9, er der taget højde for alle de konkrete dybdemæssige relationer mellem hovedklasserne, som de er dokumenteret i overvågningsboringerne.

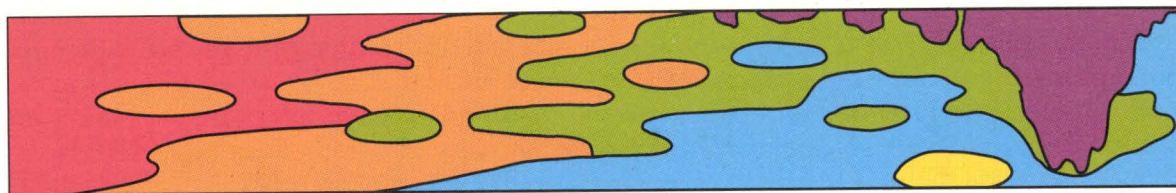
I figur 10 opsummeres de hidtidige analyser og overvejelser. Disse kan sammenfattes til, at ionstyrkerne i de seks hovedklasser af det ferske grundvand i overvågningsområderne, afspejler en vekselvirkning mellem, dels hvor meget opløseligt stof, der er til rådighed fra jordarterne eller tilført som antropogen påvirkning fra jordoverfladen, dels hvor hurtigt grundvandet strømmer (forholdet mellem kildestyrke, udvaskningspotentiale og reaktionstid). Jordarternes kildestyrke og udvaskningspotentiale er lavest vest for isens hovedopholdslinie, hvor grundvandet udgøres af *blødt forvittringsvand*, A.

Herfra stiger kildestyrken, via områder med *middelhård*, B, og *hårdt forvittringsvand*, D, til *hårdt*, E, og *ionbyttet grundvand*, F. Grundvandsstrømningens "fortyndende" effekt, der består i, at det opløste stof opblandes i en større eller mindre mængde grundvand under passage, er størst i *det bløde forvittringsvand*, A, og aftagende hen gennem de øvrige hovedklasser i samme rækkefølge som netop nævnt.

Det *meget hårde forvittringsvand*, C, kan både afspejle, at jordlagene har en meget høj kildestyrke inden for lerdominerede områder, at udvaskningen er accelereret på grund af sænkning af grundvandsspejlet, og at der er sket en antropogen overfladepåvirkning.

V

Ø



**Figur 10.** Konceptuelt hydrogeokemisk tværsnit gennem det ferske grundvand i overvågningsområderne. Fordelingen af grundvandets hovedklasser afspejler forskelle i samspillet mellem jordarternes kildestyrke, udludning og fortynding på grund af variationer i strømning, nedbør og antropogene påvirkninger. Farverne svarer til grundvandets hovedklasser, jævnfør figur 2.

## Arealanvendelsens indvirkning

Det har lige siden overvågningsprogrammets start stået klart, at en vigtig parameter for forståelsen af stoffordelingen i grundvandet er arealanvendelsen. Det virker indlysende, at hvad der end findes i eller spredes på de øverste jordlag, så vil det i visse tilfælde kunne føres med det nedsivende vand til grundvandet. Men en sådan sammenhæng kan være vanskelig at dokumentere i konkrete tilfælde. I det foregående er der taget et første skridt til en sådan verifikation ved udskillelsen af hovedklasser, der muliggør bedømmelse af stofindholdet i forhold til en helhedsvurdering.

Det fremgår herigennem, jævnfør en sammenligning mellem figur 3 og 10 samt tabel 4, at sulfat-, klorid- og calciumindholdet falder med dybden inden for de øverste oxiderede dele af grundvandet i overvågningsområderne i Østjylland og på øerne. Denne observation er også fremhævet i de fleste amtsrapporter for 1993. Forklaringen synes at være, at der ved afsenkning af grundvandet iltes svovlholdige forbindelser. Herved frigøres der sulfat til grundvandet, og der dannes svovlsyre. I områder, hvor der er kalk i de øvre jordlag, opløses denne, under neutralisation af syren, hvorved også calciumindholdet i det øverste grundvand stiger. At der samtidig, uden for det mest nedbørsrige område i Midt- og Vestjylland, er særlig meget klorid i det øverste grundvand må, som også amterne udtrykker det, tolkes som en uafhængig effekt forårsaget af anvendelsen af vejsalt og gødning.

Arealanvendelsens betydning for grundvandets indhold af hovedkomponenter er tidligere blevet undersøgt i de såkaldte NPO-projekter. Et yderligere forsøg i denne retning er i de seneste år foretaget af Ribe Amt, 1992, der dokumenterer effekten af gødskningspraksis på nitratindholdet i dybtliggende filtre, som er placeret i grundvandets strømningsbaner fra bestemte arealer.

Grundvandet i Landovervågningsoplandene, figur 1, hvor det mest overfladenære grundvand overvåges sammen med vandet i den umættede zone, er i denne rapport sammenlignet med grundvandet i grundvandsovervågningsområderne (gennem en såkaldt diskriminantanalyse på grundlag af indholdet af sulfat, klorid, magnesium, bikarbonat og calcium), SAS 1989. Resultatet, figur 11, viser at det mest overfladenære grundvand kan opdeles i de samme hovedklasser som blev etableret på grundlag af data fra grundvandsovervågningsområderne. Inden for samme region ligner fordelingen af grundvandsfiltre på hovedklasser hinanden i de to datasæt. Den mest påfaldende forskel findes på Lolland mellem grundvandsovervågningsområdet Vesterborg, figur 12, og landovervågningsoplandet Højvands Rende, figur 11, som ligger lige ved siden af hinanden. I Højvands Rende findes der *hårdt forvittringsvand*, D, nærmest terrænoverfladen, mens denne klasse af grundvand ikke forekommer i overvågningsområdet Vesterborg. Forskellen kan skyldes, at meget af grundvandet i zonen tættest under terræn har været oxideret i naturtilstanden. En væsentlig del af de svovlholdige forbindelser i denne zone er derfor allerede omdannede, og den heraf opståede sulfat forlængst udvasket. En videre vurdering af de hydrogeokemiske forhold på Lolland, sammenlign figur 10, må inddrage aspekter som morænelerets indhold af opblandet oligocænt ler, lernedvaskning fra dyrkningslaget, grundvandsafsenkning gennem indvinding og optrængning af grundvand i landovervågningsoplandet, hvor der nogle steder er negativ hydraulisk gradient. Forekomsten af højtliggende ionbyttet grundvand i dette landovervågningsopland kan således afspejle den dynamiske hydrauliske situation.

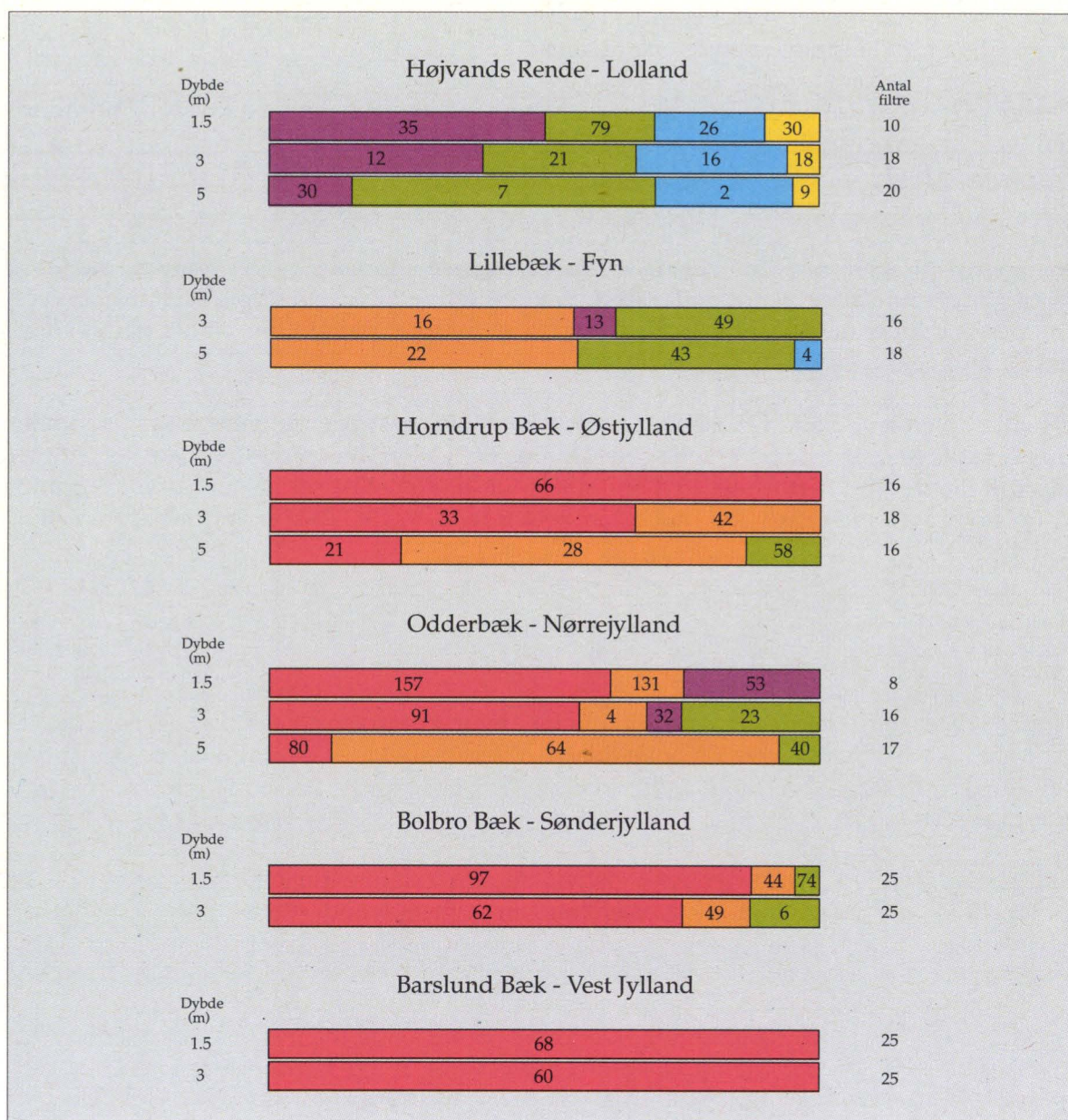
Generelt afspejler dybdefordelingen af grundvandets hovedklasser i landovervågningsoplandene, de samme generelle tendenser, som er angivet i figur 10, men med de modifikationer, der er omtalt i det følgende.

Variationsbredden i fordelingen af hovedklasser i landovervågningsoplandene afspejler en heterogenitet, der er forårsaget af en kombination af geologi, arealanvendelse og strømning, figur 11. Af figuren fremgår, at nitratinholdet aftager med dybden i oplande, hvor jorden er sandet, Barslund Bæk og Bolbro Bæk. Gradienter i nitratinholdet inden for de lerede oplande, Højvands Rende, Horndrup Bæk og Lillebæk, er mere komplekse. De geologiske forhold i det sidste landovervågningsopland Odderbæk er komplicerede, idet det omfatter både sandede og lerede arealer.

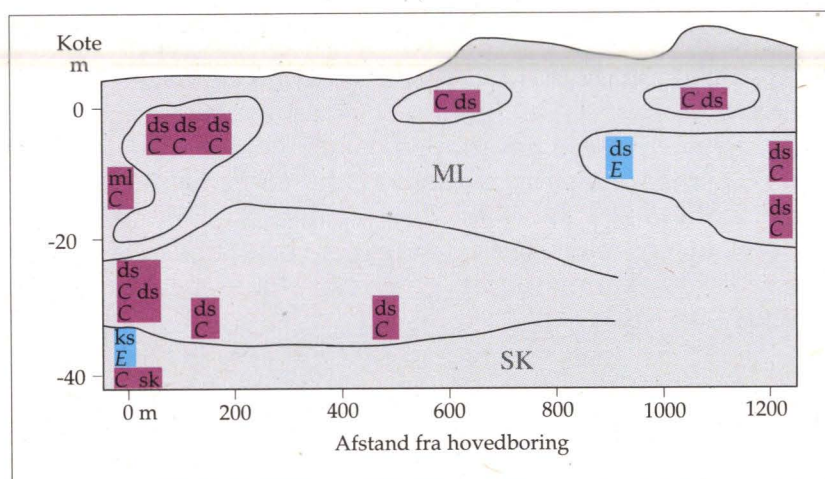
Der er yderligere dokumenteret en sammenhæng mellem gødskningspraksis og nitratinholdet i landovervågningsoplandenes grundvand, Rasmussen 1993.

Rasmussen finder, for det sandede opland Barslund Bæk, at nitratinholdet i det øverste grundvand, 1,5 meter under terræn, er højest under husdyrgødede arealer. Nitratinholdet er knapt så højt under arealer, hvor der udelukkende er anvendt handelsgødning. I tre meters dybde er nitratinholdet under de naturgødede arealer noget mindre, men dog stadig højere end hvor der er gødet med handelsgødning. Nitratinholdet i halvanden og tre meters dybde under handelsgødede arealer er omtrent det samme. Under naturarealer er der et meget lavt nitratinhold i begge dybder.

Også i det lerede opland Lillebæk er nitratinholdet i grundvandet generelt højere under husdyrgødede end under handelsgødede arealer. Under husdyrgødede arealer aftager nitratinholdet imidlertid med dybden, mens indholdet stort set er det samme i grundvand fra 3 og 5 meters dybde under handelsgødede arealer. Der er ingen naturarealer i Lillebæk.



**Figur 11.** Det meget overfladenære grundvand i landovervågningsoplandene, karakteriseret på kriterierne for opstilling af grundvandets hovedklasser. For hver af de faste dybdeniveauer, hvor filtrene er anbragt, er det procentvise forhold mellem de filtre, der kan henføres til de enkelte hovedklasser, angivet med farve. Antallet af filtre pr. dybdeniveau er anført til højre, og i hver hovedklasse af grundvand (farvet felt) er der vist størrelsen af det gennemsnitlige nitratindhold i mg/l. Oplandenes beliggenhed er vist i figur 1.



**Figur 12.** Profil gennem grundvandsovervågningsområdet Vesterborg. Se forklaring i teksten.

### Koncentrationer og udvikling

Fordelingen af indholdet af sulfat, klorid og nitrat i grundvandets hovedklasser (inden for grundvandsovervågningsområderne) er vist som kassediagrammer i figur 13. Diagrammerne fremhæver, hvilke koncentrationsintervaller, der er karakteristiske for de enkelte hovedklasser (det farvelagte felt). Herudover viser figuren spredningen i koncentrationen af de tre stoffer. Det er tydeligt, at der må sondres mellem en hovedfordeling og en række afvigelser, som i en del tilfælde svarer til indhold over de vejledende og højest tilladte indhold i drikkevand.

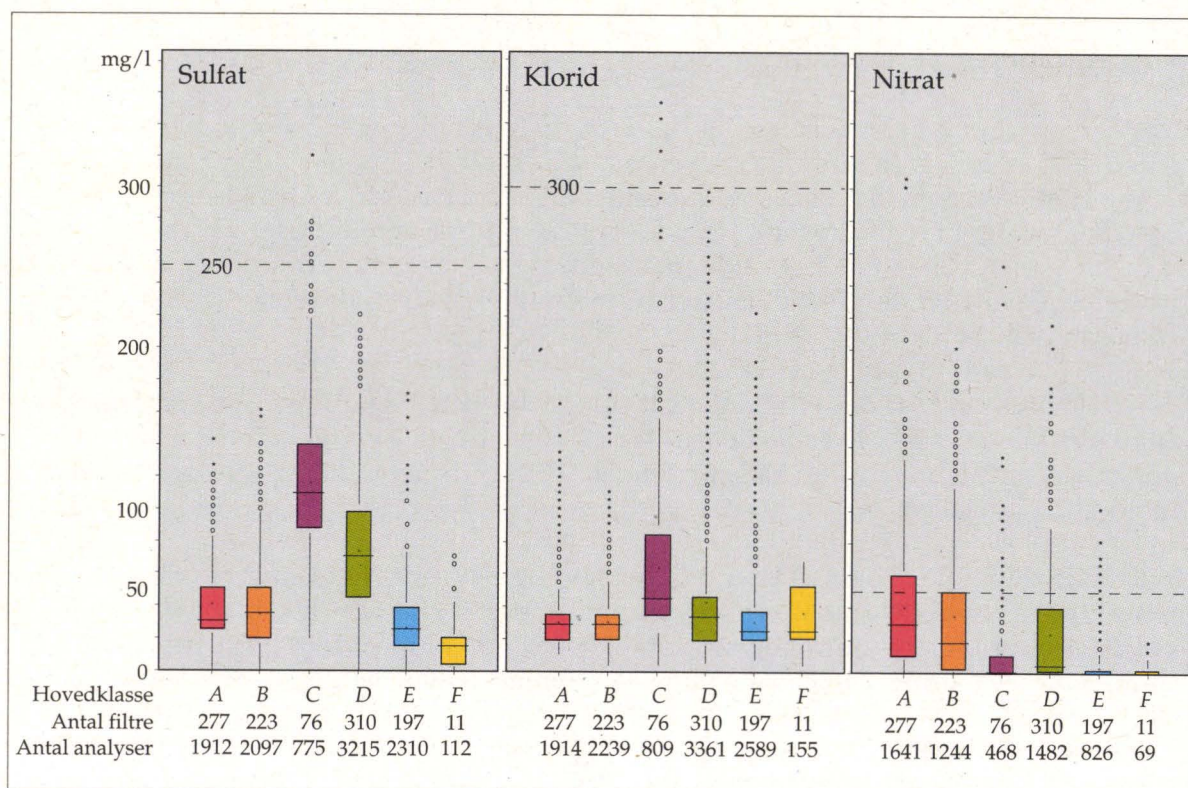
Figur 13 viser også, at der er et antal tilfælde, hvor grundvand f.eks. med samme kloridindhold, klassificeres i hver sin hovedklasse. I disse tilfælde er det indholdet af de øvrige stoffer, der er afgørende for klassificeringen. Prisen for overblik er således manglende entydighed i detaljen.

Sulfatindholdet falder med dybden i Østjylland og på øerne, hvilket er beskrevet af flere amter. Inden for dette område er afsænkningen af grundvandet lokalt betydelig, og der kan yderligere være et antropogent sulfattilskud. Sulfatindholdet er således størst i *det meget hårde forvittringsvand, C*, hvor der sker iltning af svovlholdige forbindelser, mindre i *det hårde forvittringsvand, D*, og meget lavt i det relativt dybtliggende og gamle *hårde grundvand, D*, se tabel 3. Sulfatindholdet er gennemgående relativt beskedent i områder (overvejende i Jylland), hvor *det bløde forvittringsvand, A*, og *middelhårde grundvand, B*, findes.

Forhøjet kloridindhold forekommer især i *det meget hårde forvittringsvand, C*, der refererer til overfladenært grundvand på øerne og i Østjylland. Et let forhøjet kloridindhold præger *det hårde forvittringsvand, D*, som generelt findes i samme geografiske område som *det meget hårde forvittringsvand, C*, om end hyppigt på større dybde. Et faldende kloridindhold med dybden er således tydeligt inden for den del af Danmark, hvor jordarterne er relativt lerede og fortyndingen lav på grund af forholdsvis lille nettonedbør. Det let for-

højede kloridindhold i *det ionbyttede grundvand*, F, afspejler påvirkning fra indtrængende havvand, residualt havvand eller oprængende saltvand fra undergrunden.

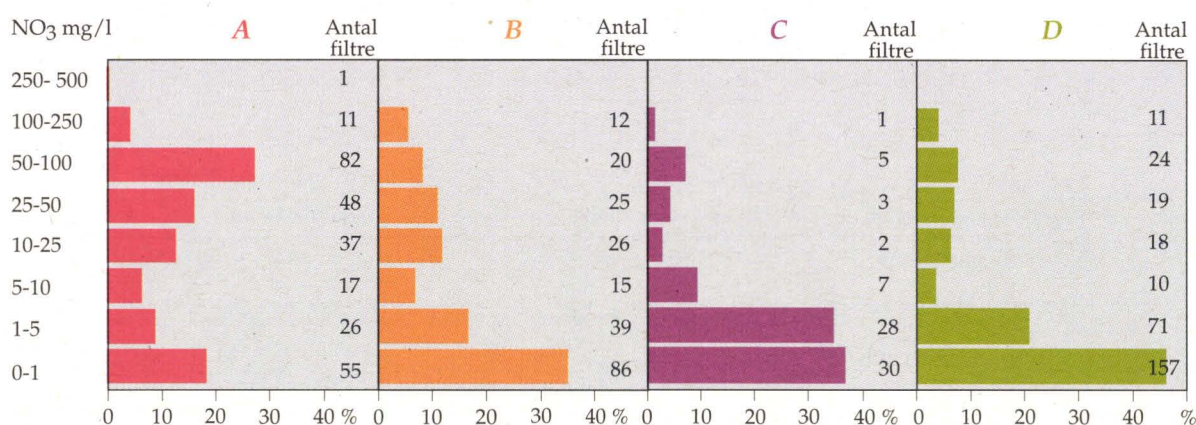
Højt nitratindhold forekommer fortrinsvis i *det bløde forvittringsvand*, A, mens forhøjet indhold iøvrigt især forekommer i *middelhårdt grundvand*, B. Begge disse hovedklasser af grundvand forekommer især i Jylland, idet *det bløde forvittringsvand*, A, næsten udelukkende forekommer vest for isens hovedopholdsline under sidste istid. En antydning af et nitratproblem på øerne fremgår af indholdet i *det hårde forvittringsvand*, D, og *det hårde grundvand*, E. I *det meget hårde forvittringsvand*, C, er nitratindholdet gennemgående forholdsvis lavt, idet nitraten synes at indgå som oxidationsmiddel af svovlholdige forbindelser. Der kan altså forekomme nitrat i grundvand tilhørende alle hovedklasser, selv om det ikke er lige karakteristisk.



**Figur 13.** Koncentrationsfordelingerne af sulfat, klorid og nitrat i de seks hovedklasser af grundvand, som er opstillet på basis af data fra overvågningsområderne. 50% af analyserne ligger indenfor det farvelagte felt, hvorfra en fast linie, efterfulgt af boller og prikker, afspejler spredningen i data. Antallet af overvågningsfiltre og analyser er angivet for hver hovedklasse af grundvand. Stiplede linier angiver det højeste tilladte indhold i drikkevand.



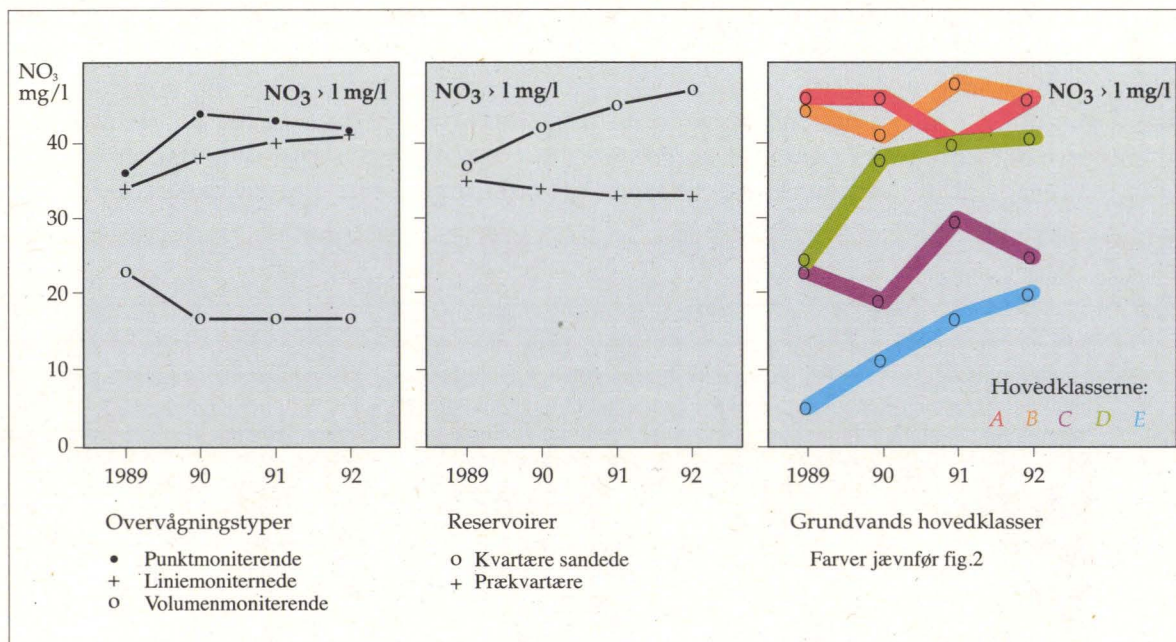
Nitratindholdet i grundvandet fra de filtre, der falder ind under de fire hovedklasser af grundvand, som overvejende består af ungt grundvand, er vist som histogrammer i figur 14. Kun meget få filtre med *hårdt grundvand*, E, og ét med *ionbyttet grundvand*, F, indeholder nitrat. Af figuren fremgår, at der i de fire af grundvandets hovedklasser er et stort antal filtre, der er yder nitratfrit grundvand (< 1 mg/l), samt et endnu større antal der yder grundvand med et nitratindhold på "naturarealsniveau" (< 5 mg/l). Figur 14 viser, at det analyserede grundvand med nitratindhold over de nævnte udgør selvstændige populationer. En supplerende undersøgelse har vist, at antallet af filtre inden for hovedklasserne, der har dette noget forhøjede nitratindhold, er konstant inden for de år overvågningsprogrammet har fungeret. En vurdering af ændringer i grundvandets nitratindhold må derfor mest hensigtsmæssigt baseres på data fra det nitratpåvirkede grundvand.



**Figur 14.** Nitratindholdet i fire af grundvandets hovedklasser fordelt efter koncentration. Histogrammerne er baseret på det gennemsnitlige indhold pr. filter, og det samlede antal filtre pr. koncentrationsinterval er anført. Grundvandet fra 75% af filtrene med *hårdt vand*, E, indeholder under et mg nitrat pr. liter, og kun fra 15 filtre kommer der vand med over fem mg nitrat pr. liter. Der er i praksis ikke nitrat i *det ionbyttede grundvand*.

Koncentrationsændringen i nitratpåvirket grundvand (> 1 mg/l) gennem de fire års overvågning er derfor vist i figur 15. Udviklingen er vist for tre kategorier af filtre (overvågningstyper), grundvandsreservoirerne og for de fem af grundvandets hovedklasser, som indeholder nitrat. Ved overvågningstyper forstås filtre, i hvilke der indsamles grundvand, som overvejende strømmer nedad (kaldet punktmoniterende), filtre der repræsenterer grundvand, der strømmer tilnærmethorizontalt hen mod en indvindingsboring (linie-moniterende) og filtre, der afspejler det tilstrømmende grundvand i hovedreservoiret (volumenmoniterende, svarende til en indvindingsboring på et vandværk). For reservoirerne er der sondret mellem om de består af sandede aflejringer fra kvartærtiden eller om de er af prækvartær alder. Der er set bort fra grundvand, der stammer fra lerede kvartære aflejringer, for at fokusere på det strømmende grundvand, hvor ændringer i nitratindholdet hurtigst vil kunne registreres.

I kurverne for udviklingen i nitratindholdet indgår kun data om grundvand, hvor der er over 1 mg nitrat pr. liter, idet det er tilstræbt at vise udviklingen, der hvor der er en reel påvirkning.

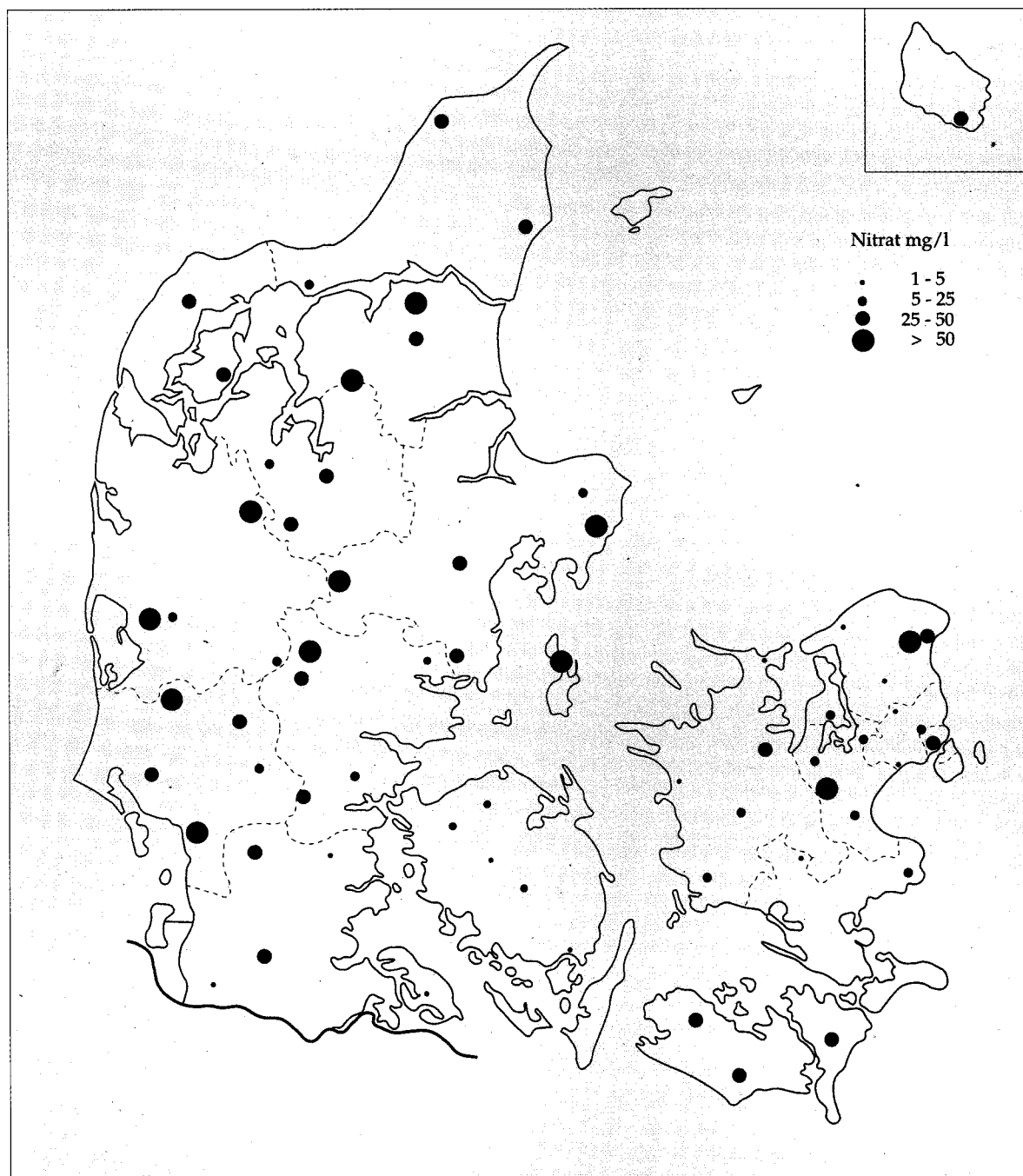


**Figur 15.** Indholdet af nitrat i nitratpåvirket grundvand (> 1 mg/l) som årgennemsnit for overvågningstyper, alderen af de jordarter, der udgør reservoierne, og grundvandets hovedklasser. Se yderligere forklaring i teksten.

Det gennemsnitlige nitratinhold i grundvand fra overvågningsfiltrene dækker over meget store spredninger af de grundlæggende data, se f.eks. Nygaard og Nygaard, 1993. Inden for datagrundlaget for hver af de kurver, som er vist i figur 15, kan der forekomme analyserier med modsat tendens. Graferne er fremstillet for at afklare om der ud af de individuelle variationer kan trækkes hovedtendenser. Styrken i disse hovedtendenser i udviklingen af grundvandets nitratinhold er det store antal individuelle tendenser, som de er baseret på.

De tre sammenstillede grafer i figur 15 eksemplificerer tværgående fortolkningsmuligheder af nitratdata baseret på sorteringer efter funktionsmæssige-, strømningsmæssige- og hydrogeokemiske forhold. Graferne viser samstemmende, at det gennemsnitlige nitratinhold falder med dybden overalt i landet. Geografisk opdelt synes nitratinholdet i grundvand fra de punkt-, linie- og volumenmoniterende filtre som helhed at være konstant, når der ses bort fra etableringseffekter i 1989. Der synes gennemgående at være et konstant højt nitratinhold i de hovedklasser af grundvand, der er karakteristiske for det midt- og vestjyske område, mens der som helhed kan være sket en svag stigning inden for det dybereliggende grundvand i lerprægede områder i Østjylland og på øerne. Også i kvartære sandede reservoier er der som helhed sket en svag men signifikant stigning i nitratinholdet, mens indholdet synes som helhed at være konstant i de prækvartære reservoier.

Størrelsen af ændringen i grundvandets nitratinhold skal ses i forhold til den absolutte koncentration i det nitratpåvirkede grundvand, som det f.eks. er vist i figur 16.



**Figur 16.** Det gennemsnitlige nitratindehold (1989 - 1992) i grundvandet fra de filtre i overvågningsområderne, der har over 1 mg/l nitrat.

Det fluktuerende gennemsnitlige nitratindehold fra år til år i *det bløde forvittringsvand, A*, *det middelhårde grundvand, B*, og *det meget hårde forvittringsvand, C*, er gennemgået for alle overvågningsområder. Dette har vist, at fluktuationerne er et resultat af summation af forskellige individuelle tendenser snarere end reelle regionale årsvariationer.

En tilsvarende analyse af de fire års overvågningsdata for klorid og sulfat viser, at der ikke er sket nogen tydelige ændringer i gennemsnitskoncentrationerne i løbet af de fire års overvågning. Der må for alle disse analyser af udviklingen i stofkoncentrationer gennem tiden tages forbehold for at overvågningsperioden endnu er meget kort i forhold til de komplekse problemer, der søges belyst.

---

### 3 Hovedkomponenterne uden for overvågningsområderne

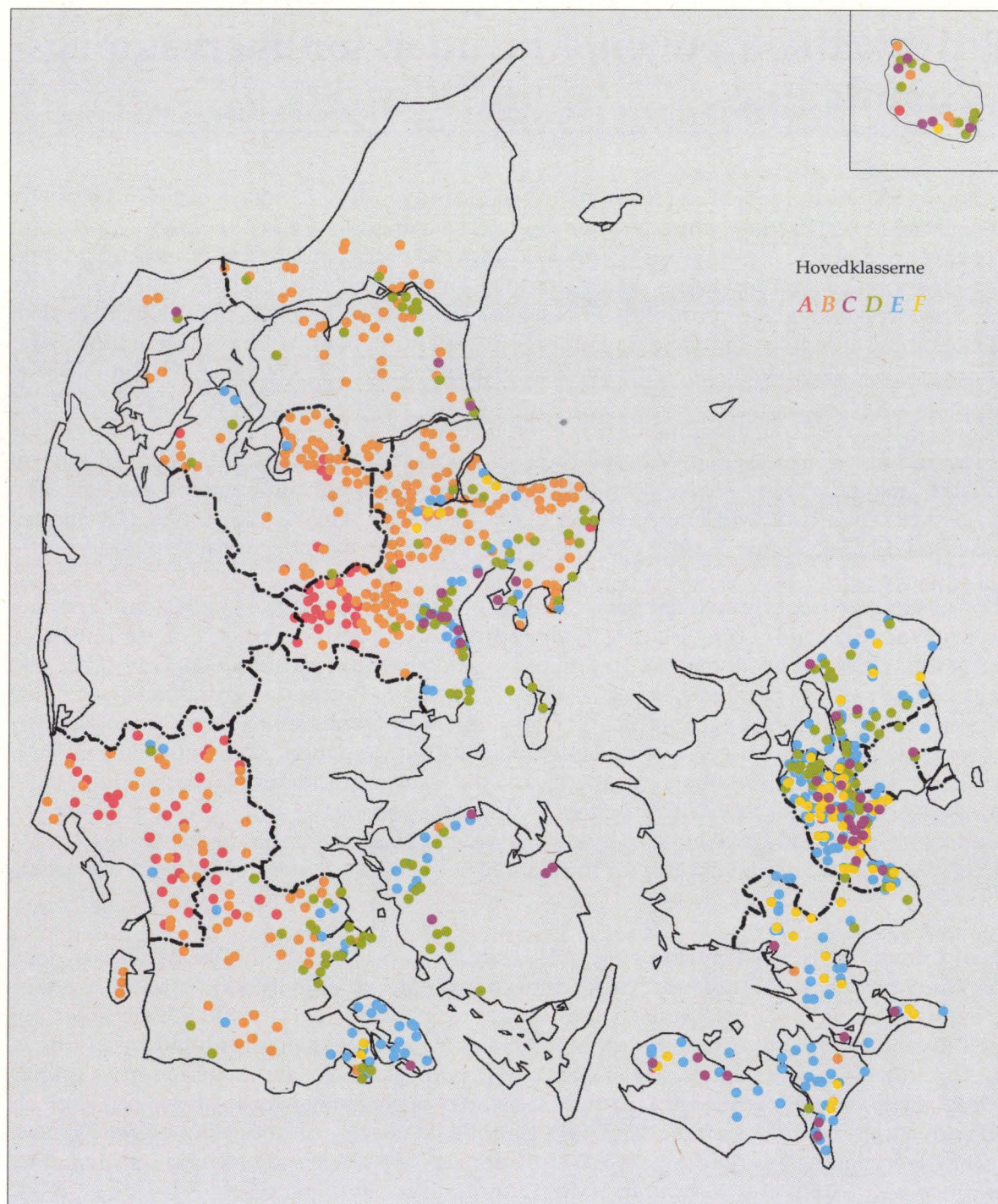
---

Sideløbende med indsamlingen af data om grundvandets kemiske sammensætning i grundvandsovervågningsområderne er der iværksat et omfattende overvågningsprogram for råvand, den såkaldte boringskontrol. Ved boringskontrol analyseres der råvand fra hver enkelt boring på vandværkerne. Analysefrekvenserne spænder fra en gang årligt pr. boring for vandværker med stor produktion til en gang hvert tredje år for de mindre vandværker. Dette analyseprogram omfatter de kemiske hovedkomponenter, samt specialstoffer i det omfang disse skønnes at true eller påvirke grundvandet i lokalområdet, Miljøministeriet 1988.

Mens grundvandsovervågningsområderne er valgt med henblik på en dybtgående overvågning af repræsentative reservoirer i Danmark vil boringskontrollen, ud over at udsige noget om den lokale grundvandskvalitet, skabe grundlaget for en detaljeret landsdækkende beskrivelse af hovedparten af det ferske danske grundvand. Tilsammen vil de to datasæt kunne karakterisere grundvandet fra det dannes til det produceres.

Boringskontrolprogrammet er iværksat i hele landet, og data er under indberetning sideløbende med udfærdigelsen af denne rapport. De oplysninger vedrørende råvandets indhold af sulfat, klorid, magnesium, bikarbonat og calcium fra perioden 1989-1992, som p.t. indgår i DGU's database, er sat i relation til de hovedklasser af grundvand, som blev beskrevet for overvågningsområderne. Ved denne sammenligning (diskriminantanalyse) er over 80% af de boringer, der er undersøgt i forbindelse med vandværkernes råvandskontrol, henført til de allerede opstillede hovedklasser af grundvand på basis af indholdet af de samme stoffer (eksklusiv aggressiv kulsyre, idet dette indhold i reglen ikke er undersøgt), figur 17. De boringer der ikke har kunnet klassificeres har begrænsede datasæt, hvor der f.eks. kun er analyseret for nitrat og klorid, eller hvor der er mangler i identifikationen.

En sammenligning mellem figur 9 og 17 godtgør, at der, trods de åbenbare mangler i arealdækningen af de indberettede boringskontroldata, er en betydelig grad af overensstemmelse mellem de geografiske fordelinger af grundvandets hovedklasser inden for grundvandsovervågningsområderne og råvandet fra vandværkernes indvindingsboringer. Det fremgår, for de områder, der er dækket af boringskontroldata, at områdernes grundvand er godt repræsenteret i grundvandsovervågningsområderne. Beskrivelserne af grundvandets sammensætning i relation til hovedklasser, som det er illustreret i grundvandsovervågningsområderne, må således antages også at være dækkende for råvand og dermed det grundvand, ser pumpes op fra indvindingsboringerne.



**Figur 17.** Brudstykker af Grundvandskort over Danmark. Råvandsdata er her inddelt i de seks hovedklasser af grundvand, som er opstillet på grundlag af data fra overvågningsområderne. Klassifikationen er baseret på indholdet af de samme stoffer, dog her eksklusiv aggressiv kulsyre, som der sjældent analyseres for i råvand. Hver indberettet boring er anført med samme farve som for hovedklasserne i grundvandsovervågningsområderne, se figur 3. Disse data er p.t. under indberetning, og figuren viser derfor status for allerede tilgængelige data.

## Amternes vurderinger af Boringskontroldata

Alle amter har haft boringskontroldata til rådighed for dette års rapporter. Disse data sammenstilles af de fleste amter med drikkevandsoplysninger.

Københavns Amt vurderer at overvågningsområderne er repræsentative for grundvandet i amtet. Amtet karakteriserer drikkevandet efter indholdet af nikkel, sulfat, klorid og fluor, og tilskriver overoppumpning som værende årsag til forhøjede indhold af alle stofferne.

Frederiksborg Amt regionaliserer grundvandet efter en skala fra oxiderende til stærkt reducerende. Den oxiderede grundvandstype har forhøjet indhold af sulfat og calcium og er tydeligt antropogent overfladepåvirket.

Roskilde Amt konstaterer, at nitratindholdet i knapt tre procent af borerne overskrider grænseværdien for drikkevand. Derudover er det grænseværdierne for drikkevandets indhold af fosfor, fluorid og permanganattallet, der hyppigst er overskredet.

Storstrøms Amt vurderer, at grundvandsovervågningsområderne er repræsentative for grundvandsforholdene i amtet med undtagelse af Møn. Der er foretaget en regionalisering af grundvandet i amtet på basis af komponenter, der afspejler redoxforholdene.

Bornholms Amt ser et stigende sulfat- og calciumindhold i grundvandet som et muligt varsel om fremtidige nitratproblemer.

Fyns Amt finder, at grundvandsovervågningsområderne kun repræsenterer en del af amtet, idet hovedreservoirerne inden for disse områder er velbeskyttet mod nitrat. Uden for overvågningsområderne indvindes der flere steder nitratholdigt grundvand. Amtet har udfærdiget problemområdekort for et stort antal stoffer.

Sønderjyllands Amt påpeger sammenhængen mellem nitratomdannelse, pyritoxidation og frigivelse af sulfat til grundvandet. Overvågningsområderne repræsenterer udmærket grundvandet i amtet.

Vejle Amt vurderer, at grundvandsovervågningsområderne er udmærket repræsentative for amtets grundvand, undtagen i kystnære områder, hvor der er marin påvirkning. Ved Horsens, Vejle og Kolding forekommer der marint residualvand i dybe ådale.

Århus Amt klassificerer grundvandet efter indholdet af fosfat, klorid, sulfat, natrium og kalium. Det faldende nitratindhold i drikkevandet i amtet skyldes tekniske omlægninger; på langt sigt kan problemet kun løses ved at mindske tilførslen til grundvandet fra overfladen.

Viborg Amt finder at overvågningsområderne er repræsentative for grundvandet i amtet. Amtet ser højt sulfatindhold i grundvandet som et resultat af landbrugspåvirkning, idet nedbrydningen af nitrat på overgangen mellem oxisk og anoxisk grundvand medfører nedbrydning af svovlholdige forbindelser.

Nordjyllands Amt har kortlagt nitratindholdet i grundvandet. En betydelig del af grundvandets nitratindhold vurderes at kunne stamme fra byområder, hvorfor amtet mener, at disse skal inddrages i beskyttelsestiltag.

Der henvises til amternes rapporter for 1993, hvor det citerede er uddybet (se litteraturlisten).



## 4 Specialanalyser i overvågningsområderne

Specialanalyser omfatter uorganiske sporstoffer og organiske mikroforureninger, herunder pesticider. I overvågningsprogrammet analyseres der for disse stoffer én gang hvert tredje år, idet der årligt analyseres grundvandsprøver fra en tredjedel af filtrene. For en del filteres og stoffers vedkommende er der nu målt flere gange, dels fordi programmet er forløbet i fire år, dels fordi der i en del tilfælde, især hvor der er påvist organiske mikroforureninger, er foretaget ekstra målinger.

### Uorganiske sporstoffer

De uorganiske sporstoffer, som behandles i denne rapport, er angivet i tabel 7.

Stof	Antal analyser			Analyseresultater over detektionsgrænsen		
				Gennemsnitsindhold i µg/l	Indhold	
	1989-92	1992	Ialt		Over µg/l	Antal
Aluminium (Al)	711	267	978	235,	200	105
Arsen (As)	930	390	1320	2,7	50	1
Barium (Ba)	766	96	862	98,	100	265
Bly (Pb)	304	94	398	1,6		
Bromid (Br)	735	88	823	136,		
Cadmium (Cd)	375	155	530	0,14	5	1
Cyanid (CN)	65	7	72	7,6		
Kobber (Cu)	649	262	1111	1,5		
Krom (Cr)	725	316	1041	0,43		
Kviksølv (Hg)	115	11	126	0,007		
Litium (Li)	716	89	805	9,0		
Molybdæn (Mo)	566	58	624	1,7		
Nikkel (Ni)	944	351	1295	4,3	20	49
Strontium (Sr)	777	100	877	843,		
Tritium (Tr)	417	51	468	22,		
Zink (Zn)	761	303	1064	22,	100	33

**Tabel 7.** Nøgletal for de uorganiske sporstoffer omfattet af grundvandsovervågningsprogrammet, som er behandlet i denne rapport. Tritium, som er en radioaktiv isotop af brint; henfalder langsomt, hvorfor indholdet kan benyttes til en grov datering af grundvandet. Tritium er derfor inddraget flere steder i rapporten.

Selv om grundvand har et sporstofindhold over det højst tilladte i vandværksvand, indebærer dette ikke nødvendigvis, at indholdet er for højt i drikkevand inden for området, idet sporstofferne til dels kan tilbageholdes i vandværksfiltrene.

"Drikkevandskravet" anvendes her for at angive en relativ størrelsesorden og for at fokusere på potentielt problematiske områder.

Til koncentrationsoverskridelserne over de højest tilladte eller vejledende indhold af stofferne (i vandværksvand) knyttes følgende bemærkninger:

- Høje indhold af aluminium (200 µg/l), er påvist mange steder i landet. Disse påvisninger i områder med forskellig grundvandskemi kan skyldes, at opløseligheden af aluminium er meget pH-afhængig, uden at der dog kan påvises nogen tydelig sammenhæng. Opløseligheden er lavest ved pH 5,8-6,2, alt efter vandets øvrige sammensætning, og stigende for såvel lavere som højere pH.
- Overskridelsen af grænseværdien på 50 µg/l for arsen i vandværksvand er konstateret i en boring i Nørrebroparken i København. Arsenkoncentrationen har været stigende i de to filtre i denne boring.
- Det meget store antal overskridelser af den vejledende grænseværdi for bariumindholdet i drikkevand (100 µg/l) afspejler antagelig, at dette indhold ligger tæt ved grundvandets normale indhold. Som påvist af Århus Amt er indholdet af barium ofte relativt for højt i forhold til sulfatindholdet. Årsagen hertil kendes ikke.
- Cadmium er påvist i koncentrationer over drikkevandskravet på maksimalt 5 µg/l i det landbrugsdominerede overvågningsområde Grindsted. Overskridelsen vurderes at skyldes nedsivning fra jordoverfladen.
- De mange overskridelser af drikkevandskravet på højest 20 µg/l for nikkel er målt, såvel hvor der tidligere har været overskridelser, som i boringer der ikke tidligere har været undersøgt. Overskridelserne forekommer på Sjælland og i Jylland syd for Limfjorden.
- Også overskridelserne af grænseværdien for zink i drikkevandet (100 µg/l) består af både bekræftelser af tidligere overskridelser og nye analyser. Disse overskridelser er jævnt fordelt over hele landet.

### Koncentrationer og spredninger

For nogle af de uorganiske sporstoffer er der ganske betragtelige forskelle i indholdet i prøver af grundvand fra samme filter. Denne iagttagelse er også gjort af mange amter. For at afklare, hvorledes disse variationer skal fortolkes, er spredningerne undersøgt for alle stofferne (ved hjælp af variationskoefficienter, som er spredningen delt med gennemsnitsværdien, der gør forskellene i absolutte koncentrationer sammenlignelige fra stof til stof).

Undersøgelsen viser, at spredningen er meget stor for aluminiumsmålingerne. Arsen, bly, cadmium, nikkel, zink, kobber og krom har mellemstore spredninger, og litium, molybdæn, barium, strontium og kviksølv har de laveste spredninger.

På grund af de forholdsvis store spredninger kan der kun lægges begrænset vægt på enkeltobservationer. Det er dog bemærkelsesværdigt, at gennemsnittet af alle analyser for disse stoffer ændrer sig forholdsvis lidt fra målerunde til målerunde. For mange stoffer gælder, at de filtre, der ydede grundvand med relativt højt indhold ved den første analyserunde, også gjorde det ved den anden.

Fra amternes side er der overvejende enighed om, at data for arsen, krom, nikkel, og cadmium er tilfredsstillende pålidelige og ensartede. Flere amter vurderer, at resultaterne for bly, kobber og aluminium omvendt har en meget stor spredning. Spredningen omfatter såvel variationen i grundvandets indhold i løbet af en periode, som den samlede usikkerhed knyttet til prøveindsamling og analyseteknik. Flere amter understreger behovet for tidsserier for de uorganiske sporstoffer.

Overvågning	Stof	As	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Cr	Hg	Mo	Li	Al	Ba	Br	Sr
Punktmoniterende		2,4	0,6	82	4,0	20	1,2	0,5	4,3	1,1	7,0	309	117	101	412
Linie- eller volumenmoniterende		2,2	0,6	59	2,8	13	0,8	0,4	5,5	1,4	9,0	154	97	147	950
Volumenmoniterende		2,2	1,1	27	4,9	21	0,9	0,2	4,1	1,6	9,7	4	74	132	1061
Sekundært magasin		2,5	0,5	74	3,6	17	1,1	0,42	4,2	1,0	6,6	343	121	99	508
Øvre hovedmagasin		2,1	0,9	67	3,0	10	0,9	0,40	5,8	1,4	7,7	181	103	121	534
Nedre hovedmagasin		2,4	0,6	44	3,6	19	1,0	0,3	4,7	1,5	11	131	80	168	1346
Frie grundvandsspejl		1,6	0,7	114	5,3	21	1,1	0,4	7,4	1,0	5,6	229	87	123	517
Artesiske forhold		2,8	0,7	25	1,7	12	0,9	0,3	4,2	1,6	11	161	108	141	1002

**Tabel 8.** Gennemsnitsindhold af de uorganiske sporstoffer inden for hydrogeologisk funktionsopdelte grupper af grundvandsfiltre. Værdierne, der er gennemsnit for målinger over detektionsgrænsen, er i  $\mu\text{g/l}$  undtagen for cadmium og kviksølv, som er angivet i  $\text{ng/l}$ . Sporstofferne er angivet ved deres kemiske symboler, se tabel 7. Grundvandsfiltrene er grupperet efter om de er punkt-, linie- eller volumenmoniterende, se forklaring i forbindelse med figur 15. Som alternativ er filtrene også sorteret efter om de er etableret i de overfladenære sekundære reservoirer, det øvre hovedreservoir eller det nedre hovedreservoir. Endelig er filtrene sorteret efter om de repræsenterer reservoirer med frit grundvandsspejl eller artesiske trykforhold.

### Forhold til fysiske parametre

Koncentrationerne af de uorganiske sporstoffer synes, som angivet i tabel 8 og forklaret nedenfor, at afspejle grundvandets strømnings- og dybdemæssige forhold samt måske indirekte, om der er frit grundvandsspejl eller artesiske forhold.

Sporstoffer med højere gennemsnitsindhold i grundvand fra punktmoniterende end fra linie-moniterende filtre (cadmium, nikkel, zink, kobber, krom, aluminium og barium) må have begrænset mobilitet og udfældes eller tilbageholdes relativt hurtigt, tabel 8.

Indholdet af stoffer med stor mobilitet og ringe tendens til udfældning eller tilbageholdelse, som litium er relativt stort i grundvand fra de volumenmoniterende filtre. Når der yderligere er højere gennemsnitsindhold af f.eks. nikkel og zink i grundvand fra disse filtre end fra de liniemoniterende, må det skyldes, at de volumenmoniterende borerer dels afdræner et større område, og dermed også er mere udsatte for forurening.

De uorganiske sporstoffers fordeling i forhold til reservoirtype afspejler overvejende en dybderelation. Gennemsnitskoncentrationen af cadmium, krom, aluminium og barium er højest i de terrænnære reservoirer og falder ned mod hovedreservoiret, mens litium-, molybdæn- og bromidindholdet omvendt er højest i hovedreservoiret.

De relativt høje gennemsnitsindhold af nikkel og zink i grundvand fra såvel de mest terrænnære som de dybest placerede filtre synes at afspejle flere forhold. I det dybtliggende grundvand skyldes det høje indhold påvirkning fra jordarter med højt indhold, som f.eks. tertiært ler. Det terrænnære grundvand er derimod præget af forvitring og antropogene påvirkninger.

Hvor grundvandsspejlet er frit er der overvægt af grundvand med oxiderende forhold. Her er koncentrationen af cadmium, nikkel, kviksølv og aluminium betydeligt højere end i reservoirer med artesiske forhold. Under artesiske forhold er de kemiske betingelser i grundvandet overvejende reducerende, hvorfor indholdet af det redoxfølsomme arsen her er særligt højt.

Indholdet af de uorganiske sporstoffer synes generelt ikke at være systematisk fordelt i forhold til jordartstype, boringernes tekniske udformning, pumpetyper eller antallet af analyser fra samme filter. Heller ikke den geografiske fordeling synes direkte at afspejle en årsagssammenhæng.

### De øverste filtre i borerne

Det gennemsnitlige indhold af uorganiske sporstoffer i grundvandet falder med dybden i let gennemstrømmelige jordarter, så som sand. I grundvand indsamlet i moræneler, som normalt er vanskeligt gennemstrømmelige, er indholdet af disse stoffer generelt lavere, og der er mindre variation med dybden.

Som helhed er det gennemsnitlige indhold af uorganiske sporstoffer relativt størst i grundvand fra de mest overfladenære punktmoniterende filtre, når de filtre, de sammenlignes med, er installeret under geologisk sammenlignelige forhold.

For at belyse forholdet mellem den mulige antropogene tilførsel af uorganiske sporstoffer til grundvandet og det stofindhold, som er af geologisk oprindelse, er der sammenstillet data fra de øverste, punktmoniterende filtre i de borerer, der indgår i overvågningsprogrammet. Stofindholdet i grundvandet fra filtrene er sat i forhold til den type geologisk lagserie, der ligger oven over filtret. Det er med andre ord sat i forhold til de jordarter, som grundvand skal passere igennem under dets dannelse. Der er altså gjort den antagel-

se, at grundvandet overvejende strømmer lodret til disse filtre, at data herfra bedst beskriver stofindholdet i det nydannede grundvand og giver det klareste billede af en eventuel antropogen tilførsel.

Data for dette overfladenære grundvands indhold af en del uorganiske sporstoffer under dæklag af henholdsvis moræneler og kvartært sand er vist i tabel 9. Alle punktmoniterende filtre inden for overvågningsområderne, som er installeret under rene sandlag, ligger i Midt-, Sønder- og Vestjylland, hvor lagene er blevet udvasket i perioden under og efter sidste istid. Indholdet af nikkel, zink og kobber er markant højere i grundvand under dæklag af sand end under ler. Der er altså en tendens til, at indholdet af uorganiske sporstoffer er relativt højt i overfladenært grundvand med god strømningsforbindelse gennem sandlag fra jordoverfladen.

Uorganiske sporstoffer, i µg/l	Under dæklag af Moræneler		Under dæklag af Kvartært Sand	
	gennemsnit, 22 filtre	maximum	gennemsnit, 32 filtre	maximum
Arsen	3,17	10,7	2,47	6,70
Bly	0,69	0,71	0,38	0,89
Cadmium	0,02	0,05	0,22	1,39
Nikkel	1,34	2,48	10,3	57,0
Zink	2,23	3,10	37,6	319,
Kobber	1,57	3,14	3,31	46,0
Krom	0,31	0,93	0,58	1,64

**Tabel 9.** Indholdet af uorganiske sporstoffer i grundvand fra de mest overfladenære, punktmoniterende grundvandsfiltre. Gennemsnitlige og maksimale indhold af stofferne er angivet i mikrogram pr. liter for filtre placeret under dæklag af hhv. moræneler og kvartært sand.

Ekstraktionsforsøg fra selve jordarterne, som er gennemført af Dansk Teknologisk Institut og DGU i fællesskab, tabel 10, viser, at der kan udtrækkes en større mængde af alle analyserede uorganiske sporstoffer fra moræneler end fra kvartært sand. Af hensyn til sammenligneligheden med tabel 9 er der i tabel 10 kun medtaget data fra Midt-, Sønder- og Vestjylland. Når der således er et relativt stort indhold af uorganiske sporstoffer i grundvandet, der hvor jordarternes kildestyrke er lav (i smeltevandssand), må det forventes, at der er en anden væsentlig kilde til stofferne. Det vurderes at denne kilde kun kan være antropogen.

Uorganisk sporstofindhold i jordarter, i µg/g	Moræneler 12 analyser	Smeltevandssand, 10 analyser	
		Gennemsnit, 0-12,5m.u.t.	Øverste meter under terræn
Arsen	1,53	0,4	1,41
Bly	2,46	0,75	2,7
Cadmium	0,07	<0,01	<0,03
Nikkel	4,96	0,65	0,53
Zink	13,48	2,16	3,4
Kobber	3,50	0,59	1,37
Krom	6,73	1,32	1,8

**Tabel 10.** Ekstraktionsforsøg af moræneler og smeltevandssand fra Midt-, Sønder- og Vestjylland. Der kunne ekstraheres mest af samtlige analyserede uorganiske sporstoffer fra moræneleret. Forsøget blev foretaget med varm fortyndet salpetersyre (Dansk Standard nr. 259).

#### Sammenligning med grundvandets hovedklasser.

Som det fremgår af ovenstående gennemgang er de dominerende forklarende faktorer, der er afgørende for fordelingen og indholdet af uorganiske sporstoffer følgende: redoxforholdene, jordarternes gennemstrømmelighed, jordarternes udvaskningspotentiale (kildestyrke), nærheden til overfladen og antropogen påvirkning. De enkelte stoffer fordeler sig imidlertid i mange tilfælde ikke efter én forklaring alene.

For at belyse, hvad der er den eller de mest betydende faktorer for størrelsen af indholdet af de uorganiske sporstoffer, er indholdet i forhold til grundvandets hovedklasser undersøgt, tabel 11.

Ved at sammenholde karakteristikken af de enkelte stoffers forekomstmønster, med fordelingen i grundvandets hovedklasser, er det muligt at overskue, hvilke faktorer, der hovedsagelig styrer fordelingen af stofindholdet. De fremhævede værdier i tabel 11, viser disse overordnede relationer, der som fællestræk opdeler de uorganiske sporstoffer i to grupper, som afspejler henholdsvis geologisk (overvejende marin) oprindelse og antropogen påvirkning. Disse hovedtendenser er sammenfattet i tabel 12, sammen med andre kendte og væsentlige elementer til forklaring af de uorganiske sporstoffers forekomst i grundvandet.

Indholdet af en del af de uorganiske sporstoffer er, som det fremgår af tabellen, stort i reduceret grundvand, mens andre er særligt mobile og indholdet af dem særligt højt under oxiderede forhold. Marine lersedimenters prægning af grundvandet skyldes deres dannelse under reducerende forhold. Spildevandsslam er en antropogen analog til de marine lersedimenter og præger grundvandet tilsvarende. Et stort indhold af de uorganiske sporstoffer, der kan stamme fra lerede, marine sedimenter, forekommer også i kul, der ligeledes er dannet under reducerende forhold, samt naturlige fosfatforekomster, der også er marine dannelser.

Hovedklasser	As	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Cr	Hg	Mo	Al	Ba	Li	Sr	Br
A	0.7	0.5	24.1	6.9	25.1	1.1	0.5	9.3	0.3	226.3	112.4	2.9	147	69.6
B	1.7	0.5	31.5	1.2	17.0	0.8	0.3	4.0	1.2	55.8	72.4	4.0	443	107
C	1.4	1.1	30.1	4.6	20.1	1.6	0.3	4.4	2.3	47.1	111.1	12.4	994	172
D	1.6	0.6	34.1	2.4	13.7	0.9	0.5	5.0	1.7	212.9	96.1	7.6	662	114
E	4.0	0.8	15.6	0.9	6.9	0.6	0.2	3.6	1.6	95.8	96.2	12.1	1402	96.9
F	3.6	0.3	9.8	0.8	5.8	0.6	0.2	5.4	1.2	52.7	184.5	24.4	9906	111

**Tabel 11.** Det gennemsnitlige indhold af de uorganiske sporstoffer i grundvandets hovedklasser. Særlig markante (høje) gennemsnitsindhold er fremhævet med farve (for cadmium dog særligt lave indhold). For filtre med flere analyser indgår gennemsnittet i beregningen, idet der kun er anvendt én værdi pr. filter. Analyser, hvor indholdet har været mindre end detektionsgrænsen, indgår med detektionsgrænsens værdi. Antallet af analyser fremgår af bilag 6. Cadmium og kviksølv er angivet i ng/l, mens alle øvrige angivelser er i µg/l.

#### Amternes vurderinger

En del amter har vurderet grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer inden for overvågningsområderne i forhold til amtet som helhed.

I den sydlige del af Københavns Amt udgør nikkel et problem for drikkevandskvaliteten. I 1992 varierede nikkelindholdet i drikkevandet fra fire vandværker mellem 27 og 55 µg/l. Nikkelindholdet tolkes som et resultat af grundvandssænkning og den deraf følgende oxidation af pyrit.

I Frederiksborg Amt anses nikkel ikke for at udgøre noget kvalitetsmæssigt problem for grundvandet.

Inden for Roskilde Amt er der lokalt problemer med for højt nikkelindhold i grundvand og drikkevand som følge af grundvandssænkning. Særligt problematisk er nikkelindholdet i et flere kilometer bredt bælte langs Køge Bugt.

Fyns Amt refererer en undersøgelse i Odense Kommune. Indholdet af langt de fleste af de uorganiske sporstoffer er på samme niveau som i overvågningsområderne. Dog er aluminium indholdet betydeligt lavere, mens bly- og borindholdet generelt er lidt højere i vandforsyningsboringerne. Endelig nævner amtet at drikkevandskravet for sølv og bor er overskredet enkelte steder i grundvandet.

Stof	Høje indhold afspejler ...	Grundvand med høje indhold er ...	Dominerende kilder	Bemærkninger
Arsen	lavt redoxpotentiale	gammelt og dybtliggende	sulfider, marine leraflejringer	
Bly	kildestyrke og lavt redoxpotentiale	gammelt og dybtliggende, samt overfladenært i Østdanmark	benzin, handelsgødning, slam og flyveaske	
Cadmium	overfladenærhed	ungt og både landbrugs- og bypræget	flyveaske, slam og handelsgødning	relativt lavt i grundvandets hovedtype 6 på grund af højt redoxpotentiale
Nikkel	overfladenærhed, antropogen påvirkning og lavt pH (<6,5)	ungt	pyritoxidation, slam og flyveaske	
Zink	lavt pH (<7,0), overfladenærhed med antropogent præg og højt redoxpotentiale	ungt og overfladenært	slam, handelsgødning og husdyrgødning	grundvandssænkning kan frigøre Zn fra sulfidminerale
Kobber	lavt pH (<6,8) og overfladenærhed	ungt	slam, flyveaske og husdyrgødning	kobber gives sammen med Zn og jern som kosttilskud til svin
Krom	lavt pH (<8,0) og kildestyrke (moræneler), og højt redoxpotentiale	ungt	forkromning og garvning, flyveaske og slam	kilderne er mangfoldige
Kviksølv	lavt pH (<5,7)	ungt og surt	flyveaske, kemisk forarbejdningsindustri, slam og handelsgødning	
Molybdæn	højt pH (>7,1)	ungt og overfladenært	slam og flyveaske	grundvandsafsænkning kan føre til oxidation af molybdændisulfid
Litium	marin kildestyrke og ionbytning	gammelt	marint ler	litium er det mest mobile uorganiske sporstof
Aluminium	lavt pH og kildestyrke (moræneler)	ungt og surt	ler	
Barium	marin kildestyrke antropogen kildestyrke	gammelt og marint påvirket ungt og overfladenært	marint ler flyveaske, slam og handelsgødning	
Bromid	antropogen kildestyrke	ungt og overfladenært	vejsalt og benzin	
Strontium	marin kildestyrke	gammelt	karbonater	

**Tabel 12.** Væsentlige elementer til forklaring af fordelingen af de uorganiske sporelementer i grundvandet, baseret på en sammenstilling af resultaterne af nærværende undersøgelse og Adriano, 1986. De mange individuelle forhold for stofferne karakteriserer overordnet grundvandet efter om det er marint- eller antropogent præget. Derfor er indholdet af mange af de uorganiske sporstoffer særligt højt i de samme hovedklasser af grundvand, jævnfør tabel 11.



## Organiske mikroforureninger

Analyseprogrammet for organiske mikroforureninger i grundvandet omfatter femten stoffer fordelt på følgende grupper: Aromatiske kulbrinter (aromater), halogenerede alifatisk kulbrinter (klorerede opløsningsmidler) fenol og alkylfenoler. I analyseprogrammet indgår også samleparametrene NVOC (ikke flygtigt organisk stof), AOX (adsorberbare organiske halogener), VOX (flygtige organiske halogenforbindelser) samt anionaktive detergenter.

Amterne har hidtil hvert år skullet gennemføre analyse for organiske mikroforureninger i grundvandet i en trediedel af de overvågningsboringer, der har filtre, som er egnede til sådanne analyser. Med indberetningen af analyser i forbindelse med grundvandsovervågningen i år bør der nu foreligge mindst én analyse for organiske mikroforureninger fra alle egnede filtre og genbestemmelse for en del af overvågningsboringerne. Problemerne i de enkelte overvågningsområder med hensyn til organiske mikroforureninger er udførligt behandlet i to tidligere rapporter om grundvandsovervågningen, som DGU har publiceret, Nygaard (red.) 1991 og DGU 1992, og analyserne for 1992 har ikke ændret ved dette mønster.

Sammenligningen af analyserne fra år til år og fra amt til amt har givet vanskeligheder på grund af betydelige forskelle i laboratoriernes detektionsgrænser. I vandmiljøplanens overvågningsprogram, Miljøstyrelsen 1989, er der ikke stillet specifikke krav til detektionsgrænser for de organiske mikroforureninger, og i praksis svinger laboratoriernes detektionsgrænserne fra 0,002 til 0,2 µg/l. Med de nye retningslinier, der er gældende for grundvandsovervågningen i perioden 1993 til 1997, er der taget højde for problemet ved at kræve en detektionsgrænse for de enkelte stoffer på 0,05 µg/l.

Godt 400 overvågningsboringer/-filtre er undersøgt for indhold af organiske mikroforureninger og i tabel 13 er givet en oversigt over antallet af påviste mikroforureninger. Opførelsen er foretaget for hver enkelt stof, og stoffet regnes som "påvist" når koncentration er lig med eller over den af laboratoriet angivne detektionsgrænse.

For perioden 1989-91 er der i tabel 13 vist, i hvor mange overvågningsboringer/-filtre koncentrationen af det pågældende stof lå over 0,1 µg/l. De 0,1 µg/l svarer til den detektionsgrænse for klorerede opløsningsmidler, som de involverede laboratorier må forventes at kunne leve op til, idet den vejledende grænseværdi for klorerede opløsningsmidler i drikkevand er sat til 1 µg/l. Tallene i denne kolonne kan betegnes som de foreløbigt sikre påvisninger. I kolonnen "Gen-analyseret" i tabel 13 er angivet antallet af nye analyser fra overvågningsboringer/-filtre, hvori det pågældende stof tidligere er påvist. Tallene i kolonnen "Gen-påvist" viser, at koncentrationen for de fleste af stofferne i de nye prøver er under de angivne detektionsgrænser. Summen af "Gen-påviste" og "Nye påvisninger" udgør det totale antal påvisninger i 1992. Det lave antal genpåvisninger kan skyldes reelle variationer i koncentrationerne af de pågældende stoffer i grundvandet, eller at de tidligere påvisninger har ligget tæt på de angivne detektionsgrænser, og derfor er tvivlsomme.

Undersøgelsen af de 6 alkylfenoler, der indgår i grundvandsovervågningen, gav ialt 11 påvisninger i 1989-91 fordelt med 1-3 påvisninger pr. stof. I 1992 er der ikke påvist alkylfenoler over de angivne detektionsgrænser, 0,03-0,05 µg/l.

Stof	1989-91		1992			Højeste indhold $\mu\text{g/l}$
	Påvisninger ialt $>0,1 \mu\text{g/l}$		Genanalyseret	Genpåvist	Nye påvisninger	
Aromater:						
Toluen	36	17	11	2	4	6,6
Benzen	56	32	30	17	5	1,5
p-Xylen	18	2	0	0	0	0,19
m-Xylen	14	2	0	0	0	0,50
o-Xylen	8	4	3	1	8	0,80
m+p Xylen	7	5	6	4	8	0,40
Naftalen	26	2	3	0	0	0,25
Klorerede opløsningsmidler:						
Triklormetan	25	19	20	13	5	7,2
Tetraklormetan	8	2	3	0	3	1,6
Trikllorethylen	12	9	7	6	5	4,3
Tetrakllorethylen	5	4	4	4	2	1,0
1,1,1 Trikllorethan	36	6	17	2	2	0,83
Fenol	20	12	6	0	1	0,34

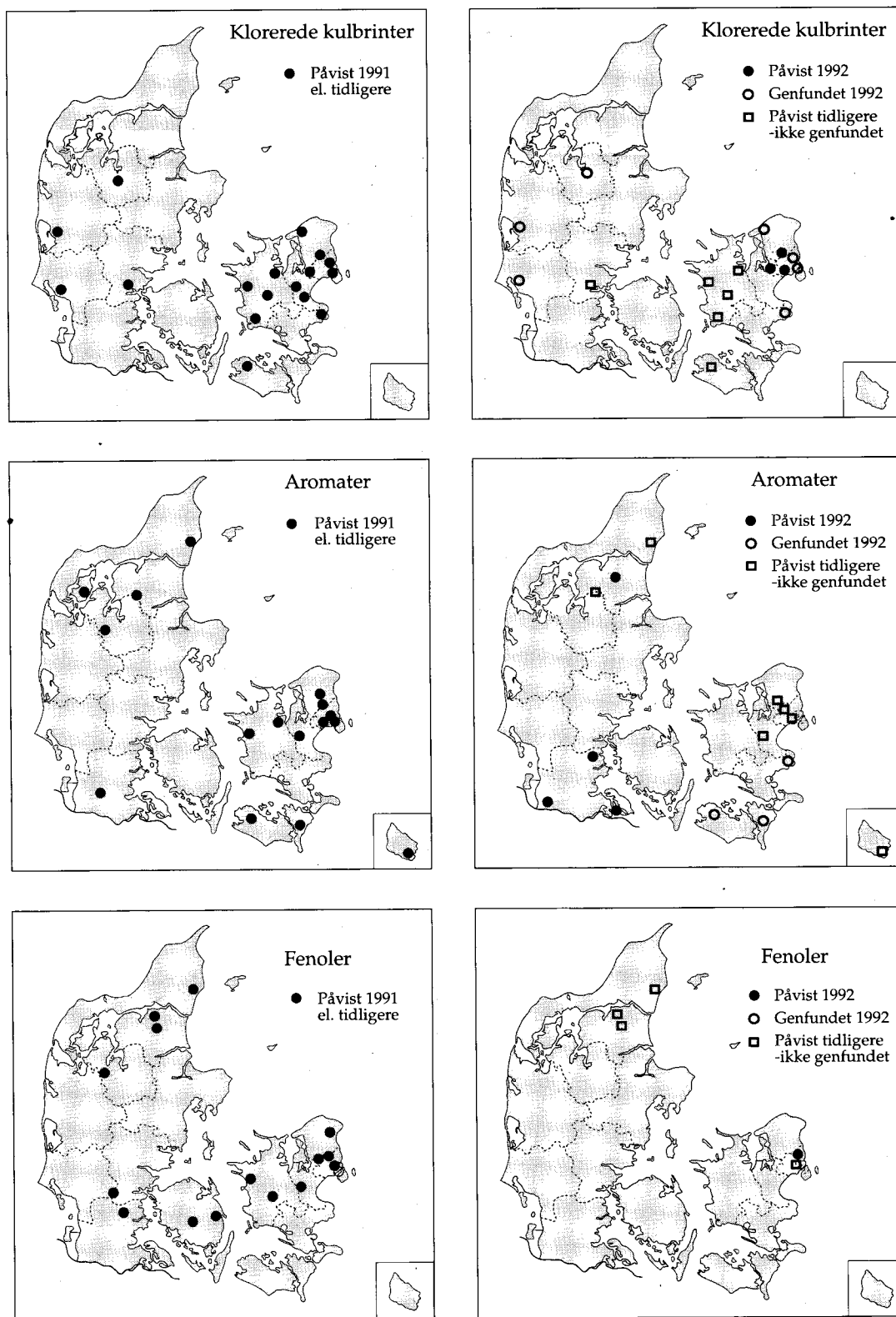
**Tabel 13.** Antal overvågningsboringer/-filtre hvor der er påvist organiske mikroforureninger (eksklusive alkylfenoler). Hvert filterniveau i en given overvågningsboring tælles for sig, det vil sige at en boring kan tælle med flere gange. "Påvist" angiver at koncentrationen af stoffet er lig med eller over den af laboratoriet angivne detektionsgrænse.

Der er gennemført 82 analyser for adsorberbart organisk halogen, AOX, i 1992, og heraf lå resultaterne i de 40 analyser under detektionsgrænsen,  $1-3,8 \mu\text{g/l}$ . Analyseresultaterne for AOX over detektionsgrænsen fordelte sig som følger: 13 ( $3,8-7 \mu\text{g/l}$ ), 16 ( $7-15 \mu\text{g/l}$ ), 9 ( $15-30 \mu\text{g/l}$ ) og 4 (over  $30 \mu\text{g/l}$ ). Analyserne for AOX i perioden 1989 - 91 viste nogenlunde samme mønster.

For 1992 er der gennemført 83 analyser i flygtigt organisk halogen, VOX, og heraf lå kun et resultat over detektionsgrænsen på  $0,05 \mu\text{g/l}$ . Den pågældende prøve viste et VOX indhold svarende til  $3,3 \mu\text{g/l}$  klorid og et indhold på  $4,6 \mu\text{g/l}$  trikllorethylen.

Analyser af anioniske detergenter er gennemført for 113 overvågningsboringer/filtre i 1992. Heraf lå resultaterne i de 46 analyser over de angivne detektionsgrænser. De fleste laboratorier har benyttet en detektionsgrænse på  $10 \mu\text{g/l}$ , men for andre laboratorier svinger detektionsgrænsen mellem 4 og  $100 \mu\text{g/l}$ . Den naturlige baggrund af anioniske detergenter kan være op ca.  $10 \mu\text{g/l}$ , og analyseresultaterne viser at 36 af de analyserede prøver havde et indhold over denne grænse, heraf 4 prøver over  $40 \mu\text{g/l}$ .

Påvisningen af mikroforureninger indenfor tre forskellige stoftyper i de enkelte grundvandsovervågningsområder er vist på figur 18. Som det ses er det især i hovedstadsregionen, at forureningen med alle tre stoftyper findes, og det er også her man træffer den



**Figur 18.** Påvisning af organiske mikroforureninger i grundvand i overvågningsboringer. Kortene er forenkede, idet områder med signaturen "Påvist 92" i nogle tilfælde også rummer boringer med "Ikke gen-påvist". Områder med signaturen "Genpåvist" kan tilsvarende også rumme boringer med "Ikke gen-påvist" samt boringer med nye påvisninger.

største genpåvisningshyppighed. Hvert grundvandsovervågningsområde tæller flere boringer og derfor er antallet af markeringer på figur 18 ofte mindre end antal påvisninger vist i tabel 13.

Udover overvågningsboringerne indberetter amterne også analyser af råvandet fra indvindingsboringerne for de større vandværker. Resultaterne af disse indberetninger for perioden op til 1991 er udførligt omtalt i Nygaard (red.), 1991, og DGU, 1992. For 1992 er det kun Fyns amt, som omtaler problemer med organiske mikroforeninger og i samtlige tilfælde drejer det sig om klorerede opløsningsmidler. Følgende stoffer og maksimumskoncentrationer er målt i forskellige indvindingsboringer for tre vandværker på Fyn: Tetra-klorethylen (0,06 µg/l), triklorethylen (1,68 µg/l), diklorethylen (11 µg/l) og vinylklorid (0,066 µg/l).

### Pesticider og klorfenoler

I grundvandsovervågningsprogrammet analyseres der for et mindre antal pesticider og klorfenoler. Disse stoffer bliver her vurderet i sammenhæng, da klorfenoler kan stamme fra nedbrydning af pesticider af fenoxysyretypen. De otte pesticider i måleprogrammet, tabel 14, er udvalgt blandt hundreder af anvendte stoffer, fordi de har været anvendt hyppigt gennem en lang årrække, og fordi de er relativt mobile. Nogle amter har her ud over målt for indhold af enkelte andre pesticider.

Der er ikke fastsat en grænseværdi for indhold af pesticider i grundvand, men pesticider er uønskede. Påvisning af pesticider i grundvand betyder ikke nødvendigvis, at de også generelt forekommer i drikkevandet. Der må højst være 0,1 µg/l af et enkelt pesticid i drikkevand. Hvis der er flere pesticider i drikkevandet må de tilsammen højst udgøre 0,5 µg/l.

### Påvisning af pesticider i grundvand og råvand

Overvågningsområderne		
Stofstype	Påvisninger	Indhold
<b>Fenoxysyrer:</b>		
Diklorprop	20	< 0.010 - 25.000 µg/l
Meklorprop	16	0.010 - 0.430 µg/l
MCPA	5	0.010 - 1.040 µg/l
2,4-D	2	0.030 - 0.230 µg/l
<b>Triaziner:</b>		
Atrazin	7	0.020 - 21.500 µg/l
Simazin	4	0.160 - 0.870 µg/l
<b>Fenolmidler:</b>		
Dinoseb	3	0.020 - 0.058 µg/l
DNOC	2	0.035 - 0.294 µg/l
<b>Ialt: 59 enkeltstoffer (påvist i grundvand fra 44 filtre)</b>		

**Tabel 14.** Påvisninger og indhold af de 8 pesticider, som der analyseres for i grundvandsovervågningsprogrammet. Pesticiderne kan opdeles i fenoxysyrer, triaziner og fenolmidler. Der er ikke analyseret systematisk for 2,4-D.

De anvendte detektionsgrænser for pesticidanalyserne i grundvandet er 0.010 - 0.02 µg/l. De høje værdier for diklorprop, atrazin og simazin kan skyldes punktforurening, f.eks. som følge af sprøjtning af gårdspladser.

Amterne har gennem de ca. fire år, hvor overvågningsprogrammet har fungeret, udtaget vandprøver til pesticidanalyse fra 700 boringsfiltre i de 67 overvågningsområder. Der er påvist pesticider i grundvand fra 44 filtre (34 boringer i 22 overvågningsområder), svarende til 6% af de undersøgte filtre, tabel 14. I knap halvdelen af disse tilfælde overskrider pesticidindholdet de fastsatte grænseværdier for drikkevand.

Tre af de 44 filtre er i indvindingsboringer, der indgår i overvågningsprogrammet. I syv af de 44 filtre er der fundet mere end en pesticidtype i grundvandsprøverne.

Råvand		
Stofstype	Påvisninger	Indhold
<b>Fenoxysyrer:</b>		
Diklorprop	8	< 0,01 - 0,230 µg/l
Meklorprop	7	< 0,01 - 0,490 µg/l
MCPA	0	
2,4-D	1	0,016 µg/l
<b>Triaziner:</b>		
Atrazin	14	< 0,01 - 0,900 µg/l
Simazin	12	< 0,01 - 0,113 µg/l
<b>Fenolmidler:</b>		
Dinoseb	1	0,110 µg/l
DNOC	1	0,127 µg/l
<b>Ialt: 44 enkeltstoffer (påvist i grundvand fra 30 boringer)</b>		

**Tabel 15.** Påvisninger og indhold af pesticider i råvand fortrinsvis (se teksten) fra vandværksboringer.

Der er endvidere analyseret for pesticider i råvand fra en del vandværksboringer, tabel 15. I Københavns og Frederiksberg Kommune og i Københavns, Storstrøms og Fyns Amt er der analyseret råvand fra 146 vandværksboringer og enkelte andre boringer i sårbare grundvandsreservoirer, som ikke indgår i overvågningsprogrammet. Der blev påvist pesticider i råvand fra 30 boringer, svarende til en femtedel af de udvalgte boringer. I 9 af disse tilfælde, svarende til 6% af de undersøgte boringer, er der påvist over 0,1 µg pesticid pr. liter.

#### Datapålidelighed

Indtil pesticiddata fra overvågningsprogrammet blev tilgængelige, var pesticider i det danske grundvand kun kendt som sjældne punktforureniger. Det er derfor naturligt, at der har været opmærksomhed om påvisningerne i overvågningsområdernes grundvand, og nu i vandværkernes råvand. Denne opmærksomhed har medført, at resultaterne er blevet vurderet og kontrolleret overordentlig grundigt. Gentagne prøvetagninger har vist, at der i mange tilfælde har kunnet påvises pesticider i grundvandet ved én prøvetagning, uden at det har kunnet eftervises ved næste prøvetagning. Fejl under prøvetagning, transport

eller i laboratorie kan være forklaringer på nogle af disse "variationer", idet pesticidindholdet for mange af påvisningerne ligger nær detektionsgrænsen.

I nye analyser fra vandværkernes råvandsboringer kan påvisningerne imidlertid bekræftes ved gentagne analyser. Der synes derfor ikke at være teknisk grund til at betvivle analyseresultaterne fra overvågningsområderne, ud over de tilfælde, hvor de konkret har kunnet afvises.

Der er i perioden indtil 1993 udført ca. 60 gen-analyser for pesticider i nyudtaget grundvand fra filtre, hvor der tidligere er påvist pesticider. Ved en trediedel af gen-analyserne blev der påvist pesticider. For de øvrige filtre, hvorfra der er gen-analyseret, vurderes halvdelen af de oprindelige påvisninger at være pålidelige, mens de resterende er tvivlsomme. De tvivlsomme "påvisninger" er ikke medtaget i denne rapport. Manglende gen-påvisning kan, ud over fejl, skyldes, at grundvandets pesticidindhold fluktuerer lige omkring detektionsgrænsen, at stofferne omsættes i grundvandsreservoirerne eller at grundvand med pesticidindhold passerer forbi filtrene som pulser.

### Pesticider og grundvandets hovedklasser

Der er foretaget en vurdering af fordelingen af de tre grupper af pesticider i forhold til de hovedklasser af grundvand, som er opstillet på baggrund af fordelingen af udvalgte hovedkomponenter, tabel 16. Denne vurdering er baseret på det procentvise antal påvisninger i forhold til det totale antal analyser inden for hver hovedklasse. Tabel 16 illustrerer, at fenoxysyrerne hovedsagelig er påvist i *meget hårdt forvittringsvand*, C.

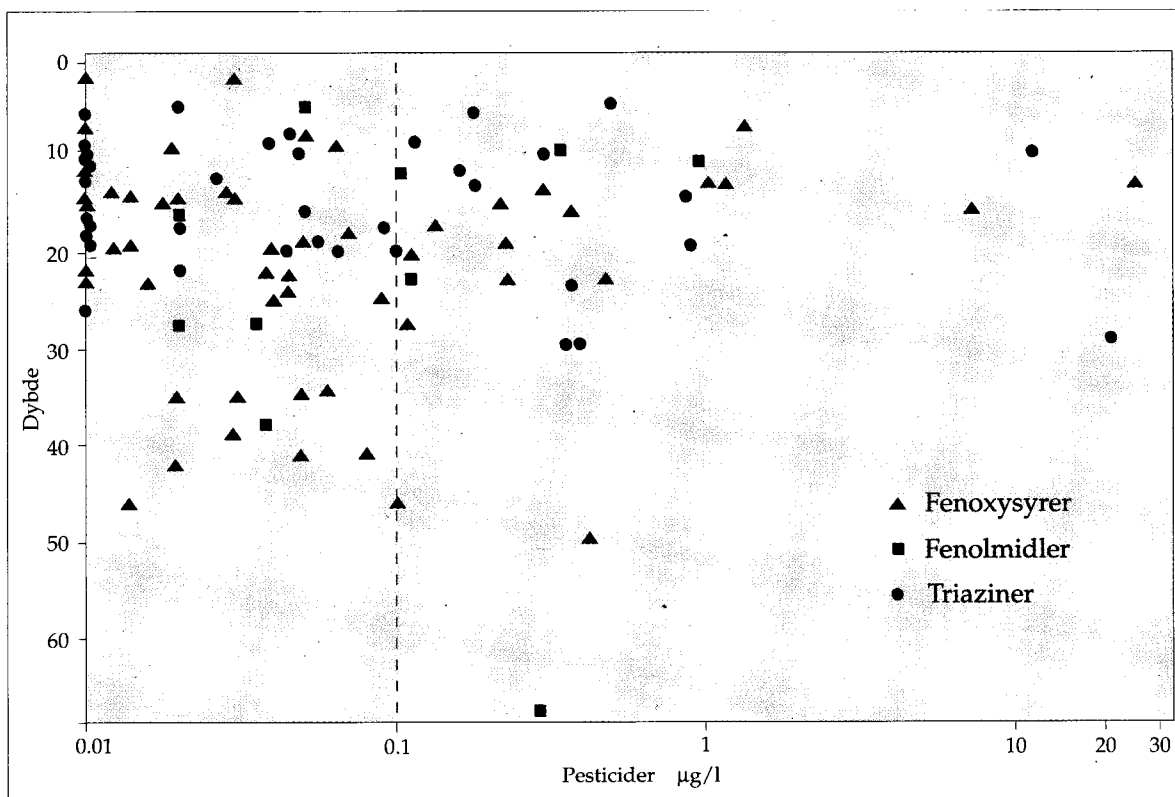
%	Fenoxysyrer			Fenoler		Triaciner	
	Diklor-prop	MCPA	Meklor-prop	DNOC	Dinoseb	Atrazin	Simazin
A	0	0	0	0	1	4	0
B	3	0	1	0	1	1	1
C	12	2	15	0	0	2	0
D	4	2	2	1	1	2	2
E	2	1	4	1	1	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 16.** Påvisning af fenoxysyrer, fenoler og triaziner, i procent af det gennemførte antal analyser inden for de enkelte hovedklasser af grundvand. Antallet af analyser fremgår af bilag 7.

### Pesticidernes forekomst

To trediedele af de samlede påvisninger af pesticider i overvågningsområder og vandværkernes råvand er gjort inden for de øverste 20 meter under terræn, figur 19. Dette stemmer overens med den høje påvisningsprocent i *meget hårdt forvittringsvand*, C, tabel 16. Af figur 19 fremgår, at fenoxysyrer, fenolmidler og triaziner er påvist i de øvre dele af reservoirerne, mens især fenoxysyrer også er påvist til større dybde.

De fleste grundvandsprøver fra overvågningsområderne med indehold af pesticider, er udtaget fra terrænnære reservoirer i sandlag, samt fra sandlommer i moræneler. Kun enkelte grundvandsprøver med pesticidindhold er udtaget fra kalk, mens der i overvågningsområdet på Bornholm er fundet pesticider i grundvand fra sandsten.



**Figur 19.** Påviste pesticidtyper mod prøvetagningsdybde (m under terræn). De fire fund med koncentration omkring og større end  $10 \mu\text{g/l}$  stammer antagelig fra gårdspladsforurening. Den stiplede linie viser grænseværdien ( $0.1 \mu\text{g/l}$ ) for hvor meget der må være af et enkelt pesticid i drikkevand.

Påvisning af pesticider i grundvand betyder ikke nødvendigvis, at de også forekommer i drikkevandet.

Det er påfaldende, at der i områder, hvor nitrat- og iltindholdet i grundvandet er stort, og hvor der er god forbindelse fra dyrkningslaget til grundvandet, kun påvises få pesticider og disse da oftest er af triazintypen. Kun i få tilfælde, hvor grundvandet indeholder større mængder nitrat, er der påvist meklorprop, diklorprop og dinoseb. Hvor grundvandet er reduceret forekommer fenoxysyrer som meklorprop, diklorprop og MCPA, der tilsyneladende ikke nedbrydes særlig hurtigt under iltfattige forhold.

Størstedelen af pesticidfundene i både overvågningsområderne og vandværkernes råvand stammer fra grundvand, hvori der ikke er påvist nitrat, men til gengæld ofte er et indhold af opløst ferrojern. Dette viser, at grundvandet er reduceret, figur 20 og tabel 17. De øvrige påvisninger af pesticider er gjort i grundvand, hvor indholdet af opløst jern er under detektionsgrænsen og nitratindholdet er højt, op til  $180 \text{ mg/l}$ .

Påvisninger	Triaziner	Fenoxysyrer	Fenolmidler
Antal pesticidpåvisninger ialt	11	43	5
Uden lerdække	10	6	0
Med lerdække	1	37	5
Nitratholdigt	10	4	1
Nitratfrit	1	39	4
Uden opløst jern	8	2	0
Med opløst jern	3	41	5

**Tabel 17.** Påvisninger af triaziner, fenolmidler og fenolmidler i grundvandsreservoirer henholdsvis med og uden lerdække, med og uden nitratindhold, samt med og uden indhold af opløst jern. Opgørelsen omfatter kun overvågningsområderne. Af de fire påvisninger af fenoxysyrer i nitratholdigt grundvand er to fra grundvand uden opløst ilt. I de overvågningsområder, hvor grundvandsspejlet er frit, er triaziner de hyppigst forekommende pesticider, mens fenoxysyrer tilsvarende dominerer i de artesiske grundvandsreservoirer.

Sammenholdes triazin-, fenolmiddel- og fenoxysyreindholdet med de geokemiske forhold, viser det sig, at fenoxysyrer næsten udelukkende findes i reduceret grundvand i reservoirer med lerdække, mens triaziner også ofte findes i oxideret grundvand i sandreservoirer med frit vandspejl, tabel 16, 17 og figur 20. Triazinkoncentrationerne korrelerer tilsyneladende ikke med koncentrationen af nitrat.

Pesticidpåvisningernes geografiske fordeling i Danmark er vist i figur 21, der kun omfatter data fra overvågningsområderne. Triaziner forekommer dels i grundvand i Vestjyske overvågningsområder, som delvis er tilplantet med nåleskov, og dels i Østdanmark i tilknytning til arealanvendelser som gartnerier, planteskoler og frugt- og bæravl.

Fenolmidler er påvist i så få tilfælde, tabel 14 og 15, at deres geologiske og hydrokemiske forekomstmåde endnu ikke kan fastlægges nøjere. Tilsyneladende følger fenolmidlerne dog fenoxysyrerne.

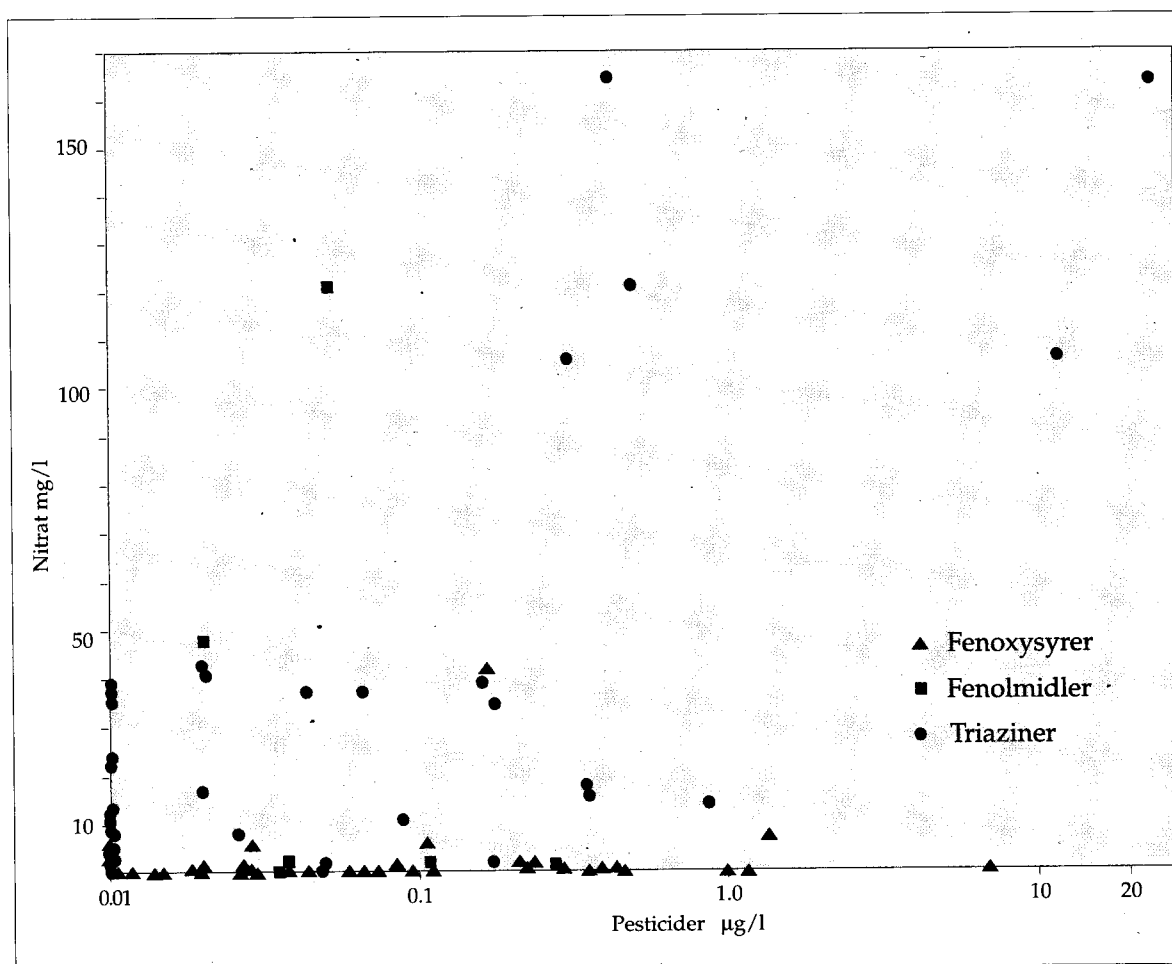
### **Fenoxysyrer**

Baseret på de foregående overvejelser og sammenstillinger kan forholdene for tilstedeværelse af fenoxysyrebasebaserede bekæmpelsesmidler sammenfattes. Disse midler, meklorprop, diklorprop, MCPA og 2,4-D, er næsten udelukkende fundet i reduceret nitratfrit grundvand.

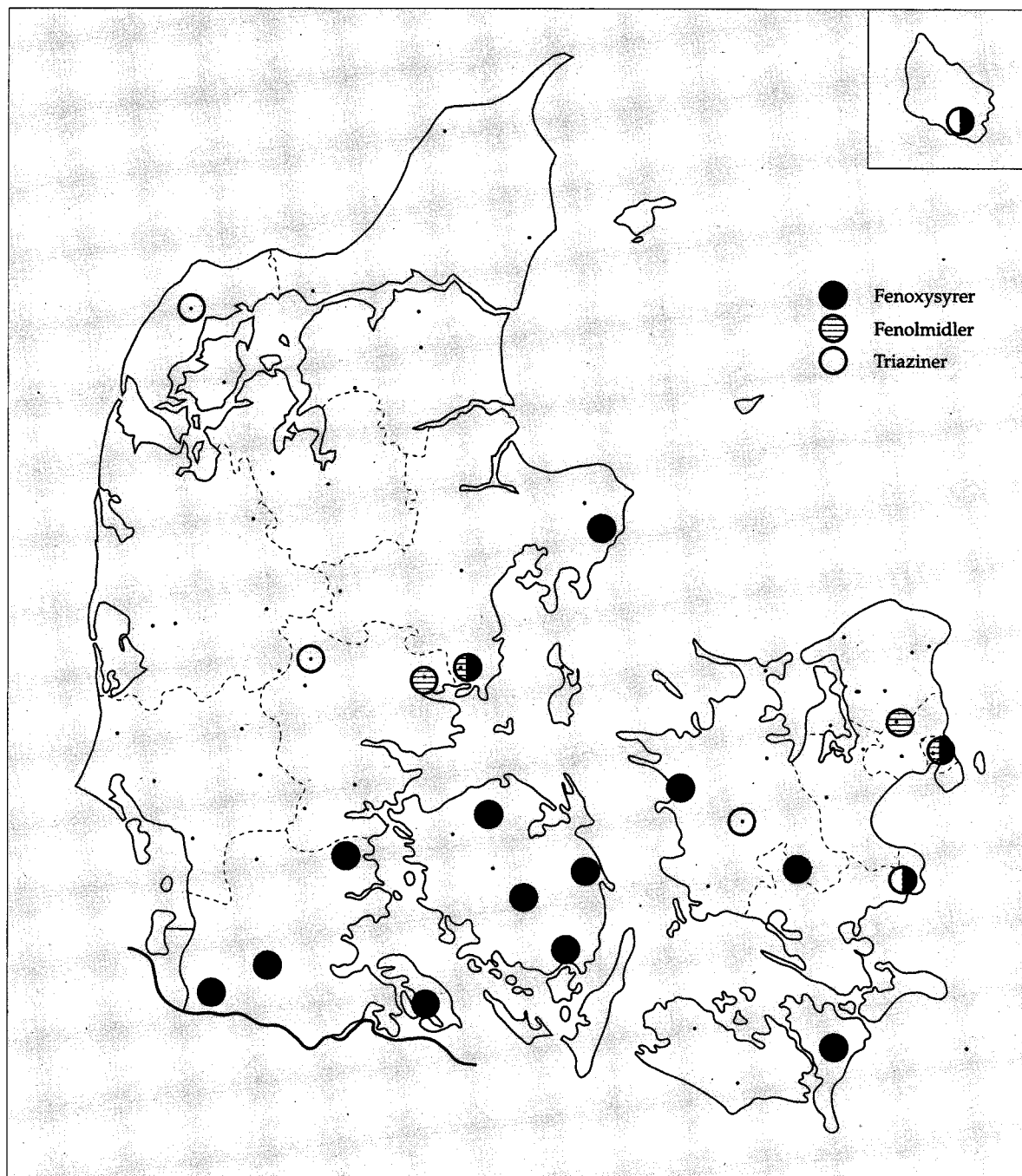
Fenoxysyrer er tilsyneladende kun langsomt nedbrydelige under reducerende forhold, mens de under oxiderende forhold, som i rodzonen, nedbrydes hurtigt. Desuden har fenoxysyrer negativ overfladespænding, hvilket betyder, at stofferne ikke adsorberes på ler.



Pesticider i grundvandsreservoirer med reducerende betingelser, der i regelen har lerdække og artesiske forhold, kan være transporteret til reservoirerne gennem sprækker og makroporer i moræneleret. Fenoxysyrerne kan, hvis der falder nedbør umiddelbart efter sprøjtning, transporteres til den reducerede grundvandszone på denne måde, Jacobsen 1992. Fenoxysyrerne nedbrydes kun langsomt i reducerende, iltfri miljø. Dette miljø forekommer lejlighedsvis i morænelerssprækker og makroporer, hvorfor fenoxysyrer vil kunne transporteres med nedsivende vand mod de underliggende grundvandsreservoirer. Dette gælder især, efter sprøjtning på lerede arealer i forårs- og efterårsmånederne (vinterafgrøder), eller hvis der forekommer kraftig regn og dermed hurtig nedsivning.



**Figur 20.** Indholdet af fenoxysyrer, fenolmidler og triaziner i forhold til nitrat. Figuren er baseret på data fra såvel overvågningsområder som vandværkernes råvand. Tilstedeværelsen af nitrat er et udtryk for, at der er oxiderende forhold i grundvandet.



**Figur 21.** Overvågningsområder, hvor der er påvist pesticider i grundvandet. Sammenlign figur 9 og tabel 16.

### *Triaziner*

Triaziner er oftest påvist i oxiderende grundvand, hvor der også kan være store mængder nitrat tilstede. Der er tilsyneladende et sammenfald mellem arealanvendelsen og påvisninger af stoffet atrazin i grundvandet. F. eks. forekommer atrazin oftest i grundvand tæt ved eller under nåletræsplantager, juletræskulturer, gartnerier og planteskoler. Atrazin i grundvand er derfor antagelig knyttet til arealanvendelsen, og ikke i samme grad til de geokemiske forhold i jorden som fenoxysyrer.

Triaziner findes også i det reducerende grundvand, hvor de kan forekomme sammen med andre pesticidtyper. Triaziner er således tilsyneladende relativt stabile uanset redoxforholdene.

### **Fenolmidler**

Fenolmidler er kun påvist i beskedent omfang, tabel 16, hvorfor deres geologiske og hydrokemiske forekomstmåde endnu ikke kan fastlægges nøjere. Tilsyneladende forekommer fenolmidlerne dog fortrinsvis i samme geokemiske miljøer som fenoxysyrerne.

### **Klorfenoler og klormetylfenoler**

Klorfenoler og klormetylfenoler er påvist enkelte steder og i fem tilfælde i grundvand fra filtre, hvor der også er påvist fenoxysyrer. Dette sammenfald tyder på at klorfenoler kan være nedbrydningsprodukter af fenoxysyrer. Der er i 16 tilfælde påvist klorfenoler og metylfenoler i grundvand fra 12 filtre. Datagrundlaget er endnu spinkelt, men der anes dog et vist sammenfald mellem forekomsten af pesticider og klorfenoler i overvågningsområderne.

Nogle amter tolker fenoler og metylfenoler, som nedbrydningsprodukter fra fenoxysyrer. Fenoler og metylfenoler forekommer dog også naturligt i grundvand, hvor stofferne dannes ved nedbrydning af organisk materiale.

### **Amternes kommentarer til pesticidpåvisninger i overvågningsområder**

De fleste amter har forsøgt at korrelere påviste pesticider i grundvand fra overvågningsfiltrene til eventuelle punktforureninger f.eks. gårdspladser, pesticidproduktion og andet spild. Københavns Kommune har f.eks. sporet kilden til en påvisning ved Flæsketorvet til en tidligere producent af DNOC, mens Vestsjællands Amt henfører en påvisning af diklorprop og MCPA til en mulig forurening under borearbejdet.

Fyns amt har ikke genfundet tidligere påvisninger af pesticider fra filtre med montejustumper. Da disse pumper kun påvirker meget små vandvolumener, kan de manglende gen-påvisninger tolkes som et resultat af variationer i grundvandets pesticidindhold, men det er næppe alle manglende gen-påvisninger, der kan tolkes på denne måde. Fyns Amt har derfor igangsat et intensivt program for at belyse den tidsmæssige variation. Resultaterne fra Fyn er medtaget i denne rapport, idet amtet sideløbende har fundet mange pesticider i råvand fra en del undersøgte vandværker.

I Sønderjyllands Amt er der påvist fenoxysyrer i fire af amtets fem overvågningsområder, inklusive grundvandet på Als under 20-40 meters morænelersdække. Amtet mener, i overensstemmelse med tolkningen i denne rapport, at forekomstmåden for pesticider i grundvandet i amtet som helhed tyder på, at fenoxysyrerne nedbrydes i den øvre iltrige del af de reservoirer, der består af hedeslettesand.

Århus Amt har i 1992 udført en omfattende undersøgelse af overvågningsområdet Nordsamsø, hvor det øvre grundvand er terrænnært og har højt nitratindhold. I området er der desuden anvendt fenoxysyrer gennem mange år. Der blev ikke fundet pesticider i grundvandet fra de undersøgte borer. Amtets resultater stemmer godt overens med formodningen om, at fenoxysyrer nedbrydes hurtigt i iltet nitratholdigt grundvand. Amtet nævner desuden, at to af pesticidpåvisningerne i amtet er fra iltfrit nitratholdigt grundvand, hvilket betyder at nitrat og pesticider godt kan forekomme i

samme iltfattige grundvand, og at nitrat måske ikke i samme grad som ilt medvirker ved nedbrydning af fenoxysyrer.

Viborg Amt afskriver tre påvisninger af atrazin fra overvågningsområdet Rabis Bæk, idet de tilskrives en forveksling med en nylon-blødgører.

Der er ikke påvist pesticider i Nordjyllands Amt. Tidligere analyser, der viste at grundvandet indeholdt MCPA, kan alle med sikkerhed afskrives som fejlanalyser og er ikke medtaget i denne rapport. At der ikke er fundet pesticider i Nordjyllands Amt er i overensstemmelse med formodningen om, at visse pesticider nedbrydes hurtigt i ilt- og nitratrigt grundvand, som netop er karakteristisk for de øvre sekundære reservoirer i de nordjyske overvågningsområder.

### **Pesticidpåvisninger i råvand**

Københavns og Frederiksberg kommuner:

Ud over overvågningen i de to kommuner i forbindelse med grundvandsovervågningsområdet Frederiksberg har Københavns Miljøkontrol, 1993, yderligere undersøgt grundvandet fra 32 andre borer. Alle borerne er udvalgt i grundvandsreservoirer med lerdække, hvor der ikke er noget større nitratindhold. Kommunen fandt pesticider i fem af disse borer og påviste diklorprop i én (under detektionsgrænsen). I en boring ved Harrestrup Å blev der påvist simazin. Alle øvrige påvisninger var fenoxysyrer og fenolmidler. En af påvisningerne kan antagelig henføres til en virksomhed ved Halmtorvet som tidligere producerede DNOC-holdige produkter. De 6 påvisninger af pesticider, ud af 32 analyserede borer, er alle bekræftet ved fornyet analyse.

Københavns Amt.

Københavns Amt, 1993, har ved råvandskontrol på 26 udvalgte vandværker påvist fenoxysyrer i tre borer. I en af disse borer er der påvist fire fenoxysyrer samt et fenolmiddel. I denne boring blev der også påvist et klorfenol, der antagelig er dannet ved nedbrydning af de påviste fenoxysyrer. Nitratindholdet i de tre borer var under 1 mg/l, hvilket antagelig betyder, at grundvandet er reducerende. Amtet påviste yderligere fenoler i seks borer. Fenol kan forekomme naturligt i grundvand, og stofferne stammer antagelig ikke fra nedbrydning af pesticider, men fra pyrolyse af humusstoffer.

Storstrøms Amt.

Storstrøms Amt, 1993, har undersøgt 25 borer ud fra følgende kriterier: ungt grundvand med et højt nitratindhold eller høj forsuringegrad samt med tynde eller ingen dækkende lerlag. Desuden er borerne udvalgt i områder med særlig intensiv eller langvarig pesticidbelastning, f.eks. frugtplantager, planteskoler og frilandsgartnerier. Resultatet af undersøgelsen var, at der i seks indvindingsboringer blev påvist triaziner og i en af disse desuden diklorprop. Herudover blev der fundet meklorprop i én boring. Der er således påvist pesticider i næsten en tredjedel af de gennemførte analyser. Pesticidindholdet i vandværksboringerne lå under grænseværdien for indhold i drikkevand, mens indholdet i to markvandsboringer lå væsentligt over. Som årsag til pesticidindholdet i grundvandet fremhæves fladebelastning, mulige punktforurenninger samt belastning fra planteskoler og gartnerier. Endelig fremhæves, at et af de vandværker, hvor der er påvist pesticider, har sine indvindingsboringer tæt ved Fakse å. Pejlinger af grundvandet viser, at åvand strømmer ned mod grundvandsreservoiret.

#### Fyns Amt:

Fyns Amt, 1993, har undersøgt råvandet fra 63 (ud af 300) vandværker for indhold af pesticider. Kriterierne for udvælgelsen til analyse var, at nitratindhold i grundvandet skulle være forhøjet, og at vandværkerne skulle ligge i sårbare områder. Ved undersøgelsen blev der fundet pesticider på 14 værker, og 8 af disse påvisninger lå under detektionsgrænsen på 0.010 µ/l. Dette vil sige, at der kunne konstateres et indhold af pesticider, men der kunne ikke angives nogen koncentration. Fyns Amt har, som nævnt, i de fleste tilfælde analyseret oxideret grundvand, hvilket afspejles i, at der kun i én boring blev påvist et lille indhold af diklorprop, sammen med simazin. I de øvrige tilfælde blev der påvist triaziner. Samtlige disse pesticidfund er blevet bekræftet ved gentagen prøveudtagning og analyse. Indholdet af pesticider var generelt lille i Fyns Amts undersøgelse, og kun i tre tilfælde var koncentrationerne over grænseværdien for drikkevand.

I hele landet er råvand fra 146 vandværksboringer, og enkelte andre boringer, undersøgt for pesticider. Der blev påvist pesticider i 30 boringer, svarende til 20% af de undersøgte prøver. Hovedparten af de påviste pesticider er af triazintypen, hvilket afspejler de kriterier, der er anvendt for udvælgelse af vandværkerne, nemlig nitratbelastet grundvand, helst uden tykke dæklag af ler og med intensiv arealanvendelse (landbrug og gartneri).

Ved indvinding af grundvand vil der i reglen ske en blanding af ungt (og muligvis forurennet) overfladenært grundvand med ældre grundvand fra dybere niveauer. Det vil derfor, i prøver fra indvindingsboringer, antagelig sjældent være muligt at måle et pesticidindhold, der stammer fra fladebelastning. Derimod vil der kunne måles selv små koncentrationer i grundvandsprøver fra overvågningsprogrammets filtre, hvor der oftest kun udtages små repræsentative vandmængder.

Analyserne af vandværkernes råvand har imidlertid vist, at der også forekommer pesticider i indvindingsvand, omend oftest i små mængder. Dette kan enten skyldes, at hele det undersøgte reservoir er påvirket med pesticider gennem fladebelastning, eller mere sandsynligt, at pesticiderne stammer fra punktforureninger eller indtrængende forurennet vandløbsvand.



---

## 5 Sammenfatning og diskussion

---

Amterne og Københavns-Frederiksberg Kommuner har nu gennem fire år indsamlet oplysninger om grundvandets kvalitet inden for grundvandsovervågningsområderne. Dette datamateriale er meget omfattende, idet der med varierende tidsinterval analyseres for 80 stoffer i grundvand fra godt 1100 filtre.

For at skaffe overblik over alle disse data, og forståelse for forekomsten, er det analyserede grundvand fra overvågningsområderne grupperet på basis af numerisk klassifikation (clusteranalyse). Herved er grundvandet fra overvågningsfiltrene blevet samlet i seks hovedklasser, der i rapporten er benævnt *blødt forvittringsvand, A, middelhårdt grundvand, B, meget hårdt forvittringsvand, C, hårdt forvittringsvand, D, hårdt grundvand, E og ionbyttet grundvand, F*, tabel 3.

Inddelingen i hovedklasser er baseret på fordelingen af aggressiv kuldioxid, sulfat, klorid, magnesium, bikarbonat og calcium i grundvandsprøverne. Disse stoffer er valgt, fordi der er relativt god datadækning, fordi de afspejler det geokemiske miljø, som grundvandet befinder sig i og fordi de også hidtil har været anvendt til karakteristik af grundvand. Fire af de seks hovedklasser adskiller sig fra hinanden ved forskellene i den gennemsnitlige ionstyrke af de seks stoffer, jævnfør figur 3 og tabel 4. De to sidste hovedklasser er især karakteriseret ved henholdsvis mindre og mere udpræget ionbytning og sulfatreduktion. Hovedklasserne afspejler således i væsentlig grad grundvandets hårdhed, alkalinitet, forvittringsgrad og ionbytningsforhold.

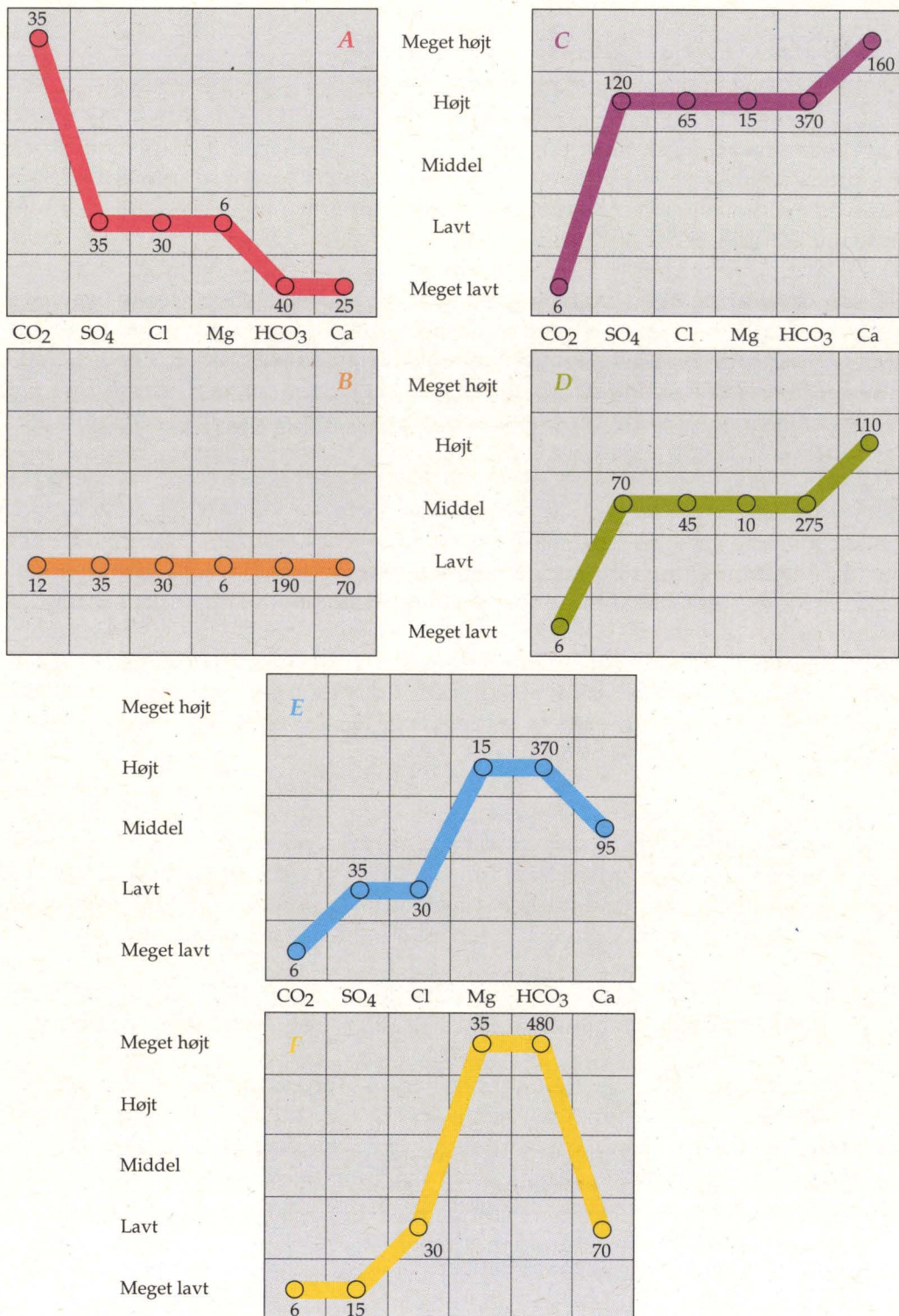
Relevansen af at opstille hydrokemiske hovedklasser for grundvandet beror på den anvendelighed de kan tillægges i fortolkningen af grundvandskvaliteten. De her opstillede hovedklasser vil kunne bearbejdes yderligere. Imidlertid tegner der sig allerede med den foreliggende analyse et billede af geokemiske og hydrauliske sammenhænge for de fleste hovedkomponenter, også de der ikke indgår i selve klassifikationen, se tabel 4.

Der er også karakteristiske forskelle på hovedklasserne med hensyn til, hvad de beskriver og forklarer vedrørende fordelingen af uorganiske sporstoffer og pesticider, tabellerne 11 og 16.

Data for de øvrige organiske mikroforureninger er endnu ikke tilstrækkelige til at kunne vurderes på grundlag af grundvandets hovedklasser. Det er imidlertid forventeligt, at grundvandets indhold af organiske mikroforureninger i højere grad afspejler lokale forureninger end den generelle grundvandssammensætning. Som det vil fremgå senere i dette afsnit er inddelingen i hovedklasser ikke tilstrækkelig til alene at beskrive og forklare de kvalitative forskelle inden for det danske grundvand, men de er en betydelig hjælp til at skaffe overblik og til at identificere og systematisere de kvantitative forskelle.

Med udgangspunkt i fordelingen af sulfat, klorid, magnesium, bikarbonat og calcium i de opstillede hovedklasser, er der foretaget en opdeling af data fra filtre i landovervågningsoplande og af boringer, hvorfra der er indberettet boringskontrollodata (råvand). Disse opdelinger viser, at hovedparten af det analyserede grundvand fra samtlige kategorier kan henføres til de samme seks hovedklasser, figurerne 9, 11 og 17.

Med dette udgangspunkt kan grundvandets kvalitet beskrives både geografisk og rumligt, figur 10, og dets overordnede geokemiske præg karakteriseres, figur 22.



**Figur 22.** Grundvandets hovedklasser, baseret på data fra overvågningsområderne, fordelt, således at de illustrerer en forenklet rumlig udvikling fra det overfladenære grundvand i Vest- og Østdanmark til det dybtliggende grundvand. Som overordnet hovedtræk udgør de seks hovedklasser to geografisk karakteristiske serier af grundvand i områder med udvaskede respektive ikke udvaskede jordarter, samt en serie, der især er karakteristisk for dybtliggende gammelt grundvand, tabel 18.



Det unge, overfladenære og stærkest strømmende grundvand i det vestlige Danmark kan, som en forsimpning baseret på indholdene af de seks stoffer, se f.eks. figur 22, beskrives ved én sekvens af hovedklasser. Denne varierer fra *blødt forvittringsvand, A* (se karakteristik af hovedklasserne i tabel 3), i stærkt udvaskede jordarter, som hovedsagelig forekommer vest for isens hovedopholdslinie i Jylland, til *middelhård grundvand, B*, i områder og reservoirer, der er mindre udvaskede, og som er karakteristisk for Midt-, Sønder- og Nordjylland, men også findes på øerne, hvor der er jordarter med lavt indhold af opløselige stoffer.

En anden sekvens af hovedklasser, der også repræsenterer ungt, forholdsvis stærkt strømmende og relativt overfladenært grundvand, illustrerer forholdene i det østlige Danmark. Her er der øverst *meget hårdt forvittringsvand, C*, som har højt indhold af opløste stoffer, til dels som følgevirkning af afsenkning af grundvandsspejlet og arealbelastning. På større dybde og i relativt mindre overfladepåvirkede dele af dette område er der *hårdt forvittringsvand, D*. Arealbelastning påvirker hovedsageligt hovedklasser, der består af ungt, overfladenært og relativt stærkt strømmende grundvand, og præger i væsentlig grad *det meget hårde forvittringsvand, C*. Derimod har f.eks. kalkning med jordbrugskalk ikke kunnet præge grundvandet tilstrækkeligt, til at dette bliver en udslagsgivende karakteristik af en hovedklasse.

I større dybde, og hvor der er svag strømning, er der *hårdt grundvand, E*, der er gammelt og ofte præget af svag ionbytning. På endnu større dybde og i fede lerede jordarter kan der være stærkt *ionbyttet grundvand, F*, som er sulfatreduceret og ofte påvirket af marint eller andet salt vand.

Begge disse varieteter af gammelt grundvand er bedst dokumenteret i det østlige Danmark, hvor de forekommer på ikke alt for stor dybde. Oplysningerne fra vandværkernes boringskontrol, figur 17, lader dog ane, at varieteterne også kan være tilstede i dybtliggende grundvand i det vestlige Danmark.

## Andre kriterier for grundvandskemisk opdeling

Grundvandets kvalitet er i denne rapport ikke alene karakteriseret ved stofindholdet, som det kommer til udtryk i hovedklasserne. Også stofindholdets relation til dybde, arealanvendelse, monitoringstyper (forklaret nedenfor), geologi og strømning er inddraget.

Dybden under terræn korrelerer positivt eller negativt med indholdet af langt de fleste stoffer. Klorid er eksempel på et stof, der udviser begge typer korrelation, idet indholdet er moderat forhøjet nær overfladen, som følge af arealbelastning, og stærkt forhøjet i dybtliggende grundvand, blandt andet som følge af indtrængende salt havvand.

Også forhøjede indhold af mange uorganiske sporstoffer, der forekommer i områder præget af overfladenær forsurening, forvitring og grundvandssenkning, illustrerer et faldende indhold i forhold til dybde, mens stoffer med oprindelse i marine geologiske aflejringer især præger dybtliggende grundvand, tabel 12.

Det er imidlertid ikke entydigt, at dybden i sig selv er hovedrelationen for stoffordelingen i grundvandet, idet mange faktorer i praksis spiller sammen. Nitratindholdet i grundvandet falder for eksempel med dybden, idet nitrat forbruges til oxidation af organiske og andre reducerende forbindelser. Indholdet falder imidlertid drastisk under redoxgrænsen, bunden af den anoxisk nitratholdige zone. Dybderelationen er derfor kun karakteristisk for nitrat ned til denne grænse.

Den antropogene indvirkning yder en massiv indflydelse på det øverste grundvand. Når effekten aftager nedad skyldes det delvis, at en del af påvirkningen elimineres ved kemiske og biologiske reaktioner samt udfældning og sorption i de øverste jordlag og delvis, at mere lokale påvirkninger sløres ved opblanding med strømmende grundvand fra andre områder. Ved arealmæssige sammenligninger af det absolutte stofindhold i grundvandet må der yderligere tages højde for forskelle i nettonedbøren. Ved stor nettonedbør øges udvaskningen, men den kan også medføre, at det stof, der opløses, bliver fordelt i et større vandvolumen, og at koncentrationen i grundvandet derfor bliver mindre.

Det geologiske præg på grundvandet kommer til udtryk dels som en effekt af jordlagenes indhold af opløselige stoffer (kildestyrke), dels som en effekt af lagenes permeabilitet. Sandede eller opsprækkede lag, hvor grundvandet strømmer relativt stærkt, tilfører samtidig, under normale pH-forhold, grundvandet forholdsvis lidt af de fleste stoffer.

Ved lav pH mobiliseres en del stoffer, som f.eks. jern og aluminium. I fintkornede og lerede jordarter strømmer grundvandet langsomt og stofudvekslingen med jordarterne bliver større i forhold til vandmængden, f.eks. tabel 9.

Inden for overvågningsområderne kan filtrene grupperes efter, om de repræsenterer grundvand, der bevæger sig nedad mod et større reservoir og altså repræsenterer grundvand dannet inden for et meget lille areal (punktmoniterende), om de indsamler grundvand, der strømmer hen mod områdets hovedboring (liniemoniterende) eller om det er en hovedboring, hvori der oppumpes grundvand, som repræsenterer et stort volumen i reservoiret (volumenmoniterende). Tidlige effekter af ændringer i overfladepåvirkning vil først kunne registreres i grundvand fra de punktmoniterende filtre, siden i de liniemoniterende, og måske endelig i de volumenmoniterende filtre, f.eks. figur 14.

For hvert enkelt af de stoffer, der analyseres for i overvågningsprogrammet, er det en flerhed af ovennævnte faktorer, der bestemmer de aktuelle koncentrationer. Derfor forekommer der næppe grundvand fra et eneste filter, til hvilket der ikke kan knyttes en særkommentar. I denne rapport, hvor det er tilstræbt at skaffe overblik, kan grundvand fra nogle filtre, der er tillagt et bestemt overordnet præg, derfor indeholde enkelte stoffer i koncentrationer, der falder uden for de værdier, der er mest karakteristiske for hovedklassen, monitoringstypen, arealanvendelsen o.s.v. Rapportens fortolkninger er derfor tilstræbt at være overordnede.

Mere detaljerede beskrivelser og fortolkninger findes i rapporterne fra amterne og Københavns og Frederiksberg Kommune, se litteraturlisten.

## Udvalgte stofgrupper og stoffer

Stofgrupperne og stofferne i grundvandet, som er omtalt i det foregående, er summeret i rapportens tabeller. Hovedkomponenter er sammenfattet i tabel 4 og bilag 4, uorganiske sporstoffer i tabellerne 11 og 12, organiske mikroforureninger i tabel 13 og figur 18 og pesticider i tabellerne 14 og 15.

### Hovedkomponenter

Indholdet af hovedkomponenterne fordeler sig overordnet på grundvandets hovedklasser som tre overordnede graduerede serier, jævnfør figur 22 og tabel 18. Disse serier af grundvandets hydrokemiske hovedklasser afspejles tydeligt i fordelingen af hovedkomponenter. For de såkaldte specialanalyser er det kun "ionbytnings- og reduktionsserien" der direkte afspejles i stoffordelingen, mens de øvrige især afspejler overfladenærheden, idet karak-

teristiske (især høje) gennemsnitsindhold findes i *det bløde forvittringsvand*, A, og *meget hårde forvittringsvand*, C. Ud over den nævnte overordnede karakteristisk af forhold, der styrer stoffordelingen, må det fremhæves, at en enkelt parameter, nemlig redoxforholdet, er særligt betydningsfuld for fordelingen af blandt andet pesticider og arsen, Brüsch og Salinas 1992, Kristiansen 1993.

Hovedklasse	Betegnelse	Serie
A	<i>Blødt forvittringsvand</i>	Udvasknings- og forursningsserie
B	<i>Middelhård grundvand</i>	
C	<i>Meget hårdt forvittringsvand</i>	Forvittringsserie
D	<i>Hårdt forvittringsvand</i>	
E	<i>Hårdt grundvand</i>	Ionbytnings- og reduktionsserie
F	<i>Ionbyttet vand</i>	

**Tabel 18.** Tre overordnede graduerede serier af grundvandets hovedklasser. Disse serier afspejler fordelingen af de kemiske hovedkomponenter i grundvandet, se tabel 4 og figur 22.

### Nitrat

Nitrat er i sig selv et oxidationsmiddel og forekommer derfor generelt ikke under reducerende betingelser. Nitrat er derfor særlig karakteristisk for overfladenært, ungt, nedadstrømmende grundvand, hvor der som regel også er ilt tilstede. Det forekommer derfor overvejende i *det bløde forvittringsvand*, A, og *middelhårde grundvand*, B, som er præget af højt indhold af aggressiv kulsyre, og af de reducerede typer af jern og mangan samt højt permanganattal. Det højeste gennemsnitlige nitratindhold forekommer geografisk især i Jylland vest for isens hovedopholdsline under sidste istid. Der er iøvrigt et vist nitratindhold i grundvandet i overvågningsområdernes reservoirer i det meste af landet, figur 16. Blandt de prækvartære lag i overvågningsområderne indeholder grundvandet i de miocæne reservoirer langs den jyske højderyg en del nitrat, og det samme er tilfældet i kalkreservoirerne i et bælte omkring og især syd for Limfjorden og herfra ud på Djursland.

Ændringen gennem tiden i nitratindholdet i det nitratpåvirkede grundvand er blevet undersøgt. Der er udregnet gennemsnitlige koncentrationer for hvert af de fire år overvågningen er foregået for forskellige grupperinger af filtre, figur 15. Sammen viser graferne, at grundvandets nitratindhold i gennemsnit synes at være stabiliseret på et højt niveau, 45 mg/l, for det nitratpåvirkede grundvand i de jyske overvågningsområder, med undtagelse af Østjylland. Både i Østjylland og i den øvrige del af landet er det gennemsnitlige nitratindhold i grundvandet inden for overvågningsområderne lavere, men med tendens til stigning i *det hårde grundvand*, E.

Det relativt lave nitratindhold i de nitratpåvirkede dele af *det meget hårde forvittringsvand*, C, i overvågningsområderne i Østjylland og på øerne skyldes antagelig blandt andet, at der forbruges nitrat ved forvittringsprocesserne. Det høje nitratindhold i de nitratpåvirkede

dele af *det hårde forvittringsvand*, *D*, må således alene være karakteristisk for områder, hvor denne hovedklasse af grundvand er den mest overfladenære.

Da det kun er i de hovedklasser af grundvand, der er karakteristiske for Østjylland og øerne, at der er dokumenteret en stigning i det gennemsnitlige nitratindhold, må stigningen i nitratindholdet i kvartære sandede reservoirer som helhed, antagelig afspejle data fra denne region. I de nitratpåvirkede dele af de prækvartære reservoirer (miocæn i det centrale Jylland samt kalkreservoirerne langs Limfjorden og i et bælte ud på Djursland) er der i gennemsnit et konstant, men relativt højt, nitratindhold på ca. 30 mg/l. Kun i *det hårde*, *E*, og *ionbyttede grundvand*, *F*, synes nitratindholdet generelt at være meget lavt, selv om det er tydeligt stigende i de få påvirkede filtre. Som gennemsnit ligger nitratindholdet i de vandværksboringer, der udgør hovedboringerne i overvågningsområderne, konstant på gennemsnitlig 15 mg/l.

De nævnte gennemsnitsindhold af nitrat dækker over store spredninger, figur 13, og grænseværdien, for hvor meget nitrat der må være i drikkevand, er overskredet i mange tilfælde. Derfor er udviklingen i nitratindholdet stigende i det grundvand, som indvindes til drikkevandsforsyning, i egne af landet, hvor produktionen må baseres på overfladenære grundvandsressourcer. Dette er tilfældet i Nordjyllands Amt, hvor stigende nitratindhold på 60 mindre vandværker har nødvendiggjort etableringen af en aftalebaseret grundvandsbeskyttelsesstrategi. Arealanvendelsens betydning for grundvandets nitratindhold er dokumenteret af flere amter, herunder Ribe Amt, der har kunnet følge nitratfaner nedstrøms for særligt belastede dyrkningsfelter.

Der er i denne rapport foretaget en gennemgang af, hvor mange filtre, der yder nitratholdigt grundvand, i hvert af de fire år grundvandsovervågningsområderne har fungeret. Til denne vurdering er der kun medtaget oplysninger fra filtre, hvor der er foretaget analyser for nitrat i alle fire år. Det fremgår at antallet af filtre, hvorfra der produceres nitratholdigt grundvand er konstant. Der synes således ikke at være sket en ændring af det nitratpåvirkede grundvandsvolumen, og nitratfronten kan derfor antages at være nogenlunde stationær. I Østjylland og på øerne synes der at være sket en svag stigning i grundvandets nitratindhold i de allerede påvirkede filtre. Dette sidste understreger den betydelige sammenhæng mellem koncentrationen i grundvandet og grundvandets strømningsveje.

### Uorganiske sporstoffer

Grundvandets indhold af de uorganiske sporstoffer arsen, bly, cadmium, nikkel, kobber og krom falder med dybden uanset de geologiske forhold. Da indholdet af disse stoffer i det øverste grundvand nærmest fordeler sig omvendt proportionalt med, hvor meget der må antages at kunne udvaskes fra jordarterne, må det relativt store indhold af disse stoffer i sandede overfladenære reservoirer skyldes arealbelastning, tabellerne 9 og 10, eventuelt kombineret med forsurening, eller være forårsaget af grundvandssænkning. Dette er sandsynliggjort for Midt-, Sønder- og Vestjylland, men må formodes at være en generel sammenhæng. Det faldende indhold med dybden af de uorganiske sporstoffer skyldes delvis, at de tilbageholdes ved retension i den umættede zone. Dette er imidlertid en labil situation idet stofferne i højere koncentration eventuelt kan frigives til det dybere udnyttede grundvand. Tungmetalbelastningen er således højest i de mest gennemstrømmelige jordarter. Et forvarsel om en sådan mulig udvikling kan ses i, at grundvandet i en del af de volumenmoniterende overvågningsboringer, der i praksis er indvindingsboringer på vandværker, har relativt højt indhold af uorganiske sporstoffer.

Indholdet af aluminium, barium, nikkel og zink i grundvandet inden for overvågningsområderne overskrider i mange tilfælde, hvad der højest tillades i drikkevand. Arsen og cadmium overskrider drikkevandskravet i et enkelt tilfælde, tabel 7. Kravet, om hvor meget

af et stof der højest må være i drikkevand, anvendes her alene som sammenligningsgrundlag, idet stofferne antageligt i et vist omfang tilbageholdes gennem vandbehandlingen på vandværkerne.

### Organiske mikroforureninger

Organiske mikroforureninger i grundvandet er påvist i overvågningsområderne i en del tilfælde. Flere af disse er bekræftet ved gen-analyse. Indholdet af disse stoffer er generelt lavt, tabel 13. De bedst kendte forureninger med organiske mikroforureninger findes imidlertid uden for overvågningsområderne, hvor de er påvist ved råvandskontrol på vandværkerne. Ud fra disse analyser kan hele Københavnsområdet opfattes som et problemområde for disse stoffer, figur 18.

Også ved Esbjerg er der dokumenteret en udbredt forurening med disse stoffer, således at vandforsyningen må omlægges. Der er således grund til at antage, at indhold af organiske mikroforureninger kan komme til at udgøre et betydeligt problem i grundvandet og dermed, i et vist omfang, for vandforsyningen, efterhånden som forureningen af grundvandet under blandt andet gamle industricentre bliver erkendt.

### Pesticider

Pesticider er påvist i 6% af det undersøgte grundvand fra overvågningsfiltre, og i knap halvdelen af disse tilfælde overskrider pesticidindholdet de fastsatte grænseværdier for drikkevand. Denne påvisningsprocent er af samme størrelsesorden som det er fundet ved udenlandske undersøgelser. Herudover er der påvist pesticider i råvand fra 30 ud af 146 undersøgte, særligt sårbare vandværksboringer, og det højest tilladte indhold i drikkevand er overskredet i 9 af disse tilfælde. Pesticider i grundvandet kan således udgøre et problem for drikkevandsforsyningen. Det er dog endnu ikke tilstrækkeligt undersøgt, i hvilket omfang disse stoffer omsættes ved vandværkernes vandbehandling eller måtte forekomme i drikkevandet.

Indholdet af de forskellige pesticidtyper afspejler arealanvendelsen, i et vist omfang i kombination med de geokemiske forhold i grundvandet. Fenoxysyrer er fundet under reducerende forhold i grundvandet, figur 20, og er særligt hyppigt påvist i *det meget hårde forvittringsvand, C*, tabel 16. Triazinerne synes derimod at kunne forekomme under såvel oxiderende som reducerende forhold, omend det ikke er påvist til så stor dybde, som fenoxysyrerne. I overensstemmelse med de nævnte geokemiske sammenhænge forekommer fenoxysyrer inden for de lerprægede områder i Østjylland og på øerne, mens triaziner kan forekomme alle steder, ikke mindst i tilknytning til områder, hvor der er unge nåletræsplantager, Brüsch og Salinas 1992, Kristiansen 1993. Påvisningerne af fenolmidler synes at have samme udbredelsesmønster som for fenoxysyrer, men data-grundlaget er meget spinkelt.

### Overvågningsområdernes repræsentativitet

Det har lige siden etableringen af overvågningsprogrammet været diskuteret, i hvor høj grad overvågningsområderne er repræsentative for grundvandet som helhed, eller i det mindste for den overvejende del af grundvandet. Med denne rapport, hvor grundvandet i overvågningsområder og i landovervågningsoplandene samt i vandværkernes råvand har kunnet klassificeres i et fælles system af "hovedklasser af grundvand", er det vist, at overvågningsområderne tilsammen i meget stor udstrækning repræsenterer det danske grundvand.

## Volumenmæssige kvalitetsbetragtninger

Filtrene i overvågningsområderne er ikke installeret, således at de dækker alle eksempler på grundvand inden for områderne i samme omfang. Derfor kan den samlede mængde grundvand, der er henhører under de enkelte hovedklasser ikke opgøres på dette grundlag. Vandværkernes råvandsdata illustrerer derimod det grundvand, som aktuelt udnyttes til produktion af drikkevand. Den forholdsvise mængde af vandværksboringer, der yder råvand tilhørende hver af grundvandets hovedklasser kan derfor opregnes, tabel 19.

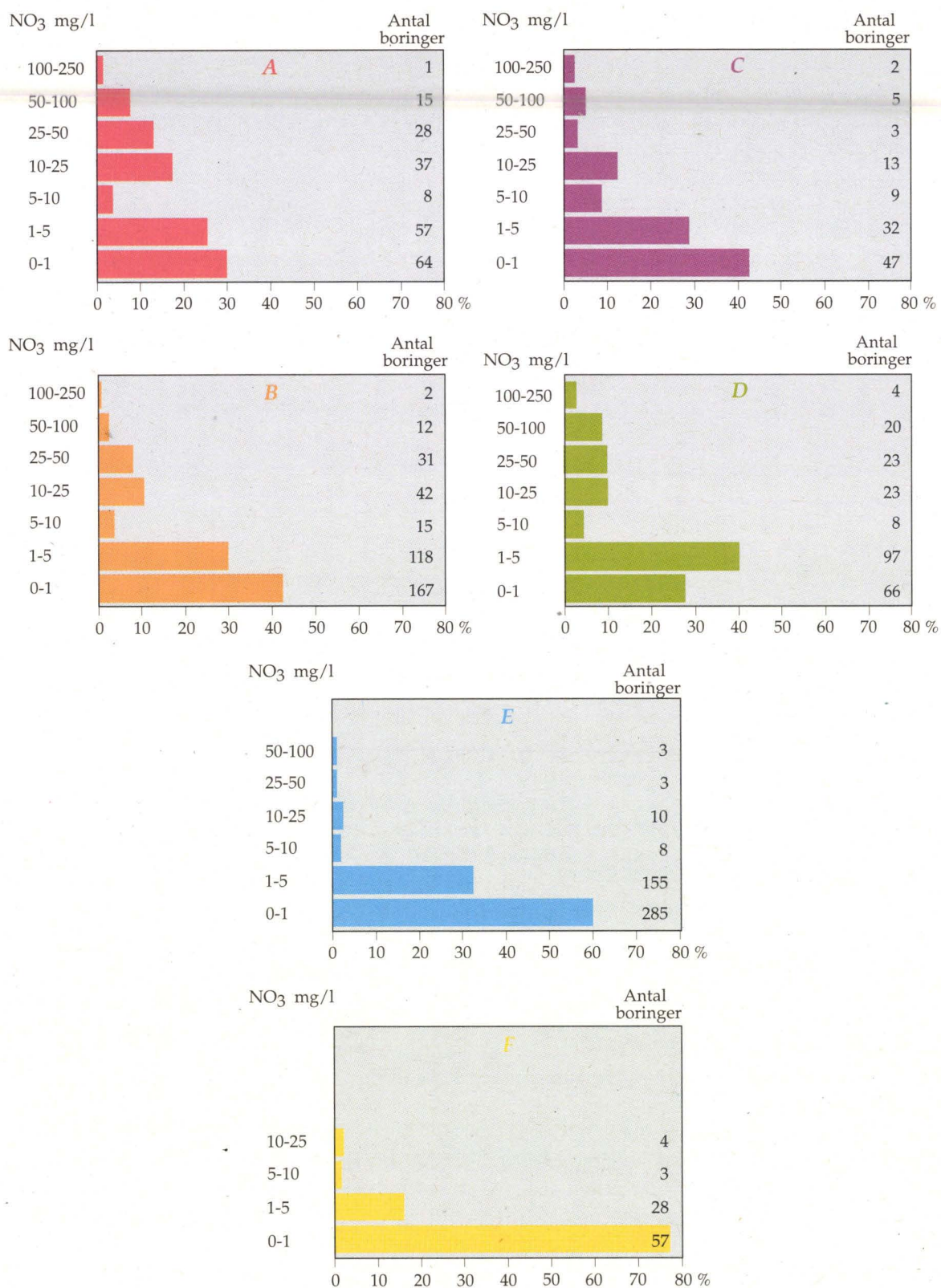
Skønnet andel	tilhører Hovedklasse	
1/5	A	<i>Blødt forvittringsvand</i>
1/3	B	<i>Middelhård grundvand</i>
1/20	C	<i>Meget hårdt forvittringsvand</i>
1/5	D	<i>Hårdt forvittringsvand</i>
1/5	E	<i>Hårdt grundvand</i>
1/20		<i>Ionbyttet vand</i>

**Tabel 19.** Skønnede andele af det udnyttede danske grundvand, som tilhører de enkelte hovedklasser, baseret på data fra den halvdel af Danmark, hvorfra der foreligger boringskontrolanalyser af vandværkernes råvand.

I skønnet på basis af boringskontroldata af, hvor stor en del af grundvandet der tilhører de enkelte hovedklasser, tabel 19, må der tages forbehold for, at tætheden af boringer varierer geografisk, at boringerne ikke udnytter lige store grundvandsvolumener og at der kun er data til rådighed fra dele af landet. Imidlertid fordeler de data, der er til rådighed sig så heldigt, at de må formodes at kunne give et væsentligt fingerpeg om fordelingen i den resterende del af landet, figur 17. Det store antal boringskontroldata fra Roskilde Amt er ikke inkluderet i volumenberegningen for at forhindre, at den store datatæthed skal forvride resultatet. Tilgang af data fra den øvrige del af landet kan eventuelt ændre det relative forhold lidt, men det er mindre sandsynligt at proportionerne ændres væsentligt, fordi de data, der allerede er til rådighed, så nogenlunde repræsenterer det geologiske variationsmønster, figur 17.

Opgørelsen i tabel 19 kan benyttes til vurdering af størrelsen af den andel af det danske grundvand, hvor der kan forventes at være en særlig risiko for forurening eller andre påvirkninger, jævnfør beskrivelserne af stoffordelingerne i forhold til grundvandets hovedklasser. For eksempel kan 1/20 af grundvandet anses for at have kemiske forhold, der gør det særligt følsomt overfor pesticider af fenoxysyregruppen, tabel 13.

Også graden af den nuværende påvirkning, i forhold til den potentielle påvirkning inden for en bestemt hovedklasse af grundvand, hvor et stof er karakteristisk, kan vurderes. Dette er som eksempel illustreret for nitrat i vandværkernes råvandsanalyser, figur 23. Heraf fremgår blandt andet, at en trediedel af *det bløde forvittringsvand*, A, på nuværende



**Figur 23.** Råvandets nitratindhold inden for de opstillede hovedklasser. Det procentvise og absolutte antal boringer er angivet i intervaller for nitratindhold. Sammenlign med figur 22.

tidspunkt er upåvirket af nitrat, og at knap en tiendedel af dette grundvand har nitratindhold over det tilladte i drikkevand.

Med resultaterne i dette års rapport fremtræder der systematiske sammenhænge mellem fordelingerne af de forskellige stoffer i grundvandet. Men stoffer og stofgrupper er ikke fordelt efter samme hydrokemiske kriterier. Derfor kan kemiske forhold, hvorunder ét stof bindes eller omdannes, mobilisere eller bevare et andet. Stor nitrattilførsel i de lerede områder i Østjylland og på øerne, hvor det øverste grundvand ofte er *meget hårdt forvitningsvand*, C, ville således antagelig kunne nedbryde fenoxysyrerne, som netop forekommer særligt hyppigt i dette grundvand. Sådanne forhold er væsentlige i diskussionen af begrænsninger i arealanvendelsen, som middel til at kontrollere og sikre grundvandskvaliteten. Det er altså et valg, hvilken belastningsform, der kan accepteres.



---

## Referencer

---

Adriano, D.C., 1986: Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer.

Bornholms Amt, 1993: Grundvandsovervågning.

Brüsch, W., 1987: Grundvandskemi og arealanvendelse. Miljøministeriets projektundersøgelser 1986, Teknikerraport Nr. 12.

Brüsch, W. og Salinas, I., 1992: Pesticider og detergenter. I Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1992: Grundvandsovervågning, Grundvandskvalitet i overvågningsområderne. Særudgivelse.

Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1992: Grundvandsovervågning, Grundvandskvalitet i overvågningsområderne. Særudgivelse.

Det Kongelige Danske Geografiske Selskab, 1986: Landbrugsatlas over Danmark.

Frederiksborg Amt, 1993: Grundvandsovervågning.

Fyns Amt, 1993: Grundvandsovervågning.

Hundal, M., Thorling, L., Ernstsens, V. og Misser, P., 1992: Ressourcevurdering af grundvandet på Nordsamsø. Århus Amt, Miljøkontoret, Teknisk rapport.

Jacobsen, O.S., 1992: Grundvandets nitratindhold i de udvalgte reservoirtyper. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1992: Grundvandsovervågning, Grundvandskvalitet i overvågningsområderne. Særudgivelse.

Kristiansen, H., 1992: Pesticidrester i grundvand - resultater af Miljøstyrelsens overvågning af grundvandskvaliteten. I 9. Danske Planteværnskonference 1992, Tidsskr. Planteavl, 86 (S 2178).

Kristiansen, H., 1992: Hydrokemisk klassifikation af grundvand. I Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1992: Grundvandsovervågning, Grundvandskvalitet i overvågningsområderne, Særudgivelse.

Kristiansen, H., 1993: Pesticidrester i grundvand, Resultater fra grundvandsovervågningen 1989-1991. I 10. Danske Planteværnskonference 1993, Pesticider og miljø, Beretning Nr. S 2236.

Københavns Amt, 1993: Grundvandsovervågning.

Københavns og Frederiksberg Kommuner, 1993: Grundvandsovervågning.

Miljøministeriet, 1988: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Bekendtgørelse Nr. 515.

Miljøstyrelsen, 1984: Forsuringsprojektet, Grundvandsforsuring.

- Miljøstyrelsen, 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt Nr. 115.
- Miljøstyrelsen, 1992: Danmarks fremtidige vandforsyning. Betænkning fra Miljøstyrelsen, Nr. 1, 1992.
- Nordjyllands Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Nygaard, E. (red.), 1991: Grundvand, Overvågning og Problemer. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Ser. D, Nr. 8.
- Nygaard, E. og Nyegaard, P., 1993: Kvaliteten af det nydannede grundvand. Akad. Tekn. Vid. 1993.
- Postma, D. og Boesen, C.T., 1990: Nitratreduktionsprocesser i Rabis hedesletteaquifer. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen, Nr. B8, 1990.
- Rasmussen, P., 1993: Grundvand. I Grant, R. et al., 1993: Landovervågningsoplande, Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1992. Danmarks Miljøundersøgelser, Faglig rapport Nr. 87.
- Ribe Amt, 1992: Vandmiljø. Overvågning grundvand.
- Ribe Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Ringkjøbing Amtskommune, 1993: Grundvandsovervågning.
- Roskilde Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- SAS Institute INC, 1989: SAS/STAT Users Guide, Version 6, Fourth edition, Vol 1.
- Storstrøms Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Sønderjyllands Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Viborg Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Vejle Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Vestsjællands Amt, 1993: Grundvandsovervågning.
- Ødum, H. og Christensen, W., 1936: De Danske Grundvandstyper og deres geologiske optræden. Danmarks Geologiske Undersøgelse, III Rk., Nr. 26.
- Århus Amtskommune, 1993: Grundvandsovervågning.

## Figurliste

- Figur 1. Beliggenheden af grundvandsovervågningsområder og landovervågningsoplande. Sidstnævnte er skrevet i kursiv. . . . . 12
- Figur 2. Klassifikationen af grundvandet i hovedklasser illustreret sådan, at det fremgår, hvor stor forskel der er på grundvandet i de enkelte hovedklasser. Højden af de broer, der forbinder de seks hovedklasser af grundvand, afspejler, hvor forskellige de er. Jo lavere bro desto større er ligheden. Sammenhængen mellem hovedklassernes bogstavbetegnelser og farver fastholdes og benyttes gennem hele denne rapport. Antallet af grundvandsfiltre, der falder ind under de enkelte hovedklasser, er også anført. . . . . 15
- Figur 3. Koncentrationsniveauer i mg/l af de 6 stoffer, der indgår i klassifikationen, angivet i forhold til en relativ skala, der afspejler ionstyrken af det enkelte stof. Ved at følge de farvede streger, som svarer til de enkelte hovedklasser af grundvand, kan det gennemsnitlige stofindhold aflæses. En sammenligning mellem hovedklasserne viser, hvad der karakteriserer dem i forhold til hinanden (dette er uddybet i teksten og tabellerne 2 og 3). . . . . 15
- Figur 4. Profil gennem overvågningsområdet Grindsted. Se forklaring i teksten. . . . 21
- Figur 5. Profil gennem overvågningsområdet Albæk. Se forklaring i teksten. . . . . 22
- Figur 6. Profil gennem overvågningsområdet Nordsamsø. . . . . 23
- Figur 7. Profil gennem overvågningsområdet Store Heddinge. . . . . 24
- Figur 8. Profil gennem overvågningsområdet Munke Bjergby. Se forklaring i teksten. . . . . 24
- Figur 9. Fordelingen af grundvandets hovedklasser inden for grundvandsovervågningsområdernes filtre. For hvert overvågningsområde er det rumlige forhold mellem grundvand, der tilhører de enkelte hovedklasser, så vidt muligt illustreret. Hovedklasserne er angivet med farver, jævnfør figur 2, sådan at de viser det omtrentlige indbyrdes mængdeforhold. . . . . 26
- Figur 10. Konceptuelt hydrogeokemisk tværsnit gennem det ferske grundvand i overvågningsområderne. Fordelingen af grundvandets hovedklasser afspejler forskelle i samspillet mellem jordarternes kildestyrke, udludning og fortynding på grund af variationer i strømning, nedbør og antropogene påvirkninger. Farverne svarer til grundvandets hovedklasser, jævnfør figur 2. . . . . 27
- Figur 11. Det meget overfladenære grundvand i landovervågningsoplandene, karakteriseret på kriterierne for opstilling af grundvandets hovedklasser. For hver af de faste dybdeniveauer, hvor filtrene er anbragt, er det procentvise forhold mellem de filtre, der kan henføres til de enkelte hovedklasser, angivet med farve. Antallet af filtre pr. dybdeniveau er anført til højre, og i hver hovedklasse af grundvand (farvet felt) er der vist størrelsen af det gennemsnitlige nitratindhold i mg/l. Oplandenes beliggenhed er vist i figur 1. . . . . 30
- Figur 12. Profil gennem grundvandsovervågningsområdet Vesterborg. Se forklaring i teksten. . . . . 31
- Figur 13. Koncentrationsfordelingerne af sulfat, klorid og nitrat i de seks hovedklasser af grundvand, som er opstillet på basis af data fra overvågningsområderne. 50% af analyserne ligger indenfor det farvelagte felt, hvorfra en fast linie, efterfulgt af boller og prikker, afspejler spredningen i data. Antallet af overvågningsfiltre og analyser er angivet for hver hovedklasse af grundvand. Stiplede linier angiver det højest tilladte indhold i drikkevand. . . . . 32

- Figur 14. Nitratindholdet i fire af grundvandets hovedklasser fordelt efter koncentration. Histogrammerne er baseret på det gennemsnitlige indhold pr. filter, og det samlede antal filtre pr. koncentrationsinterval er anført. Grundvandet fra 75% af filtrene med *hårdt vand, E*, indeholder under et mg nitrat pr. liter, og kun fra 15 filtre kommer der vand med over fem mg nitrat pr. liter. Der er i praksis ikke nitrat i *det ionbyttede grundvand*. . . . . 33
- Figur 15. Indholdet af nitrat i nitratpåvirket grundvand (> 1 mg/l) som årsgennemsnit for overvågningstyper, alderen af de jordarter, der udgør reservoirerne, og grundvandets hovedklasser. Se yderligere forklaring i teksten. . . . . 34
- Figur 16. Det gennemsnitlige nitratindhold (1989 - 1992) i grundvandet fra de filtre i overvågningsområderne, der har over 1 mg/l nitrat. . . . . 35
- Figur 17. Brudstykker af Grundvandskort over Danmark. Råvandsdata er her inddelt i de seks hovedklasser af grundvand, som er opstillet på grundlag af data fra overvågningsområderne. Klassifikationen er baseret på indholdet af de samme stoffer, dog her eksklusiv aggressiv kulsyre, som der sjældent analyseres for i råvand. Hver indberettet boring er anført med samme farve som for hovedklasserne i grundvandsovervågningsområderne, se figur 3. Disse data er p.t. under indberetning, og figuren viser derfor status for allerede tilgængelige data. . . . . 38
- Figur 18. Påvisning af organiske mikroforureninger i grundvand i overvågningsboringer. Kortene er forenkledede, idet områder med signaturen "Påvist 92" i nogle tilfælde også rummer boringer med "Ikke gen-påvist". Områder med signaturen "Genpåvist" kan tilsvarende også rumme boringer med "Ikke gen-påvist" samt boringer med nye påvisninger. . . . . 51
- Figur 19. Påviste pesticidtyper mod prøvetagningsdybde (m under terræn). De fire fund med koncentration omkring og større end 10 µg/l stammer antagelig fra gårdspladsforurening. Den stiplede linie viser grænseværdien (0.1 µg/l) for hvor meget der må være af et enkelt pesticid i drikkevand. . . . . 55
- Figur 20. Indholdet af fenoxysyrer, fenolmidler og triaziner i forhold til nitrat. Figuren er baseret på data fra såvel overvågningsområder som vandværkernes råvand. Tilstedeværelsen af nitrat er et udtryk for, at der er oxiderende forhold i grundvandet. . . . . 57
- Figur 21. Overvågningsområder, hvor der er påvist pesticider i grundvandet. Sammenlign figur 9 og tabel 16. . . . . 58
- Figur 22. Grundvandets hovedklasser, baseret på data fra overvågningsområderne, fordelt, således at de illustrerer en forenklet rumlig udvikling fra det overfladenære grundvand i Vest- og Østdanmark til det dybtliggende grundvand. Som overordnet hovedtræk udgør de seks hovedklasser to geografisk karakteristiske serier af grundvand i områder med udvaskede respektive ikke udvaskede jordarter, samt en serie, der især er karakteristisk for dybtliggende gammelt grundvand, tabel 18. . . . . 64
- Figur 23. Råvandets nitratindhold inden for de opstillede hovedklasser. Det procentvise og absolutte antal boringer er angivet i intervaller for nitratindhold. Sammenlign med figur 22. . . . . 71

---

## Tabelliste

---

Tabel 1. De 6 hovedkomponenter, som er grundlaget for klassifikationen af grundvandet i denne rapport. Afhængig af lokale forhold måles disse stoffer fra 1 til 4 gange årligt i hvert af de 1100 grundvandsfiltre (se dog vedr. aggressiv kuldioxid i teksten). Hvor der i rapporten benyttes kemiske symboler for stoffer er ladningerne udeladt, og hvor der angives CO <sub>2</sub> , betyder det aggressiv CO <sub>2</sub> . . . . .	13
Tabel 2. Karakteristik af de seks hovedklasser af grundvand, som er etableret i denne rapport, i HK-klassifikationens terminologi, jævnfør Kristiansen 1992. Inddelingsgrundlaget for HK-klassifikationen er i denne sammenhæng tilpasset denne undersøgelse, se teksten. . . . .	16
Tabel 3. Karakteristik af det ferske grundvands hovedklasser. Hovedklassernes kaldenavne, der benyttes i den her efterfølgende del af rapporten, vil være skrevet med kursiv og med tilføjelse af hovedklassens bogstavbetegnelse. . . . .	18
Tabel 4. Gennemsnitsindhold/værdier af hovedkomponenter/parametre og tritium i grundvandets seks hovedklasser. Særligt høje værdier (særligt lave for pH og tritium, og både særligt lav og høj hårdhedsgrad) er fremhævet med farve. Klassifikationen er baseret på de første 6 stoffer. En sammenligning mellem indholdet af disse 6 stoffer med de øvrige viser, at inddelingen af grundvandet i hovedklasser indirekte også afspejler fordelingen af stoffer/parametre, der <u>ikke</u> har ligget til grund for selve klassifikationen. Tallene angiver mg/l for stofferne og permanganatforbruget, pH ubenævnt og tritium i TU. Antallet af analyser fremgår af bilag 4. . . . .	20
Tabel 5. Forhold der i betydelig grad influerer på hovedkomponenternes fordeling i grundvandet. . . . .	21
Tabel 6. Overgangszoner fra oxiske til reducerede forhold i grundvandet på Nordsamsø. Den anoxisk nitratholdige zone ligger mellem "iltfronten" og "nitratfronten" og er her ca. 1,5 m tyk. Efter Hundal et al., 1992. . . . .	23
Tabel 7. Nøgletal for de uorganiske sporstoffer omfattet af grundvandsovervågningsprogrammet, som er behandlet i denne rapport. Tritium, som er en radioaktiv isotop af brint, henfalder langsomt, hvorfor indholdet kan benyttes til en grov datering af grundvandet. Tritium er derfor inddraget flere steder i rapporten. . . . .	41
Tabel 8. Gennemsnitsindhold af de uorganiske sporstoffer inden for hydrogeologisk funktionsopdelte grupper af grundvandsfiltre. Værdierne, der er gennemsnit for målinger over detektionsgrænsen, er i µg/l undtagen for cadmium og kviksølv, som er angivet i ng/l. Sporstofferne er angivet ved deres kemiske symboler, se tabel 7. Grundvandsfiltrene er grupperet efter om de er punkt-, linie- eller volumenmoniterende, se forklaring i forbindelse med figur 15. Som alternativ er filtrene også sorteret efter om de er etableret i de overfladenære sekundære reservoirer, det øvre hovedreservoir eller det nedre hovedreservoir. Endelig er filtrene sorteret efter om de repræsenterer reservoirer med frit grundvandsspejl eller artesiske trykforhold. . . . .	43
Tabel 9. Indholdet af uorganiske sporstoffer i grundvand fra de mest overfladenære, punktmoniterende grundvandsfiltre. Gennemsnitlige og maksimale indhold af stofferne er angivet i mikrogram pr. liter for filtre placeret under dæklag af hhv. moræneler og kvartært sand. . . . .	45
Tabel 10. Ekstraktionsforsøg af moræneler og smeltevandssand fra Midt-, Sønder- og Vestjylland. . . . .	46

Tabel 11. Det gennemsnitlige indhold af de uorganiske sporstoffer i grundvandets hovedklasser. Særlig markante (høje) gennemsnitsindhold er fremhævet med farve (for cadmium dog særligt lave indhold). For filtre med flere analyser indgår gennemsnittet i beregningen, idet der kun er anvendt én værdi pr. filter. Analyser, hvor indholdet har været mindre end detektionsgrænsen, indgår med detektionsgrænsens værdi. Antallet af analyser fremgår af bilag 6. Cadmium og kviksølv er angivet i ng/l, mens alle øvrige angivelser er i µg/l. ....	47
Tabel 12. Væsentlige elementer til forklaring af fordelingen af de uorganiske sporelementer i grundvandet, baseret på en sammenstilling af resultaterne af nærværende undersøgelse og Adriano, 1986. De mange individuelle forhold for stofferne karakteriserer overordnet grundvandet efter om det er marint- eller antropogent præget. Derfor er indholdet af mange af de uorganiske sporstoffer særligt højt i de samme hovedklasser af grundvand, jævnfør tabel 11. ....	48
Tabel 13. Antal overvågningsboringer/-filtre hvor der er påvist organiske mikroforureninger (eksklusive alkylfenoler). Hvert filterniveau i en given overvågningsboring tælles for sig, det vil sige at en boring kan tælle med flere gange. "Påvist" angiver at koncentrationen af stoffet er lig med eller over den af laboratoriet angivne detektionsgrænse. ....	50
Tabel 14. Påvisninger og indhold af de 8 pesticider, som der analyseres for i grundvandsovervågningsprogrammet. Pesticiderne kan opdeles i fenoxysyrer, triaziner og fenolmidler. Der er ikke analyseret systematisk for 2,4-D. ....	52
Tabel 15. Påvisninger og indhold af pesticider i råvand fortrinsvis (se teksten) fra vandværksboringer. ....	53
Tabel 16. Påvisning af fenoxysyrer, fenoler og triaziner, i procent af det gennemførte antal analyser inden for de enkelte hovedklasser af grundvand. Antallet af analyser fremgår af bilag 7. ....	54
Tabel 17. Påvisninger af triaziner, fenolmidler og fenolmidler i grundvandsreservoirer henholdsvis med og uden lerdække, med og uden nitratindhold, samt med og uden indhold af opløst jern. Opgørelsen omfatter kun overvågningsområderne. Af de fire påvisninger af fenoxysyrer i nitratholdigt grundvand er to fra grundvand uden opløst ilt. I de overvågningsområder, hvor grundvandsspejlet er frit, er triaziner de hyppigst forekommende pesticider, mens fenoxysyrer tilsvarende dominerer i de artesiske grundvandsreservoirer. ....	56
Tabel 18. Tre overordnede graduerede serier af grundvandets hovedklasser. Disse serier afspejler fordelingen af de kemiske hovedkomponenter i grundvandet, se tabel 4 og figur 22. ....	67
Tabel 19. Skønnede andele af det udnyttede danske grundvand, som tilhører de enkelte hovedklasser, baseret på data fra den halvdel af Danmark, hvorfra der foreligger boringskontrolanalyser af vandværkernes råvand. ....	70

---

## Bilagsliste

---

Bilag 1: Oversigt over analyseprogrammet (efter Miljøstyrelsen, 1989), gældende for 1989-1992. ....	81
Bilag 2: Oversigt over klassifikation af filtre ved clusteranalysen. ....	83
Bilag 3: Væsentlige elementer til forklaring af hovedelementernes fordeling, baseret på eksisterende viden og resultater i denne rapport. ....	95
Bilag 4: Det gennemsnitlige indhold, i mg/l eller TU, og det samlede antal analyser for hovedkomponenterne i hver af grundvandets seks hovedklasser. Kun data fra overvågningsområderne indgår. ....	97
Bilag 5: DGU's standard jordartssymboler. ....	99
Bilag 6: Det gennemsnitlige indhold og det samlede antal af analyser for uorganiske sporstoffer i hver af grundvandets seks hovedklasser. Cadmium og kviksølv er angivet i ng/l, mens alle øvrige angivelser er i µg/l. Kun data fra overvågningsområderne indgår. ....	101
Bilag 7: Antallet af analyser og procenten af påvisninger for overvågningsprogrammets 8 pesticider i grundvandets seks hovedklasser. Kun data fra overvågningsområderne indgår. ....	103









**Bilag 2: Oversigt over klassifikation af filtre ved clusteranalysen.**

GRUMONR: Overvågningsfiltrets nummer

D/C : Første bogstav angiver klassifikationen (klassen) ved clusteranalysen, andet bogstav klassifikationen ved en senere diskriminant analyse hvor data fra clusteranalysen er anvendt som 'træningssæt'. 66 filtre ud af 994 har herved skiftet hovedklasse og 55 ikke tidligere inkluderede filtre er blevet klassificeret. 6 filtre har ikke kunnet klassificeres.

U : Ikke klassificeret - kan ikke, ved hjælp af diskriminant analysen, indpasses i de 6 definerede klasser.

. : Ikke klassificeret - manglende data

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
13.11.01.01	.	13.11.04.02	./C	13.11.08.01	C
13.11.02.01	D/C	13.11.04.03	C	13.11.09.01	C
13.11.02.02	C	13.11.05.01	./C	13.11.10.01	C
13.11.02.03	C	13.11.05.02	./C	13.11.11.01	C
13.11.02.04	C	13.11.06.01	./E	13.11.12.01	C
13.11.03.01	./C	13.11.06.02	./C	13.11.13.01	C
13.11.04.01	./C	13.11.07.01	D	13.11.15.01	D
15.11.01.01	E/D	15.11.05.01	E	15.11.08.01	E
15.11.01.02	D	15.11.05.02	D	15.11.09.01	E
15.11.02.01	E	15.11.05.03	E	15.11.10.01	E
15.11.02.02	E	15.11.06.01	E	15.11.10.02	D
15.11.03.01	E	15.11.06.02	D	15.11.10.03	D
15.11.03.02	E	15.11.06.03	C	15.11.11.01	.
15.11.03.03	E	15.11.07.01	D	15.11.11.02	D
15.11.04.01	E	15.11.07.02	D	15.11.11.03	C
15.11.04.02	E	15.11.07.03	D		
15.12.01.01	F	15.12.05.02	E	15.12.08.02	C
15.12.01.02	F	15.12.06.01	C	15.12.09.01	E/F
15.12.03.01	E	15.12.06.02	./D	15.12.09.02	D
15.12.04.01	D	15.12.07.01	D	15.12.10.01	./E
15.12.04.02	./C	15.12.07.02	E		
15.12.05.01	F	15.12.08.01	./C		
15.13.01.01	E	15.13.04.02	D	15.13.07.03	C
15.13.01.02	C	15.13.05.01	./D	15.13.08.01	D
15.13.02.01	D	15.13.05.02	C	15.13.08.02	E
15.13.02.02	D	15.13.06.01	./C	15.13.09.01	E
15.13.03.01	D	15.13.06.02	./C		
15.13.03.02	D	15.13.07.01	./C		
15.13.04.01	./C	15.13.07.02	D		
15.14.01.01	C	15.14.02.02	E	15.14.04.01	E
15.14.02.01	E				
20.01.01.00	.	20.01.02.03	E	20.01.04.01	C
20.01.01.01	E	20.01.02.04	E	20.01.04.02	C
20.01.02.01	E	20.01.03.01	E	20.01.05.01	E
20.01.02.02	E	20.01.03.02	E/D	20.01.06.01	E

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
20.11.01.01	D	20.11.04.02	D	20.11.06.02	D
20.11.02.01	E	20.11.04.03	D	20.11.07.01	D
20.11.03.01	D	20.11.05.01	D	20.11.07.02	D
20.11.03.02	D	20.11.05.02	D/E	20.11.08.01	D
20.11.04.01	D	20.11.06.01	D	20.11.08.02	E
20.12.01.01	B	20.12.04.01	B	20.12.06.01	D
20.12.02.01	B	20.12.04.02	A	20.12.06.02	D
20.12.03.01	B	20.12.05.01	B		
20.12.03.02	B	20.12.05.02	B		
20.13.01.01	D	20.13.03.02	D	20.13.06.01	B
20.13.02.01	B	20.13.03.03	D	20.13.06.02	B
20.13.02.02	B	20.13.04.01	E	20.13.07.01	D
20.13.02.03	B/D	20.13.04.02	E		
20.13.03.01	D	20.13.05.01	D		
20.14.01.01	E	20.14.04.01	./D	20.14.07.01	E
20.14.02.01	E	20.14.04.02	./D	20.14.08.01	D
20.14.02.02	E	20.14.05.01	D	20.14.08.02	D
20.14.02.03	E/D	20.14.05.02	D	20.14.09.01	D
20.14.02.04	E/D	20.14.06.01	D	20.14.10.01	E
20.14.03.01	D	20.14.06.02	./D	20.14.10.02	D
25.01.01.01	D	25.01.06.01	E	25.01.09.01	./D
25.01.02.01	D	25.01.06.02	D	25.01.10.01	E
25.01.03.01	D/E	25.01.06.03	C	25.01.10.02	E
25.01.04.01	D	25.01.06.04	C	25.01.10.03	E
25.01.05.01	E	25.01.07.01	D/E	25.01.10.04	D
25.01.05.02	E	25.01.08.01	E		
25.02.01.01	D	25.02.06.01	D	25.02.10.01	D
25.02.03.01	D	25.02.07.01	D	25.02.11.01	D
25.02.04.01	D	25.02.07.02	E	25.02.12.01	D
25.02.05.01	D	25.02.09.01	D		
25.02.05.02	E	25.02.09.02	./D		
25.11.01.01	C/D	25.11.06.01	D	25.11.10.01	E/C
25.11.02.01	D	25.11.06.02	E/D	25.11.11.01	E
25.11.03.01	C	25.11.07.01	E	25.11.12.01	E
25.11.04.01	D	25.11.08.01	E	25.11.13.01	E
25.11.05.01	C	25.11.09.01	E		
25.12.01.01	E/F	25.12.07.01	E	25.12.12.02	C
25.12.02.01	F	25.12.08.01	E	25.12.12.03	C
25.12.03.01	D	25.12.09.01	E	25.12.13.01	E
25.12.04.01	C	25.12.10.01	F	25.12.14.01	E
25.12.05.01	F	25.12.11.01	./C		
25.12.06.01	./C	25.12.12.01	E		
30.01.01.01	E	30.01.06.02	E	30.01.08.01	E
30.01.02.01	C	30.01.06.03	E	30.01.08.02	E
30.01.03.01	E	30.01.07.01	E	30.01.08.03	U
30.01.04.01	E	30.01.07.02	E		
30.01.06.01	E	30.01.07.03	E		
30.11.01.01	E	30.11.02.03	C	30.11.04.02	C
30.11.01.02	E/C	30.11.03.01	D	30.11.04.03	C
30.11.01.03	E/C	30.11.03.02	D	30.11.05.01	D
30.11.02.01	D	30.11.03.03	D	30.11.06.01	E
30.11.02.02	D	30.11.04.01	C		

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
30.12.01.01	./F	30.12.03.01	E	30.12.04.02	E
30.12.01.02	E	30.12.03.02	E	30.12.05.01	E
30.12.01.03	./F	30.12.03.03	D		
30.12.02.01	D	30.12.04.01	E		
30.13.01.01	D	30.13.03.01	E	30.13.05.01	E
30.13.01.02	D	30.13.03.02	D	30.13.06.01	D
30.13.01.03	D	30.13.03.03	D	30.13.07.01	E
30.13.02.01	D	30.13.03.04	D	30.13.07.02	D
30.13.02.02	D	30.13.04.01	E	30.13.07.03	D/C
30.13.02.03	D	30.13.04.02	E		
30.14.01.01	D	30.14.03.01	E/F	30.14.05.03	C
30.14.01.02	D	30.14.03.02	D	30.14.05.04	C/D
30.14.01.03	C	30.14.04.01	E	30.14.05.05	D
30.14.02.01	D/C	30.14.04.02	C	30.14.06.01	D/C
30.14.02.02	C	30.14.05.01	D		
30.14.02.03	D	30.14.05.02	./E		
35.01.01.01	E	35.01.03.03	C	35.01.04.05	C
35.01.02.01	E	35.01.03.04	C	35.01.05.01	E
35.01.02.02	E	35.01.04.01	B	35.01.05.02	E
35.01.02.03	E	35.01.04.02	E	35.01.05.03	D
35.01.03.01	E	35.01.04.03	E	35.01.06.01	D/C
35.01.03.02	C	35.01.04.04	D	35.01.07.01	E/F
35.02.01.01	./E	35.02.07.01	E	35.02.09.05	C
35.02.02.01	E	35.02.08.01	C	35.02.10.01	E
35.02.03.01	E	35.02.08.02	C	35.02.11.01	./E
35.02.04.01	E	35.02.09.01	F/E	35.02.12.01	./E
35.02.05.01	./E	35.02.09.02	D	35.02.13.01	E
35.02.05.02	./E	35.02.09.03	C	35.02.14.01	./E
35.02.06.01	./E	35.02.09.04	D		
35.11.01.01	C	35.11.06.01	C	35.11.11.01	E
35.11.02.01	C	35.11.07.01	C	35.11.11.02	C
35.11.02.02	E/C	35.11.08.01	E	35.11.12.01	C
35.11.03.01	C	35.11.09.01	C/F	35.11.12.02	C
35.11.04.01	C	35.11.10.01	C	35.11.12.03	C
35.11.05.01	C	35.11.10.02	C		
35.12.01.01	E	35.12.03.02	./E	35.12.04.02	E
35.12.02.01	E	35.12.03.03	E	35.12.05.01	E/F
35.12.02.02	E	35.12.03.04	E	35.12.05.02	C
35.12.02.03	E	35.12.03.05	E	35.12.06.01	C
35.12.03.01	./E	35.12.04.01	E		
35.13.01.01	D	35.13.04.02	D	35.13.08.01	E/F
35.13.02.01	F	35.13.05.01	F	35.13.08.02	D
35.13.02.02	E	35.13.05.02	D	35.13.09.01	E
35.13.02.03	D	35.13.06.01	E/F	35.13.09.02	D
35.13.03.01	E/F	35.13.06.02	D	35.13.10.01	E
35.13.03.02	D	35.13.07.01	F	35.13.10.02	D
35.13.04.01	F	35.13.07.02	D		
40.01.01.01	D	40.01.04.04	.	40.01.08.01	D
40.01.02.01	D/U	40.01.05.01	D	40.01.08.02	D
40.01.02.02	D	40.01.05.02	B	40.01.08.08	.
40.01.03.01	D	40.01.05.05	.	40.01.09.01	A
40.01.03.02	D	40.01.06.01	B	40.01.09.09	.
40.01.03.03	.	40.01.06.02	B	40.01.10.01	A
40.01.04.01	D	40.01.06.06	.		
40.01.04.02	D	40.01.07.01	.		

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
42.01.01.01	D/E	42.01.02.06	E	42.01.06.02	C
42.01.02.01	E	42.01.02.07	D	42.01.06.03	D/C
42.01.02.02	E	42.01.03.01	/D	42.01.07.01	D
42.01.02.03	E	42.01.04.01	D	42.01.08.01	C
42.01.02.04	E	42.01.05.01	D	42.01.09.01	C
42.01.02.05	E	42.01.06.01	D		
42.02.01.01	D	42.02.02.05	C	42.02.07.01	E
42.02.02.01	E	42.02.03.01	D	42.02.08.01	E
42.02.02.02	E	42.02.04.01	E	42.02.08.02	E
42.02.02.03	E	42.02.05.01	E		
42.02.02.04	C	42.02.06.01	D		
42.11.01.01	D	42.11.04.01	D	42.11.07.01	E
42.11.02.01	E	42.11.05.01	E	42.11.07.02	E
42.11.02.02	D	42.11.05.02	E/F	42.11.07.03	D/C
42.11.03.01	E	42.11.06.01	E	42.11.08.01	E
42.11.03.02	D	42.11.06.02	E		
42.12.01.01	D	42.12.03.02	C	42.12.06.02	D
42.12.02.01	D	42.12.04.01	D	42.12.07.01	D
42.12.02.02	D	42.12.05.01	E	42.12.07.02	B
42.12.02.03	.	42.12.05.02	E	42.12.08.01	D
42.12.03.01	D	42.12.06.01	D	42.12.08.02	D
42.13.01.01	E	42.13.03.01	E	42.13.05.01	D
42.13.02.01	E	42.13.03.02	E	42.13.05.02	C
42.13.02.02	E	42.13.03.03	E	42.13.06.01	E
42.13.02.03	D	42.13.03.04	E	42.13.06.02	E
42.13.02.04	/D	42.13.04.01	E		
42.13.02.05	D	42.13.04.02	E		
42.14.01.01	D	42.14.03.02	D	42.14.06.01	E/D
42.14.02.01	D	42.14.03.03	D	42.14.06.02	D
42.14.02.02	E	42.14.04.01	C	42.14.07.01	D
42.14.03.01	D	42.14.05.01	C	42.14.08.01	D
50.01.01.01	B/D	50.01.05.03	B	50.01.11.02	B
50.01.02.01	B	50.01.05.04	B	50.01.11.03	B
50.01.03.01	D/B	50.01.10.01	D	50.01.11.04	B
50.01.04.01	D	50.01.10.02	D	50.01.11.05	D
50.01.05.01	B	50.01.10.03	D		
50.01.05.02	A	50.01.11.01	B		
50.02.01.01	E	50.02.03.02	E	50.02.05.02	D
50.02.01.02	E	50.02.03.03	/F	50.02.06.01	E
50.02.02.01	E	50.02.04.01	E/F		
50.02.03.01	/F	50.02.05.01	D		
50.11.01.01	B	50.11.03.03	B	50.11.06.02	B
50.11.01.02	B	50.11.04.01	B	50.11.06.03	B
50.11.01.03	B	50.11.04.02	A	50.11.07.01	B
50.11.02.01	D	50.11.05.01	B	50.11.07.02	B
50.11.02.02	D	50.11.05.02	D/B	50.11.07.03	D/B
50.11.03.01	B	50.11.05.03	/B	50.11.08.01	B
50.11.03.02	B	50.11.06.01	B	50.11.09.01	B
50.12.01.01	D	50.12.03.01	A	50.12.07.01	D
50.12.01.02	E	50.12.04.01	B	50.12.08.01	A
50.12.02.01	A	50.12.05.01	D	50.12.08.02	A
50.12.02.02	A	50.12.06.01	A	50.12.08.03	A

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
50.13.01.01	D	50.13.06.01	D	50.13.09.08	D
50.13.02.01	D	50.13.06.02	C	50.13.09.09	B
50.13.02.02	D/B	50.13.07.01	D	50.13.10.01	C
50.13.03.01	D/C	50.13.08.01	D	50.13.11.01	D
50.13.03.02	C	50.13.08.02	D	50.13.12.01	D
50.13.04.01	D	50.13.09.01	C/D	50.13.13.01	B
50.13.05.01	D	50.13.09.07	D		
55.01.02.01	B	55.01.06.03	A	55.01.11.01	A
55.01.02.02	B	55.01.06.04	A	55.01.12.01	A
55.01.02.03	B	55.01.06.05	A	55.01.13.01	A
55.01.03.01	A	55.01.06.06	A	55.01.14.01	A
55.01.04.01	A	55.01.06.07	A	55.01.15.01	A
55.01.05.01	A	55.01.08.01	A	55.01.16.01	A
55.01.06.01	A	55.01.09.01	A		
55.01.06.02	A	55.01.10.01	A		
55.11.01.01	A	55.11.04.01	A	55.11.07.01	B
55.11.01.02		55.11.05.01	B	55.11.07.02	A
55.11.01.03		55.11.06.01	B	55.11.08.01	A
55.11.02.01	B	55.11.06.02	B		
55.11.03.01	A	55.11.06.03	A		
55.12.01.01	A	55.12.06.01	A	55.12.08.02	B
55.12.02.01	B	55.12.07.01	E/D	55.12.09.01	B
55.12.03.01	A	55.12.07.02	A	55.12.09.02	B
55.12.05.01	A	55.12.08.01	B		
55.13.01.01	A	55.13.06.01	/A	55.13.09.01	A
55.13.02.01	A	55.13.07.01	A	55.13.09.02	A
55.13.03.01	A	55.13.08.01	A	55.13.11.01	A
55.13.04.01	A	55.13.08.02	A		
55.13.05.01	A	55.13.08.03	A		
55.14.01.01	A	55.14.05.03	B	55.14.07.01	A
55.14.02.01	A	55.14.05.04	A	55.14.07.02	B
55.14.03.01	A	55.14.06.01	A	55.14.07.03	A
55.14.04.01	B	55.14.06.02	A	55.14.07.04	A
55.14.05.01	B	55.14.06.03	B		
55.14.05.02	A	55.14.06.04	A		
60.01.01.01	E	60.01.04.03		60.01.06.01	B
60.01.02.01	E	60.01.04.04	E	60.01.07.01	D
60.01.03.01	D	60.01.04.05	E	60.01.07.02	D
60.01.04.01	E	60.01.04.06	E	60.01.07.03	D
60.01.04.02	E	60.01.04.07	C		
60.11.01.01	A	60.11.10.03	A	60.11.15.01	A
60.11.02.01	A	60.11.11.01	A	60.11.16.01	B
60.11.03.01	A	60.11.11.02	A	60.11.16.02	B/D
60.11.04.01	A	60.11.12.01	B/A	60.11.17.01	A
60.11.10.01	A	60.11.13.01	A	60.11.18.01	A
60.11.10.02	A	60.11.14.01	A		
60.12.01.01	B	60.12.11.02	D	60.12.16.01	B
60.12.02.01	B	60.12.12.01	D	60.12.16.02	A
60.12.03.01	B	60.12.13.01	D/B	60.12.17.01	B
60.12.10.01	B	60.12.13.02	A	60.12.17.02	B
60.12.10.02	B	60.12.14.01	B	60.12.17.03	B
60.12.10.03	B	60.12.15.01	D/E	60.12.17.04	B
60.12.11.01	D/B	60.12.15.02	B		

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
60.13.01.01	D	60.13.12.01	D	60.13.14.01	B
60.13.02.01	D	60.13.12.02	D	60.13.15.01	D
60.13.10.01	E	60.13.13.01	A		
60.13.11.01	B	60.13.13.02	A		
60.14.01.01	A	60.14.11.03	A	60.14.14.02	A
60.14.02.01	B	60.14.11.04	A	60.14.14.03	A
60.14.10.01	A	60.14.12.01	.	60.14.15.01	B
60.14.10.02	A	60.14.12.02	B	60.14.15.02	B
60.14.10.03	A	60.14.13.01	A	60.14.16.01	A
60.14.10.04	A	60.14.13.02	A	60.14.17.01	A
60.14.11.01	A	60.14.13.03	A	60.14.17.02	.
60.14.11.02	A	60.14.14.01	A		
65.01.02.01	./B	65.01.05.02	A	65.01.06.04	.
65.01.05.01	D	65.01.06.01	./B	65.01.07.01	B
65.11.01.01	A	65.11.02.03	A	65.11.04.02	A
65.11.01.02	A	65.11.03.01	A	65.11.05.01	A
65.11.01.03	A	65.11.03.02	A	65.11.05.02	B
65.11.02.01	A	65.11.03.03	A		
65.11.02.02	A	65.11.04.01	A		
65.12.01.01	B	65.12.02.01	B	65.12.03.01	B
65.12.01.02	B	65.12.02.02	B	65.12.03.02	B
65.12.01.03	A	65.12.02.03	A		
65.13.01.01	A	65.13.02.02	B	65.13.04.01	A
65.13.01.02	A	65.13.03.01	A	65.13.05.01	A
65.13.01.03	A	65.13.03.02	A	65.13.05.02	A
65.13.02.01	A	65.13.03.03	A		
65.14.01.01	A	65.14.02.03	A	65.14.04.02	D
65.14.01.02	A	65.14.03.01	A	65.14.05.01	B
65.14.01.03	A	65.14.03.02	A	65.14.05.02	D
65.14.02.01	A	65.14.03.03	A	65.14.05.03	B
65.14.02.02	A	65.14.04.01	D		
70.01.01.01	B	70.01.09.02	B	70.01.16.01	./U
70.01.02.01	D	70.01.10.01	B	70.01.17.01	A/B
70.01.03.01	B	70.01.12.01	B	70.01.18.01	B
70.01.03.03	D	70.01.13.01	D/B	70.01.19.01	B
70.01.03.04	.	70.01.14.01	B	70.01.20.01	B
70.01.09.01	B	70.01.15.01	B	70.01.20.02	D/U
70.02.01.01	D	70.02.06.01	.	70.02.12.01	D
70.02.02.01	D	70.02.06.02	D	70.02.12.02	D
70.02.03.01	D	70.02.06.03	.	70.02.13.01	E
70.02.05.02	D	70.02.07.01	D		
70.02.05.03	D	70.02.08.01	B		
70.02.05.04	D	70.02.09.01	D		
70.02.05.05	D	70.02.10.01	D		
70.11.01.01	D	70.11.16.01	D	70.11.27.03	D
70.11.02.01	D	70.11.17.01	D	70.11.27.04	D
70.11.02.02	D	70.11.18.01	D	70.11.27.05	D/B
70.11.02.03	E	70.11.19.01	D	70.11.27.06	D
70.11.06.01	D	70.11.20.01	D/F	70.11.27.07	D
70.11.07.01	D	70.11.21.01	D	70.11.28.01	D
70.11.08.01	D	70.11.22.01	D	70.11.28.02	D
70.11.09.01	B	70.11.23.01	B	70.11.28.03	D
70.11.11.01	B	70.11.24.01	D	70.11.28.04	D
70.11.12.01	D	70.11.25.01	D	70.11.28.05	D
70.11.13.01	B	70.11.26.01	D	70.11.28.06	D
70.11.14.01	D	70.11.27.01	E	70.11.28.07	D



GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
70.11.15.01	D	70.11.27.02	D		
70.12.02.01	D	70.12.08.01	B	70.12.20.02	B
70.12.02.02	D	70.12.09.01	D/B	70.12.21.01	D
70.12.03.01	D	70.12.11.01	B	70.12.22.01	D/B
70.12.03.02	D	70.12.14.01	E	70.12.22.02	.
70.12.03.03	D	70.12.16.01	D	70.12.23.01	D
70.12.05.01	B	70.12.18.01	D	70.12.24.01	B
70.12.06.01	E	70.12.19.01	D		
70.12.07.01	B	70.12.20.01	D		
70.13.01.01	A	70.13.08.01	A	70.13.14.02	A
70.13.02.01	A	70.13.09.01	A	70.13.15.01	A
70.13.03.01	A	70.13.10.01	A	70.13.16.01	A
70.13.04.01	A	70.13.11.01	A	70.13.16.02	A
70.13.04.02	A	70.13.12.01	A	70.13.17.01	B
70.13.05.01	A	70.13.13.01	A	70.13.17.03	E
70.13.07.01	A	70.13.14.01	A		
70.14.01.01	B	70.14.03.04	E	70.14.11.02	B
70.14.01.02	B	70.14.04.01	D	70.14.12.01	D/B
70.14.01.03	B	70.14.05.01	D	70.14.13.01	B
70.14.01.04	B	70.14.06.01	B	70.14.15.01	D
70.14.02.01	B	70.14.07.01	D/B	70.14.16.01	./E
70.14.02.02	B	70.14.08.01	D/B	70.14.16.02	D
70.14.03.01	D	70.14.09.01	D	70.14.16.03	D
70.14.03.02	D	70.14.10.01	D	70.14.17.01	B
70.14.03.03	D	70.14.11.01	B	70.14.18.01	D
76.01.01.20	A	76.01.02.10	A	76.01.03.05	A
76.01.01.22	A	76.01.02.11	A	76.01.03.06	A
76.01.02.04	A	76.01.02.12	A	76.01.03.09	A
76.01.02.05	A	76.01.02.13	A	76.01.03.10	A
76.01.02.06	A	76.01.03.01	A	76.01.03.11	A
76.01.02.07	A	76.01.03.02	A	76.01.03.12	A
76.01.02.08	A	76.01.03.03	A	76.01.03.14	A
76.01.02.09	A	76.01.03.04	A	76.01.03.15	A
76.01.03.16	A	76.01.04.06	A	76.01.04.14	A
76.01.03.17	A	76.01.04.07	A	76.01.04.15	A
76.01.03.18	A	76.01.04.08	A	76.01.04.16	A
76.01.03.19	A	76.01.04.09	A	76.01.04.17	A
76.01.03.20	A	76.01.04.10	A	76.01.04.18	A
76.01.04.01	A	76.01.04.11	A	76.01.05.01	A
76.01.04.02	A	76.01.04.12	A	76.01.05.02	A
76.01.04.03	A	76.01.04.13	A	76.01.05.03	A
76.01.05.04	A	76.01.05.12	A	76.01.06.04	A
76.01.05.05	A	76.01.05.13	A	76.01.06.05	A
76.01.05.06	A	76.01.05.14	A	76.01.06.06	A
76.01.05.07	A	76.01.05.15	A	76.01.06.07	A
76.01.05.08	A	76.01.05.16	A	76.01.06.08	A
76.01.05.09	A	76.01.06.01	A	76.01.06.09	A
76.01.05.10	A	76.01.06.02	A	76.01.06.10	A
76.01.05.11	A	76.01.06.03	A	76.01.06.11	A
76.01.06.12	A	76.01.07.04	A	76.01.07.12	A
76.01.06.13	A	76.01.07.05	A	76.01.07.13	A
76.01.06.14	A	76.01.07.06	A	76.01.07.14	A
76.01.06.15	A	76.01.07.07	A	76.01.08.01	A
76.01.06.16	A	76.01.07.08	A	76.01.08.02	A
76.01.07.01	.	76.01.07.09	A	76.01.08.03	A
76.01.07.02	A	76.01.07.10	A	76.01.08.04	A
76.01.07.03	A	76.01.07.11	A	76.01.08.05	A

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
76.01.08.06	A	76.01.08.09	A	76.01.08.12	A
76.01.08.07	A	76.01.08.10	A	76.01.08.13	A
76.01.08.08	A	76.01.08.11	A	76.01.08.14	A
76.11.01.01	B	76.11.03.01	B	76.11.05.02	A
76.11.01.02	B	76.11.03.02	B	76.11.06.01	A
76.11.02.01	A	76.11.04.01	A	76.11.06.02	A
76.11.02.02	./B	76.11.04.02	A	76.11.07.01	B
76.11.02.03	B	76.11.05.01	A		
76.12.01.01	B	76.12.06.01	B	76.12.10.01	B
76.12.02.01	B	76.12.07.01	B	76.12.11.01	A
76.12.03.01	B	76.12.08.01	B	76.12.11.02	A
76.12.04.01	B	76.12.09.01	A	76.12.12.01	B
76.12.05.01	B	76.12.09.02	A	76.12.12.02	D
76.13.01.01	B	76.13.02.02	A	76.13.03.04	./C
76.13.01.02	B	76.13.02.03	B	76.13.04.01	./U
76.13.01.03	B	76.13.03.01	B	76.13.04.02	B
76.13.01.04	./A	76.13.03.02	B	76.13.05.01	B
76.13.02.01	A	76.13.03.03	B		
76.14.01.01	D	76.14.03.01	B	76.14.05.01	D
76.14.01.02	D	76.14.03.02	B	76.14.05.02	D
76.14.01.03	D	76.14.03.03	D	76.14.05.03	D
76.14.01.04	B	76.14.04.01	B	76.14.06.01	B
76.14.02.01	D	76.14.04.02	B		
76.14.02.02	D	76.14.04.03	B		
80.01.01.01	B	80.01.03.04	./A	80.01.05.01	D
80.01.02.01	D	80.01.04.01	./C	80.01.05.02	
80.01.03.01	B	80.01.04.02	E/F	80.01.09.01	D/U
80.01.03.02	B	80.01.04.03	E	80.01.09.02	./E
80.01.03.03	B	80.01.04.04	B		
80.02.01.01	B	80.02.05.01	B	80.02.07.01	B
80.02.02.01	B	80.02.05.02	B	80.02.08.01	B
80.02.03.01	B	80.02.05.03	B	80.02.09.01	B
80.02.04.01	B	80.02.05.04	B		
80.02.04.02	B	80.02.06.01	B		
80.11.01.01	B	80.11.08.02	B	80.11.15.01	B
80.11.02.01	D	80.11.08.03	B	80.11.15.02	B
80.11.03.01	B	80.11.09.01	D	80.11.15.03	B
80.11.04.01	D	80.11.10.01	B	80.11.16.01	B
80.11.05.01	B	80.11.11.01	B	80.11.17.01	B
80.11.06.01	B	80.11.12.01	D	80.11.18.01	B
80.11.07.01	B	80.11.13.01	D		
80.11.08.01	B	80.11.14.01	B		
80.12.01.01	B	80.12.08.01	B	80.12.14.01	B
80.12.02.01	./B	80.12.09.01	B	80.12.14.02	B/A
80.12.03.01	B	80.12.10.01	D	80.12.15.01	D
80.12.04.01	B	80.12.11.01	B	80.12.16.01	D
80.12.05.01	B	80.12.12.01	B	80.12.16.02	./D
80.12.06.01	D	80.12.13.01	D/B	80.12.17.01	D
80.12.07.01	D	80.12.13.02	B		
80.13.01.01	./A	80.13.07.01	E	80.13.09.03	B
80.13.02.01	B	80.13.07.02	A	80.13.10.01	B/A
80.13.03.01	B	80.13.07.03	A	80.13.11.01	A
80.13.04.01	B	80.13.08.01	A	80.13.12.01	A
80.13.05.01	./A	80.13.09.01	E/F	80.13.01.01	B
80.13.06.01	A	80.13.09.02	A		

GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse	GRUMONR	Klasse
80.14.02.01	D	80.14.06.01	B	80.14.10.01	B
80.14.03.01	B	80.14.07.01	B	80.14.11.01	B
80.14.04.01	B	80.14.08.01	B		
80.14.05.01	B	80.14.09.01	B		

Clusteranalysen er gennemført i to trin, som dokumenteret i det følgende.

Data er først opdelt i 50 grupper ved hjælp af FASTCLUS proceduren (SAS, 1989).

Disse grupper er derefter opdelt i clustre (6 modale clustre) ved hjælp af CLUSTER proceduren (SAS, 1989)- "Two stage density linkage".

Gennemsnit af de 6 stoffer, der indgår i clusteranalysen (FASTCLUS data):

Cluster	CA	MG	HCO <sub>3</sub>	CL	SO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> AGG	Hovedklasse
1	106.6	8.5	236.7	33.7	90.2	4.8	D
2	126.5	10.6	238.2	93.5	77.8	9.6	D
3	100.4	9.7	279.7	26.6	61.7	2.3	D
4	150.3	10.7	286.9	150.9	68.1	1.0	D
5	40.6	5.1	39.4	95.4	41.6	17.2	A
6	54.9	4.4	133.7	25.9	33.3	12.6	B
7	188.4	11.8	361.4	24.0	199.0	3.7	C
8	82.7	6.6	176.3	34.5	50.7	5.0	B
9	63.0	4.9	121.9	83.8	46.4	0.0	B
10	24.3	6.7	17.6	26.8	40.0	29.0	A
11	202.4	10.2	408.6	90.9	99.2	3.7	C
12	171.0	16.7	410.6	82.8	99.2	54.0	C
13	119.5	9.0	269.5	48.9	61.8	2.9	D
14	121.3	12.5	319.5	35.8	81.5	2.3	D
15	126.2	16.6	455.5	36.8	24.3	0.0	E
16	69.8	36.1	479.0	29.5	12.0	1.4	F
17	85.0	7.0	255.4	26.8	28.0	2.8	D
18	99.0	11.8	321.1	32.9	27.2	1.9	E
19	130.8	14.3	263.2	47.0	138.8	4.0	D
20	77.3	12.2	203.2	126.3	41.0	3.5	D
21	24.9	12.0	9.2	85.4	36.0	86.4	A
22	82.2	6.4	154.2	32.6	96.0	3.9	B
23	141.3	13.7	335.3	99.9	51.1	2.3	D
24	74.8	10.6	298.2	22.8	18.5	2.4	E
25	25.5	9.9	25.2	30.2	101.0	39.4	A
26	225.3	21.9	517.0	116.3	112.3	1.6	C
27	118.5	8.3	182.3	41.8	127.1	17.2	D
28	21.4	7.1	8.9	30.3	56.8	72.0	A
29	207.7	31.9	431.5	137.4	203.9	0.0	C
30	64.0	19.8	459.9	43.9	74.4	7.4	E
31	79.5	6.3	197.9	37.1	31.8	43.7	B
32	87.9	19.7	405.8	21.7	10.5	3.3	E
33	149.7	14.9	366.9	49.2	113.3	0.9	C
34	158.5	21.6	218.6	214.7	70.6	11.2	D
35	84.6	34.9	525.3	32.9	19.2	0.3	F
36	96.8	18.2	319.7	137.2	101.3	2.8	D
37	136.2	15.2	395.5	40.6	82.3	1.5	C
38	163.1	13.6	306.3	58.5	159.2	2.3	D
39	154.8	18.2	336.6	116.8	141.9	4.5	C
40	124.0	29.5	22.4	46.5	59.3	83.0	A
41	145.3	14.8	355.6	44.4	147.3	4.5	C
42	12.3	6.5	10.0	32.8	20.6	34.8	A
43	111.9	12.0	353.3	25.8	40.0	2.1	E
44	61.7	5.6	197.3	21.8	18.3	4.9	B
45	67.4	21.3	354.7	134.3	18.7	4.4	E
46	48.0	5.7	90.2	29.9	50.7	24.0	A
47	101.0	19.4	407.9	58.8	23.8	4.2	E
48	83.9	14.8	350.3	22.1	16.7	4.8	E
49	40.8	11.7	372.8	32.4	19.1	6.8	E
50	20.0	5.6	65.6	22.0	24.1	21.5	A

## Standardafvigelse (FASTCLUS data):

Cluster	CA	MG	HCO <sub>3</sub>	CL	SO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> AGG	Hovedklasse
1	12.8	3.2	20.1	12.0	15.4	4.5	D
2	21.9	4.3	21.8	21.1	22.5	10.6	D
3	10.7	3.8	15.1	7.6	12.0	2.2	D
4	24.4	2.3	26.8	9.1	16.1	1.8	D
5							A
6	14.4	2.3	14.8	9.0	14.4	11.7	B
7	12.7	2.4	16.8	7.4	15.6	3.0	C
8	14.1	3.5	18.2	10.8	12.7	6.1	B
9	4.9	1.5	15.1	11.6	15.1	0.0	B
10	8.8	4.2	9.3	8.2	13.0	8.3	A
11	9.4	1.9	23.1	28.0	16.2	0.3	C
12	14.3	4.0	15.4	29.7	1.9		C
13	12.8	2.8	16.5	14.5	16.4	4.7	D
14	13.2	4.0	14.8	11.5	17.7	2.7	D
15	10.0	10.7	22.0	11.1	16.2	0.0	E
16	13.6	13.8	13.7	17.0	9.8	2.0	F
17	12.8	3.6	16.5	10.0	11.2	4.0	D
18	9.0	3.6	8.4	12.7	9.0	3.7	E
19	14.3	14.9	17.5	15.2	20.5	4.2	D
20	17.9	7.8	8.8	32.3	32.6	0.6	D
21	7.8	5.7	4.4	15.5	9.2	9.1	A
22	8.3	3.3	24.3	10.7	11.4	3.4	B
23	19.1	4.4	17.5	11.6	22.6	2.2	D
24	12.7	3.5	13.6	8.3	11.6	1.9	E
25	7.0	3.5	24.5	5.7	17.1	16.5	A
26	35.4	4.4	47.7	33.2	60.2	2.3	C
27	12.8	3.5	15.8	8.2	31.2	20.1	D
28	12.5	3.7	5.8	11.3	22.1	12.2	A
29	11.0	6.1	45.7	60.2	9.5		C
30	16.8	7.2	13.1	17.7	28.1	10.1	E
31	18.9	2.3	14.8	9.6	12.1	12.4	B
32	18.1	9.3	15.7	6.8	12.4	4.2	E
33	10.0	4.9	20.3	13.0	8.6	1.1	C
34	26.7	4.8	27.1	42.2	40.3		D
35	6.5	22.5	9.7	26.3	8.7	0.6	F
36	7.6	3.1	16.1	21.0	28.0	0.7	D
37	20.8	5.0	19.6	10.7	14.9	2.7	C
38	35.5	5.6	13.5	20.6	24.1	2.8	D
39	17.0	5.9	30.6	8.5	27.0	3.8	C
40							A
41	15.9	3.4	30.9	15.1	10.9	9.3	C
42	8.1	4.0	7.6	12.5	6.6	13.4	A
43	10.9	3.8	14.0	7.7	13.4	2.2	E
44	10.6	3.4	17.5	9.3	10.3	5.5	B
45	16.7	7.2	29.6	39.9	5.7	0.8	E
46	12.1	3.6	12.4	7.1	17.2	19.2	A
47	17.5	5.4	19.7	17.6	16.1	4.5	E
48	10.6	6.3	15.7	6.3	7.2	7.2	E
49	2.9	1.4	18.8	17.9	15.2	3.0	E
50	12.3	3.6	14.9	6.5	8.6	9.2	A

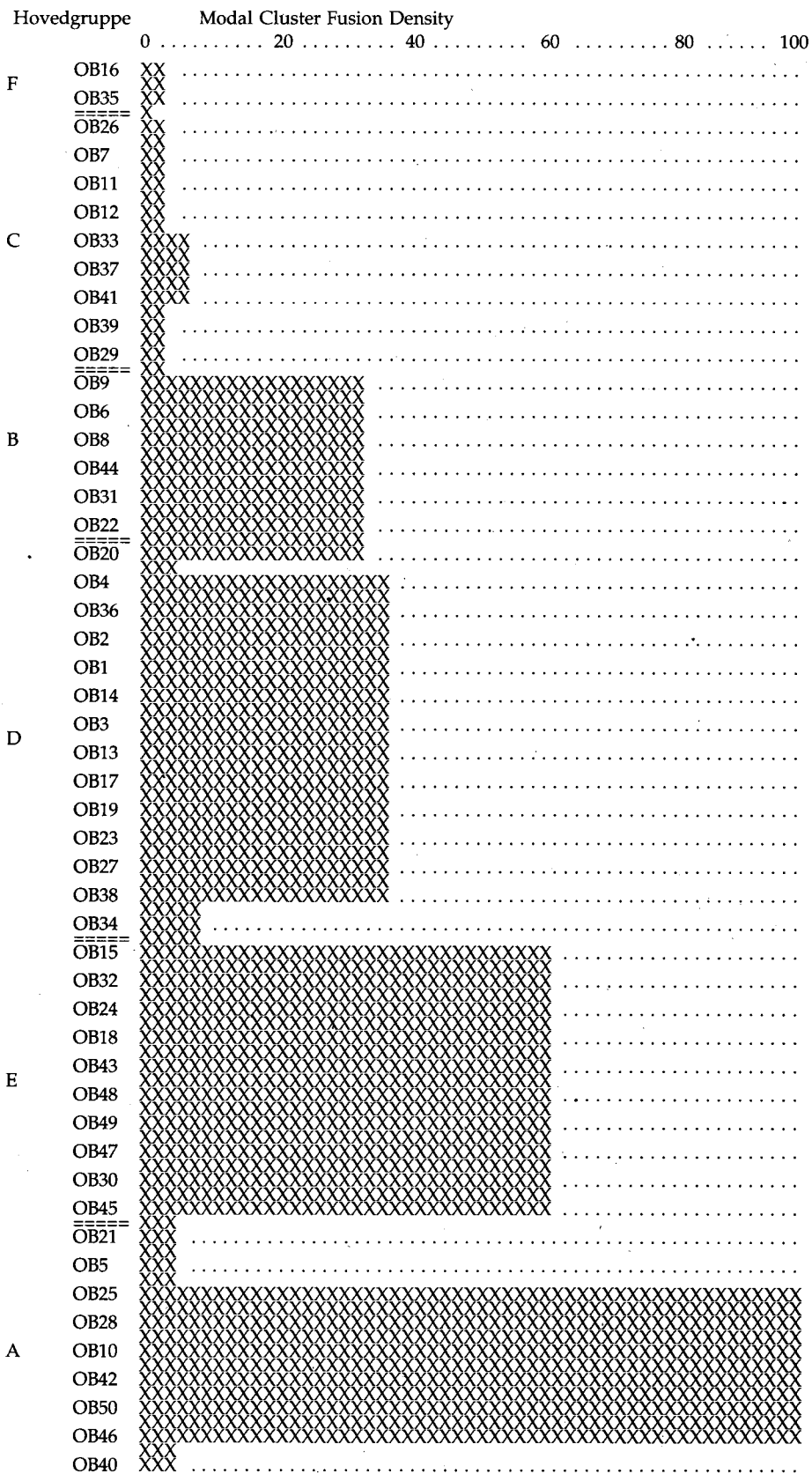
## Cluster resultat - "Two stage density linkage":

Antal af clustre	--Cluster par-- (Hovedgrupper)	Frekvens af nye clustre	Normaliseret "Fusion Density"
49	OB10 (A) OB42 (A)	113	57.8840
48	OB43 (E) OB18 (E)	76	17.3026
47	CL48 OB48 (E)	107	17.2591
46	CL47 OB24 (E)	129	15.4809
45	CL49 OB50 (A)	206	14.1768
44	OB3 (D) OB13 (D)	75	12.6411
43	CL44 OB17 (D)	135	10.6506
42	CL45 OB28 (A)	228	9.8137
41	CL42 OB46 (A)	255	9.4914
40	OB44 (B) OB8 (B)	123	8.7033
39	CL43 OB14 (D)	190	5.8859
38	CL40 OB31 (B)	142	5.8760
37	CL39 OB1 (D)	236	4.2509
36	CL38 OB6 (B)	199	3.9651
35	CL41 OB25 (A)	268	3.4802
34	CL36 OB22 (B)	217	3.2590
33	CL46 OB49 (E)	132	3.1168
32	CL33 OB32 (E)	159	2.6136
31	CL32 OB47 (E)	178	2.1635
30	CL35 OB5 (A)	269	1.7367
29	OB37 (C) OB33 (C)	38	1.6443
28	CL34 OB9 (B)	220	1.4737
27	CL29 OB41 (C)	49	1.3661
26	CL37 OB19 (D)	261	1.1560
25	CL30 OB21 (A)	276	0.7859
24	CL26 OB2 (D)	274	0.7853
23	CL24 OB23 (D)	283	0.7344
22	CL23 OB27 (D)	287	0.7009
21	CL31 OB15 (E)	184	0.6325
20	OB16 (F) OB35 (F)	11	0.4887
19	CL22 OB38 (D)	300	0.3326
18	CL28 OB20 (D)	223	0.2618
17	CL27 OB12 (C)	51	0.2066
16	CL17 OB11 (C)	56	0.1815
15	CL21 OB30 (E)	189	0.1776
14	CL16 OB39 (C)	62	0.1694
13	CL19 OB36 (D)	305	0.1680
12	CL14 OB7 (C)	67	0.1508
11	CL13 OB4 (D)	308	0.1086
10	CL15 OB45 (E)	197	0.0885
9	CL25 OB40 (A)	277	0.0609
8	CL11 OB34 (D)	310	0.0286
7	CL12 OB29 (C)	72	0.0192
6	CL7 OB26 (C)	76	0.0041

Der er nu dannet 6 modale clustre, der er således forbundet

5	CL8 CL10	507	7.5048
4	CL5 CL18	730	3.7932
3	CL4 CL9	1007	3.5995
2	CL3 CL6	1083	1.5177
1	CL2 CL20	1094	0.3846

"Two-Stage Density Linkage Clustering"



Bilag 3: Væsentlige elementer til forklaring af hovedelementernes fordeling, baseret på eksisterende viden og resultater i denne rapport.

Stof	Høje indhold afspejler ...	Grundvand med høje indhold er ...	Dominerende kilder	Bemærkninger
pH	kalkholdigt miljø		kalkholdige jordlag	særligt høje værdier ved ionbytning
Kalium	forurening fra overfladen	ungt og overfladenært	husdyrgødning, spildevand og lossepladsperkolat	høje indhold kan også forekomme i salt grundvand
Ammonium	lavt redoxpotentiale og eventuelt forurening fra overfladen	gammelt dybtliggende eller i kontakt med punktkilder på overfladen	jordlag med organisk stof evt. af marin oprindelse eller punktkilder som husdyrgødning og lossepladsperkolat	
Klorid	marint infiltrationsvand eller optrængende saltvand	kystnært eller gammelt og dybtliggende	infiltrerende havvand eller optrængende salt grundvand	arealbelastning i form af gødning eller vejsalt kan give moderat forhøjet kloridindhold
Sulfat	pyritforvitring eller særlige punktkilder	oftest hårdt og med en stor andel af blivende hårdhed	pyritholdige jordlag eller perkolat fra lossepladser og flyveaskedepoter	oxidation af pyritholdige jordlag er den dominerende kilde
Bikarbonat	kalkholdige jordlag eller ionbytning	relativt hårdt eller ionbyttet	kalkholdige jordlag eller marine ionbytende jordlag	Bikarbonat-ionen deltager ikke i selve ionbytningen
Nitrat	påvirkning fra dyrkede arealer	relativt ungt og med højt redoxpotentiale	handelsgødning, husdyrgødning og spildevand	
Fosfor	kontakt med dybere liggende marine jordlag eller forurening fra overfladen	gammelt med lavt redoxpotentiale eller forurennet fra overfladen	dybereliggende jordlag af marin oprindelse eller husdyrgødning og spildevand	forurening af grundvand med fosfor fra overfladen er relativt sjældent
Calcium	kalkholdige jordlag	hårdt	kalkholdige jordlag	
Magnesium	påvirkning fra marine aflejringer	oftest ionbyttet	marint saltvand eller mineralvand	
Natrium	saltvandspåvirkning og/eller ionbytning	oftest kystnært eller dybtliggende	marint infiltrationsvand, mineralvand eller ler af marin oprindelse	moderat forhøjet indhold kan skyldes vejsalt eller gødning
Jern	reducerende og/eller sure forhold	reduceret og/eller surt	naturligt forekommende jernforbindelser i jordlagene	jern i oxideret form (FeIII) er kun opløseligt under meget sure forhold, pH < 5.

fortsættes...

Bilag 3: Fortsat.

Stof	Høje indhold afspejler ...	Grundvand med høje indhold er ...	Dominerende kilder	Bemærkninger
Mangan	Lavt redoxpotentiale og evt. sure forhold	Reduceret og evt. surt	naturlige manganholdige sedimenter	
Nitrit	mikrobiologisk aktivitet	forurenet	husdyrgødning, spildevand eller andre kvælstofholdige organiske stoffer	nitrit kan også dannes ved mikrobiologisk reduktion af nitratholdigt grundvand
Kuldioxid	underskud af kalk	ofte surt og blødt	biologisk aktivitet og opløsning af kalk	jordluften har et langt højere indhold af kuldioxid end atmosfærisk luft
Permanganat	lavt redoxpotentiale og oftest tillige høj pH	gammelt og ofte ionbyttet, "brunt vand", eller ungt og stærkt forurenet	naturlige sedimenter med højt indhold af organisk stof eller husdyrgødning, spildevand, lossepladsperskolat o.l.	reducerende stoffer som ferrojern og svovlbrinte vil også indgå i permanganattallet
Fluorid	påvirkning fra mineralvand eller specielle marine sedimenter	gammelt, dybtliggende og ofte ionbyttet	mineralvand, marine sedimenter og fluorholdige bjergarter	særlige fluorholdige bjergarter forekommer på Bornholm
Silicium	forsuringsprocesser	ungt	jordlagenes siliciumholdige mineraler	
NVOC	lavt redoxpotentiale og oftest tillige høj pH	gammelt, dybtliggende og ofte ionbyttet, "brunt vand", eller ungt og stærkt forurenet	naturlige sedimenter med højt indhold af organisk stof eller husdyrgødning, spildevand, lossepladsperskolat o.l.	NVOC betyder "ikke volatile organiske kulstofforbindelser". Uorganiske reducerende stoffer indgår ikke i NVOC
Ilt	højt redoxpotentiale	ungt og overfladenært	atmosfærisk luft og jordluft fra den umættede zone	
Svovlbrinte	meget lavt redoxpotentiale og sulfatreduktion	gammelt og dybtliggende eller forurenet fra punktkilder som f.eks. lossepladser	sulfat og andre naturlige svovlforbindelser	punktkilder som f.eks. lossepladser kan også tilføre grundvandet svovlbrinte
Metan	meget lavt redoxpotentiale	gammelt og dybtliggende eller forurenet fra punktkilder som f.eks. lossepladser	naturlige sedimenter med højt indhold af organisk stof eller punktkilder som f.eks. lossepladser	
Tritium	grundvand dannet efter 1954	relativt ungt	nedbør efter atmosfæriske atomprøvesprængninger	



**Bilag 4: Det gennemsnitlige indhold, i mg/ l eller TU, og det samlede antal analyser for hovedkomponenterne i hver af grundvandets seks hovedklasser. Kun data fra overvågningsområderne indgår.**

• Gennemsnitsindhold

Hoved klasse	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Mg	HCO <sub>3</sub>	Ca	Na	K	F	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Perm.	Fe	Mn	tot-P	PO <sub>4</sub> -P	hårdh	NH <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Tr
A	37,5	38,6	30,3	6,3	36,2	27,2	16,1	3,8	0,2	0,04	41,0	11,8	2,2	0,41	0,06	0,03	5,3	0,07	19,8	5,5	0,02	0,08	6,0	22,7
B	11,7	37,4	31,0	5,6	172,0	69,1	18,0	1,7	0,2	0,08	35,3	11,1	2,3	0,31	0,10	0,11	10,8	0,12	35,5	3,4	0,01	0,17	7,5	23,9
C	6,4	117,0	65,5	15,1	383,0	156,0	32,4	4,8	0,3	0,07	13,3	7,3	1,8	0,26	0,08	0,07	24,6	0,18	15,0	1,5	0,04	0,08	7,4	26,9
D	5,3	74,2	45,7	10,6	277,0	113,0	26,1	3,2	0,3	0,06	23,7	9,7	2,1	0,26	0,09	0,06	18,1	0,21	23,5	1,9	0,07	0,09	7,5	24,6
E	5,1	27,4	32,0	14,4	357,0	95,3	28,8	3,7	0,5	0,03	4,1	7,8	2,5	0,19	0,16	0,14	16,9	0,64	22,9	1,3	0,05	1,08	7,5	9,5
F	6,1	14,0	35,8	34,2	482,0	75,1	60,1	5,3	1,7	0,02	0,8	6,5	2,1	0,09	0,10	0,11	17,7	0,74		1,1	0,04	0,08	7,5	5,9

Antal analyser

Hoved klasse	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Mg	HCO <sub>3</sub>	Ca	Na	K	F	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Perm.	Fe	Mn	tot-P	PO <sub>4</sub> -P	hårdh	NH <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	pH	Tr
A	1779	1912	1914	1975	1716	1975	1740	1861	262	632	1641	963	842	1487	1397	698	1328	1206	815	1417	251	134	1530	322
B	589	2097	2239	2202	2175	2203	1993	2141	1200	902	1244	1156	855	1553	1906	474	1572	1525	375	1329	425	383	2221	1085
C	91	775	809	804	774	723	775	805	625	495	468	590	630	737	617	267	471	649	162	438	205	231	806	536
D	602	3215	3361	3344	3199	3353	3092	3309	2556	1394	1482	2285	2056	2838	2649	927	1922	2682	571	1747	675	685	3470	2339
E	455	2310	2589	2552	2492	2555	2454	2571	2136	1040	826	2078	1959	2294	2221	978	1676	2319	532	1196	656	1130	2513	1161
F	6	142	155	150	144	150	148	149	140	65	69	114	115	103	130	39	144	135	0	102	92	110	129	68



**Bilag 5: DGU's standard jordartssymboler.**

Symbol	Jordart
bk	Bryozokalk
dg	Smeltevandsgrus
di	Smeltevandssilt
dl	Smeltevandsler
ds	Smeltevandssand
gl	Glimmerler
gs	Glimmersand
kg	Kvartsgrus
ks	Kvartssand
ml	Moræneler
ms	Morænesand
ql	Interglacialt marint ler
sk	Skrivekridt
ys	Senglacialt marint sand



**Bilag 6: Det gennemsnitlige indhold og det samlede antal af analyser for uorganiske sporstoffer i hver af grundvandets seks hovedklasser. Cadmium og kviksølv er angivet i ng/ l, mens alle øvrige angivelser er i µg/ l. Kun data fra overvågningsområderne indgår.**

Gennemsnitsindhold

Hoved-klasser	As	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Cr	Hg	Mo	Al	Ba	Li	Sr	Br
A	0,7	0,5	24,1	6,9	25,1	1,1	0,5	9,3	0,3	226,3	112,4	2,9	147	69,6
B	1,7	0,5	31,5	1,2	17,0	0,8	0,3	4,0	1,2	55,8	72,4	4,0	443	107
C	1,4	1,1	30,1	4,6	20,1	1,6	0,3	4,4	2,3	47,1	111,1	12,4	994	172
D	1,6	0,6	34,1	2,4	13,7	0,9	0,5	5,0	1,7	212,9	96,1	7,6	662	114
E	4,0	0,8	15,6	0,9	6,9	0,6	0,2	3,6	1,6	95,8	96,2	12,1	1403	96,9
F	3,6	0,3	9,8	0,8	5,8	0,6	0,2	5,4	1,2	52,7	184,5	24,4	9906	111

Antal analyser

Hoved klasse	As	Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Cr	Hg	Mo	Al	Ba	Li	Sr	Br
A	186	182	192	267	199	194	194	19	137	281	143	135	142	141
B	270	207	222	299	233	264	245	25	174	62	172	168	175	164
C	69	62	70	75	68	74	65	26	54	63	56	54	54	48
D	331	229	313	433	299	339	318	105	226	221	224	216	227	214
E	213	188	197	208	192	198	198	106	150	184	148	152	156	145
F	17	12	11	13	15	12	15	5	11	14	11	11	11	10



**Bilag 7: Antallet af analyser og procenten af påvisninger for overvågningsprogrammets 8 pesticider i grundvandets seks hovedklasser. Kun data fra overvågningsområderne indgår.**

%	Fenoxysyrer			Fenoler		Triaziner	
	Diklor-prop	MCPA	Meklor-prop	DNOC	Dinoseb	Atrazin	Simazin
A	0	0	0	0	1	4	0
B	3	0	1	0	1	1	1
C	12	2	15	0	0	2	0
D	4	2	2	1	1	2	2
E	2	1	4	1	1	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0

Antal analyser	Fenoxysyrer			Fenoler		Triaziner	
	Diklor-pror	MCPA	Meklor-prop	DNOC	Dinoseb	Atrazin	Simazin
A	112	125	125	125	125	125	126
B	138	128	128	128	128	128	129
C	42	41	41	41	41	41	41
D	199	190	190	190	190	190	190
E	137	128	128	128	128	128	128
F	10	10	10	10	10	10	10

Denne rapportering af grundvandsovervågningen i Danmark er udarbejdet på grundlag af oplysninger fra grundvandsovervågningsområder og landovervågningsoplande, samt analyser udført i forbindelse med vandværkernes boringskontrol. Sammen dækker resultaterne af disse delprogrammer størstedelen af det udnyttede ferske grundvand.

Beskrivelsen af grundvandskvaliteten er blandt andet baseret på en opdeling af grundvandet i seks hovedklasser på grundlag af udvalgte hovedkomponenter. Disse hovedklasser af grundvand, der afspejler forhold som jordens beskaffenhed, redoxforhold, grundvandets alder og overfladepåvirkning, er fordelt i et overordnet regionalt og dybdemæssigt mønster.

Med fire års data til rådighed er grundvandets gennemsnitlige nitratindhold gennem tiden undersøgt på basis af opdelinger af filtrene efter funktion, således at de afspejler strømningsmæssige og dybdemæssige forhold, samt de grundvandskemiske hovedklasser.

Også indholdet af uorganiske sporstoffer i grundvandet er bedømt i relation til disse grupperinger af data, mens påvisninger af pesticider er vurderet i redox sammenhæng.

This report, presenting results of the fourth year of the danish groundwater monitoring programme, includes data from groundwater monitoring areas, agricultural impact monitoring areas, and unfiltered water from production wells. Together this information largely covers the variability of the exploited fresh groundwater.

The description of the quality of the groundwater is a.o. based on grouping of the groundwater into six main classes based on the content of selected main components. The main classes, which reflect aspects such as the lithological composition of the strata, the conditions of reduction or oxidation, the age of the groundwater, and the antropogenic impact on the surface, reflect a general regional and depthwise distribution.

With a four year timeseries at hand the average content of nitrate is investigated in relation to groups of filters representative of flow situations and depth relations as well as the hydrochemical main classes.

The content of inorganic traceelements in groundwater is evaluated relating to the same groups of filters, as for nitrate, while detections of pesticides are seen in a oxidation/reduction context.