

NVOC krav til drikkevand

Vibeke Ernstsén, Carsten Langtofte Larsén
og Lisbeth Tougaard

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
1 INDLEDNING	9
2 LITTERATURGENNEMGANG	10
2.1 KILDE TIL ORGANISK STOF (NVOC) I GRUNDVAND	10
2.2 NVOC I RELATION TIL GEOLOGISK TYPE	11
2.3 NVOC I RELATION TIL ANDRE KEMISKE PARAMETRE	12
3 NVOC-INDHOLD I BORINGSKONTROLANALYSER	16
3.1 ANALYSEDATA - BORINGSKONTROLLEN	16
3.2 NVOC - KONCENTRATIONSNIVEAU	16
3.3 KONCENTRATION AF NVOC MÅLT I OVERVÅGNINGS-PROGRAMMET	17
3.4 NVOC - DYBDEFORDELING	18
3.5 NVOC - GEOGRAFISK FORDELING	18
3.6 NVOC - MAGASINBJERGART	19
3.7 NVOC OG ANDRE FASTSATTE KVALITETSKRAV TIL DRIKKEVAND	19
3.8 NVOC - JERN	19
3.9 NVOC - MANGAN	20
4 NVOC-INDHOLD - UDVIDET KONTROL	21
4.1 DATAGRUNDLAG	21
4.2 NVOC - KONCENTRATIONSNIVEAU	21
4.3 NVOC OG ANDRE FASTSATTE KVALITETSKRAV TIL DRIKKEVAND	22
4.4 NVOC - FARVE	23
4.5 NVOC - TURBIDITET	23
4.6 NVOC - JERN	24
4.7 NVOC - MANGAN	24
4.8 NVOC - KIMTAL VED 22°C OG 37°C	25
5 SAMMENFATNING	27
6 REFERENCER	29

Forord

Der er i tilsynsbekendtgørelsen (nr.871 af 21. september 2001 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg) fastsat et kvalitetskrav til NVOC (non-volatil-organic-carbon) på 4 mg/l til drikkevand. Dette krav erstatter kravet til permanganttal i den tidligere bekendtgørelse fra 1988. Kravet til permangantallet var højst tilladt 12 mg KMnO_4 /liter, men højere værdi kunne fastsættes med særlig godkendelse.

Rapporten har til formål at belyse konsekvenserne ved at lempe kvalitetskravet til NVOC i drikkevand, og i givet fald, hvor meget kravet kan lempes uden at drikkevandskvaliteten forringes markant.

Sammenfatning og konklusioner

Der foreligger kun meget sparsom litteratur, der beskriver forekomsten og mulige årsager til høje NVOC indhold i vand fra danske grundvandsmagasiner.

Det bemærkes at grundvand med høje indhold af organisk stof optræder flere steder i Danmark, ofte i grundvandsmagasiner i eller med afsmitning fra marine tertiære og kvartære aflejringer. Der er typisk tale om artesiske grundvandsmagasiner med ringe gennemstrømning og grundvandet karakteriseret ved lange opholdstider, evt. helt eller delvist hydraulisk afsnøret, og uden mulighed for udvaskning af det opløste organiske stof.

Dannelsen af vand med høje indhold af NVOC skyldes opløsning af organisk stof, der typisk findes indlejret i de marine sedimenter. Baseret på eksisterende viden synes dannelsen af NVOC-rigt vand knyttet til grundvandsmagasiner karakteriseret ved bl.a. ionbytning- og reduktionsprocesser, der medfører markante ændringer i grundvandets indholdet af natriumbicarbonat og calcium samt pH-værdi.

Ionbytningsprocesser fremmer opløseligheden af de organiske stoffer, sandsynligvis både som følge af en hækning af pH-værdierne og en fjernelse af calcium fra opløsningen. Ved ionbytningsprocessen dannes natriumbicarbonat. Øvrige hydrokemiske forhold med pH-værdier over ca. 7 samt lave koncentrationer af calcium (<ca. 50 mg/l Ca) øger ligeledes opløseligheden af organisk stof.

Den geografiske fordeling af indvindingsboringer hvor grænseværdien for NVOC overskrides, leder til den antagelse at grundvand med mere end 4 mg NVOC pr. liter især indvindes i områder hvor det er svært at finde vand af bedre kvalitet og i områder hvor behovet overstiger den tilgængelige ressource af godt vand. I ca. 10% af de boringer hvor grænseværdien overskrides, overskrides også grænseværdier for andre parametre, især kalium, natrium og chlorid.

I boringskontrollata ses en stigende koncentration af jern med stigende koncentration af NVOC. I mere end 75% af de anlæg, hvor grænseværdien for NVOC overskrides i den normale eller den udvidede kontrol overskrides også grænseværdien for andre parametre, især farvetal, turbiditet og jern. Grænseværdierne for kimalt overskrides i ca. 35% af anlæggene, hovedsageligt for kimalt bestemt ved 37°C.

Der er påvist overskridelser på grænseværdien for NVOC på 267 anlæg, hvor den højeste koncentration er målt på 19 mg/l.

Ved en grænseværdi på 6 mg NVOC pr. liter ville der have været overskridelser på 80 anlæg og ved 8 mg NVOC pr. liter på 35 anlæg.

1 Indledning

Der er i tilsynsbekendtgørelsen (nr.871 af 21. september 2001 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg) fastsat et kvalitetskrav til NVOC (non-volatil-organic-carbon) på 4 mg/l til drikkevand. Dette krav erstatter kravet til permanganantal i den tidligere bekendtgørelse fra 1988. Kravet til permanganantallet var højst tilladt 12 mg KMnO_4 /liter, men højere værdi kunne fastsættes med særlig godkendelse.

EU's drikkevandsdirektiv fra 1998 fastsætter ikke krav til NVOC, men alene et krav om, at der ikke må være unormale ændringer i TOC indholdet.

Kravet til NVOC er fastsat for at fastholde et krav til drikkevandets indhold af organisk stof, af hensyn dels til vandets æstetiske kvalitet og dels indflydelsen på vandets mikrobielle kvalitet. Ved fastsættelse af kvalitetskravet var der en forventning om, at der var overensstemmelse mellem det tidligere kvalitetskrav til permanganantallet og den nuværende kvalitetskrav til NVOC,

Kravet til NVOC har ikke en direkte sundhedsmæssig betydning, og da en række vandforsyninger har problemer med at overholde kravet på 4 mg NVOC/l, er der et behov for at belyse, hvilke konsekvenser en lempelse af kvalitetskravet til NVOC vil have på drikkevandets samlede kvalitet.

Desuden er der en række vandforsyninger, der har problemer med overholdelse af kvalitetskravene for farvetal, iltindhold m.m. Farve i drikkevandet kan have en direkte sammenhæng med indholdet af organisk stof, men kan også skyldes andre påvirkninger som f.eks. jern og mangan i drikkevandet. Det vil derfor være nødvendigt, at få belyst hvad en højere NVOC værdi betyder for farvetallet.

Det nærværende projekt omfatter:

- et litteraturstudie over relevante publikationer vedrørende danske grundvandsmagasiner med henblik på at identificere årsagerne til det høje NVOC indhold i drikkevand.
- en beskrivelse af omfanget af problemerne på baggrund af udtræk af de seneste data fra drikkevandsdatabasen hos GEUS på baggrund af:
 - **data fra boringskontrollen**, hvor vandforsyninger med NVOC >4 mg/l C undersøges for indhold af jern og mangan (idet hverken farvetal eller turbiditet indgår i boringskontrollen)
 - **data fra den udvidede kontrol**, hvor vandforsyninger med NVOC > 4 mg/l C undersøges for farve, turbiditet, jern, mangan samt kimaltal bestemt ved 22 °C og 37 °C.
- En gennemgang af resultaterne af udtrækket fra databasen, hvor det vurderes om der er en sammenhæng mellem NVOC og farvetal, jern, mangan, samt hvorvidt et højt NVOC niveau også giver anledning til mikrobielle problemer (forhøjede kimaltal).

2 Litteraturgennemgang

En særlig form for organisk stof i grundvandet er de såkaldte humusforbindelser som kan optræde både som sure og basiske forbindelser. Disse forbindelser giver vandet en brunlig farve og dårlig smag og vanskeliggør desuden vandets rensning, særlig for jern- og manganindhold (Ødum og Christensen, 1936). Høje indhold af organisk stof gør det uegnet til drikkevand (Ødum og Christensen, 1936; Villumsen, 1985; Bruun-Petersen, 1990). Desuden medfører permanganattal omkring 40 at vandbehandlingen er både vanskelig og dyr (Bruun-Petersen, 1990). Vand med indhold af organisk stof har en brunlig farve, der i intensitet spænder fra en farve svarende til "tynd the" til en farve som "sort kaffe" (Bruun-Petersen, 1990). Deraf benævnes "det brune vand". Høje indhold af NVOC medføre ligeledes mulighed for bakterievækst i vandforsyningsanlægget samt dannelse af trihalomethan, når vandet behandles med chlor inden det sendes ud i forsyningssystemet (Grøn et al., 1996).

2.1 Kilde til organisk stof (NVOC) i grundvand

Indholdet af organisk stof i grundvand kan stamme enten fra overfladen eller fra fossilt organisk stof der blev aflejret samtidig med de geologiske materialer, der danner grundvandsmagasinet (Thurman, 1985a).

Indholdet af organisk stof i grundvand er ofte meget lavt. I følge Thurman (1985a) kan dette skyldes 1) grundvandets lange opholdstid (hundrede til tusinde år) hvor tilstedeværende organisk materiale tjener som føde for heterotrofe mikroorganismer. Herved omdannes organisk bundet kulstof og bidrager til alkaliteten i vandet, 2) at organisk stof sorberer til overfladen af sedimenterne i grundvandsmagasinet hvorfra det omdannes ved kemiske og biokemiske processer og desuden 3) at sedimenterne i grundvandsmagasinerne har lave indhold af vandopløseligt organisk stof.

Brunt grundvand er geologisk betinget, og skyldes opløsning af organisk stof. Det brune vand forekommer typisk, hvor langsomt strømmende grundvand på stor dybde er i kontakt med humusholdige sedimenter, f.eks. miocæne aflejringer med glimmersand eller glimmersilt samt kvartære marine aflejringer. De højeste koncentrationer findes således i inter-, sen- og postglaciale aflejringer samt i nogle sandede tertiære aflejringer (Jacobsen, 1995).

Pedersen (1988) tilskriver dannelsen af brun vand bl.a. ionbytnings- og reduktionsprocesser samt en meget lang opholdstid i de stærkt reducerede grundvandsmagasiner. Derfor træffes det brune vand typisk i aflejringer, der er helt eller delvist hydraulisk afsnøret og uden mulighed for udvaskning af det brune vand. Dette kan være forklaringen på at der i forbindelse med indvindingen fra de dybe magasiner ofte ses en stigning i permanganattallet efter nogen tid, hvilket kunne tyde på at bruntvandsførende og delvist afsnørrede dele af aflejringer er blevet aktiveret.

Petersson et al. (1994) bemærker at humus stoffer, i overvejende grad i form af lav-molekylære fulvosyre (en type organisk stof), findes i betydelige koncentrationer i dybe grundvandsmagasiner karakteriseret ved lang opholdstid. Tilstedeværelsen af organisk stof vidner om en meget langsom nedbrydningsrate.

I en undersøgelse af den molekylære sammensætning af NVOC i grundvand med perkolationstider på 37-49 år fra Fjand (NVOC: 33 mg/l C, reduceret og methan holdigt), Kalundborg (NVOC: 6 mg/l C, reduceret med sulfatreduktion) og Bramming (NVOC: 32 mg/l C, reduceret og methanholdigt) ses en betydelig forskel i fordelingen af høj-, mellem-, og lavmolekylære forbindelser (Grøn, 1989). Den højmolekylære fraktion er forbindelser karakteriseret ved molekyelvægt større end 10.000 gram per mol, den mellem-molekylære fraktion ved en molekyelvægt mellem 500 og 10.000 gram per mol og den lavmolekylære fraktion ved molekyelvægt mindre end 500 gram per mol. Således udgør de højmolekylære forbindelser næsten 50% i det NVOC-rige vand fra Fjands og Bramming mens den stort set ikke er tilstede i vandet fra Kalundborg hvor den lavmolekylære fraktionen udgør næsten 75 %. Den lavmolekylære fraktion findes kun i en meget ringe mængde ved Fjands hvor mellem-molekylære fraktion dominerer, mens stort set det modsatte gør sig gældende ved Bramminge.

2.2 NVOC i relation til geologisk type

Grundvand med høje indhold af organisk stof optræder flere steder i Danmark, ofte i grundvandsmagasiner i nærhed af marine tertiære og kvartære sedimente (Villumsen, 1985). I kvartære sedimente eventuelt i forbindelse med opskudte flager af miocæn glimmerler (Dinesen, 1989). Pedersen (1988) beskriver at brunt vand typisk forekommer i artesiske grundvandsmagasiner.

Høje koncentrationer af NVOC findes i Ribe Amt, Sønderjyllands Amt, Vejle Amt og Ringkøbing Amt i bl.a. miocæn sand og smeltevandssand. I Nordjyllands Amt er brunt grundvand fundet i post- og senglacialt sand. I Frederiksborg Amt findes brunt grundvand i forbindelse med sandede og grusede smeltevandssedimenter samt i forbindelse med marine kvartære aflejringer fra mellemistiden Eem. Et højt indhold af organisk stof på Als skyldes formentlig ligeledes aflejringer fra Eem Nygaard, 1991; Jacobsen, 1995).

Pedersen (1988) beskriver at brunt vand især findes i dybe borer i Vestjylland, hvor det er knyttet til geologiske aflejringer fra den mellemste og nederste del af den marine lagserie. Desuden træffes brunt vand i forbindelse med marine interglaciale (Holstein) og postglaciale lag. Pedersen (1988) bemærker desuden at det brune vand ofte er knyttet til marine sedimente.

I en undersøgelse af vandprøver fra grundvandsmagasiner i Sydvestjylland beskriver Jørgensen et al. (1999) at brunt vand med høje indhold af NVOC med megen stor sandsynlighed stammer fra Miocæne aflejringer. Denne konklusion drages på baggrund af bl.a. målinger af to strontium-isotoper ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) samt koncentrationen af strontium, hvor strontium isotoperne antages at stamme fra kalkholdigt skeletdele af Miocæn alder i enten glacialt transporteret sedimente og/eller ved den hydrauliske kontakt mellem grundvandsmagasinet af Miocæn og kvartær alder. Undersøgelsen omfattede med få undtagelser analyser af dybtliggende grundvand udtaget i 50 til 172

meters dybde. I de mest overfladenære vandsprøver der blev udtaget fra grundvandsmagasiner i kvartære postglaciale, fluvioglaciale og interglaciale aflejringer blev koncentrationen af NVOC målt til mellem 0,3 og 1,5 mg/l NVOC. I flere borerne steg indholdet af NVOC markant dybere nede i magasiner og blev i en enkelt boring målt til 350 mg/l NVOC. Høje koncentrationer af NVOC blev målt i såvel kvartære som miocæne sandede magasiner og uden signifikante forskelle mellem de undersøgte magasintyper.

2.3 NVOC i relation til andre kemiske parametre

I en underøgelse af baggrundsværdier for grundvandsmagasiner i USA bemærker Leenheer et al. (1974) at det typiske koncentrationsområde for opløst organisk kulstof ligger mellem <0.1 mg/l C og 15 mg/l C. Desuden bemærkes det at koncentrationen af opløst kulstof korrelerede direkte med den målte specifikke ledningsevne og alkalinitet, men ikke med de målte pH-værdier

Thurman (1985) fandt høje koncentrationer af opløst organisk kulstof (> 10 mg/l) i grundvand rigt på natrium-bicarbonat, der samtidig var svagt alkalisk.

De organiske stoffer i vand fra dybe grundvandsmagasiner med miocæne sedimenter (glimmerler) stammer fra marine aflejringer. Ionbytningsprocesser fremmer utvivlsomt opløseligheden af de organiske stoffer, sandsynligvis både som følge af en hævnning af pH-værdierne og en fjernelse af calcium fra opløsningen (Kristiansen, 1989). Ionbytningsprocesser og reduktionsreaktioner der bevirker en stigning i vandets pH fra 7,5-7,8 til 8,0-8,5 beskriver Pedersen (1988) som betydende for at humussyren kan gå i opløsning.

Jacobsen (1995) beskriver på baggrund af data fra overvågningsområderne en signifikant liniær sammenhæng mellem NVOC og permanganattallet (bestemt med KMnO_4) beskrevet som: $\text{NVOC (mg/l)} = 0,31 * \text{permanganattal (mg/l)}$. Permanganattallet (KMnO_4 -tallet) udtrykker hvor meget kaliumpermanganat der anvendes til iltning af organisk stof i vandet. KMnO_4 kan også ilte andre stoffer på reduceret form, f.eks. ferrojern og manganoforbindelser, svovlbrinte samt methan, og er derfor ikke altid et entydigt mål for organisk stof. På baggrund af analyser af 139 vandprøver med koncentrationer af NVOC < 10 mg/l C beskriver Grøn (1989) ligeledes en sammenhæng mellem permanganattallet og NVOC, men bemærkede samtidig at der forekom betydelige afvigelser, der ikke umiddelbart kunne forklares ved prøvernes indhold af klorid, jern, sulfid eller methan.

Opdelingen af grundvand efter egenskaber, viste at indholdet af NVOC er forholdsvis lavt i blødt og middelhårdt, ungt grundvand (hovedklasse A og B) mens der findes nogenlunde samme koncentrationer i ungt, hårdt og meget hårdt grundvand (hovedklasse C og D) samt i gammelt, hårdt grundvand (hovedklasse E). De maksimale koncentrationer er beskrevet for gammelt, middelhårdt og overvejende reduceret grundvand (hovedklasse F) (Jacobsen, 1995).

Sammenhængen mellem permanganattal og farve er beskrevet af Pedersen (1988). Her beskrives det at et permanganattal på omkring 20 mg/l kan erkendes ved en svag brunfarvning, stiger permanganattallet til 40 mg/l ændes farven til tydelig thefarve, mens værdier på 200 mg/l farver vandet sort som kaffe.

Grøn et al. (1996) bemærker, at høje koncentrationer af humus forbindelser må forventes at være begrænset til hydrokemiske miljøer med lave indhold af calcium (<2 milliækvivalenter/l). Høje indhold af opløst calcium virker stabiliserende på humusstofferne i sedimenterne grundet calcium-humaternes ringe opløselighed.

Analysen af vand fra Vestjylland viser at det brune vand sammenlignet med normalt vand fra tilsvarende dybder afviger i en lang række parametre; iltforbrug, pH, chlorid, natriumbicarbonat, fosfat, fluorid, kalium og i forholdet mellem indholdet af calcium og magnesium, tabel 2.1 (Pedersen, 1988). Villumsen (1985) beskriver ligeledes at brunt eller sort vand normalt indeholder natriumbicarbonat (NaHCO_3). Som det fremgår af tabellen forekommer de største afvigelser ved et forøget iltforbrug, bemærkelsesværdige høje indholdet af natriumbicarbonat samt forhøjede pH-værdier.

Tabel 2.1. Typiske værdier for brunt vand og normalt vand fra tilsvarende dybder i Vestjylland (efter Pedersen, 1988).

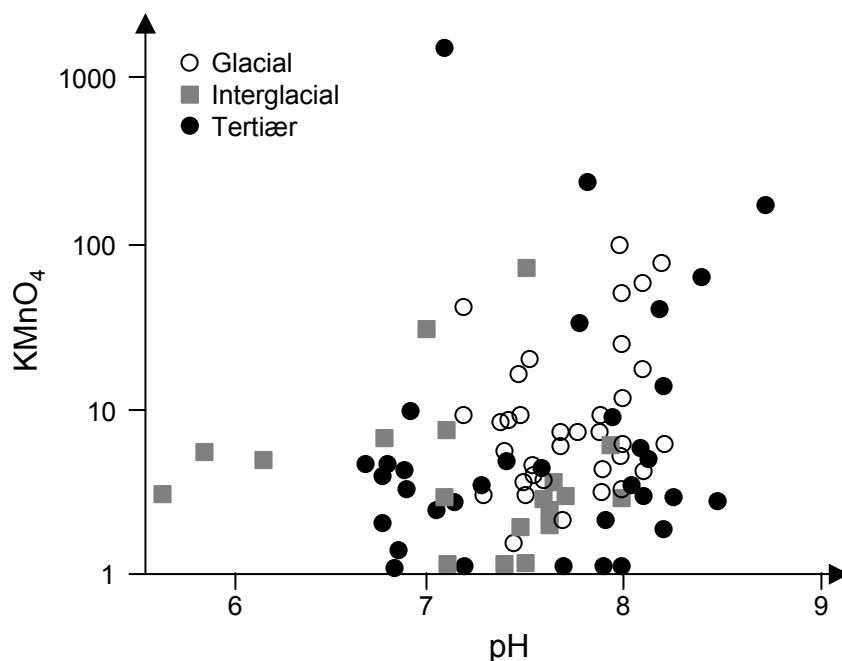
Parameter	Brunt vand	Normalt vand
pH	7,7-8,9	7,0-7,8
Iltforbrug (mg/l)	5-150	2-4
Chlorid (mg/l)	40-250	20-50
Natriumhydrogencarbonat (mg/l)	20-500	0
Orthofosfat (mg/l)	0,5-3,0	0,2-0,7
Fluorid (mg/l)	0,1-1,5	0,5
Kalium (mg/l)	2,0-18,0	1,0-10,0
Ca/Mg-forhold	0,7-3,0	2,5

Dinesen (1989) relaterer ligeledes indholdet af natriumbicarbonat til forekomsten af brunt humusholdigt vand. Dannelsen af natriumbicarbonat kan skyldes ionbytning i marint ler, hvorved grundvandet har afgivet calcium og magnesium og til gengæld modtaget natrium. En sådan fordeling af ioner kan optræde i områder med marine aflejringer og resulterer i et unormalt lavt indhold af calcium plus magnesium mens indholdet af natrium er højt. Det antages, at denne vandtype primært er ionbyttet og derefter har ekstraheret humus fra aflejringer som bl.a. indeholder glimmerler og brunkul.

I en undersøgelse af brunt grundvand i Ribe Amt beskriver Bruun-Petersen (1990) en sammenhæng mellem permanganattallet og vandets pH-værdi. I undersøgelsen, der omfatter 3 forskellige typer grundvandsmagasiner (postglaciale marine lag, interglaciale marine lag eller lagene lige herunder og tertiære lag) beskrives grundvand med gullige og brunlige kulører ved en i øvrigt ret ensfarvet kemisk sammensætning, til trods for grundvandets megen forskellige alder. De målte pH-værdier er altid over 7 og i regel omkring 8 (alkalisk), med et højt indhold af bicarbonat og et behersket indhold af andre stoffer, herunder jern. Forfatteren bemærker i øvrigt at det er vanskeligt at identificere de forskellige typer grundvandsmagasiner på baggrund af en sammenstilling af grundvandets permanganattal og pH-værdier, som vist i figur 2.1. Figuren viser imidlertid, at vandprøver fra tertiære grundvandsmagasiner med pH-værdier på omkring 7 har permanganattal under 10. Prøver med tilsvarende oprindelse men med pH-værdier på omkring 8 eller højere fremviser meget høje permanganattal. pH-værdien i de glaciære aflejringer er typisk målt til mellem 7 og 8 og viser en tendens til stigende permanganattal med stigende pH-værdi. Bruun-Petersen (1990)

tolker de høje permanganattal som "glacialt vand" opblandet med brunt vand. Resultaterne fra de interglaciale aflejringer findes tilsyneladende opdelt. En gruppe karakteriseret ved pH-værdier fra under 6 til omkring 7 udviser en tydelig sammenhæng med permanganattallet der når op på omkring 100 ved den højeste pH-værdi. Den anden gruppe er karakteriseret ved pH-værdier mellem 7 og 8 og viser her en sammenhæng med permanganattallet, men for disse prøver forbliver permanganattallet under ca. 10.

For nogle af de vandprøver som Jørgensen et al. (1999) beskrev ved høje indhold af organisk stof har det været muligt at fremskaffe supplerende oplysninger om pH, natriumhydrogencarbonat, ledningsevne, calcium og jern, tabel 2.1.



Figur 2.1. Permanganattallet afbildet som funktion af pH (efter Bruun-Petersen, 1990).

Dette datamateriale viser at der samtidig med høje indhold af organisk stoffer (NVOC) er målt pH-værdien over 7.5. Desuden er koncentrationen af calcium under 50 mg/l Ca (svarende til maksimalt 2,5 mækv./l) mens koncentrationen af natriumhydrogencarbonat typisk varierer mellem 126 og 555 mg/l NaHCO₃ for vandprøver med mere end 3,1 mg/l NVOC. Koncentrationen af jern var typisk under 5 mg/l Fe og kun i boring 121.1019 var koncentrationen markant højere (16-65 mg/l Fe). Nyere analyse-resultater fra samme boring viser dog koncentrationer af jern under 10 mg/l Fe. Ledningsevnen for grundvand med høje indhold af organisk stof (>3,1 mg/l C) spænder fra 77 og 610 mS m⁻¹.

Tabel 2.1. Kvartære eller miocæne grundvandsmagasiner med oplysninger om udvalgte kemiske parametre.

DGU arkivnr.**)	År	Dybde (m)	Organisk stof*)	pH	Na-hydrogen - carbonat (mg/l)	Lednings -evne (mS m ⁻¹)	Calcium (mg/l)	Jern (mg/l)
121.415 (M)	2000	86-95	760 (p)		184		46	1,9
121.1019 (Q)	1992	65-67	3,1 (n)	6,86	119	35	43	16
121.1019 (Q)	1992	135-155	360 (n)	8,68	425	115	45	65
121.1024 (Q)	1992	85	70 (n)	7,61	126	77	42	5,2
131.1301 (M)	1997	91-96	757 (p)	9,1	346	350	21	1,6
131.1301 (M)	1997	172-181	4400 (p) 74 (n)	8,1	555	610	30	4,5

*) (p): permanganattal med enheden **mg/l** og (n): NVOC med enheden **mg/l C**

***) Q: kvartære grundvandsmagasiner, M: miocæne grundvandsmagasiner efter Jørgensen et al. (1999).

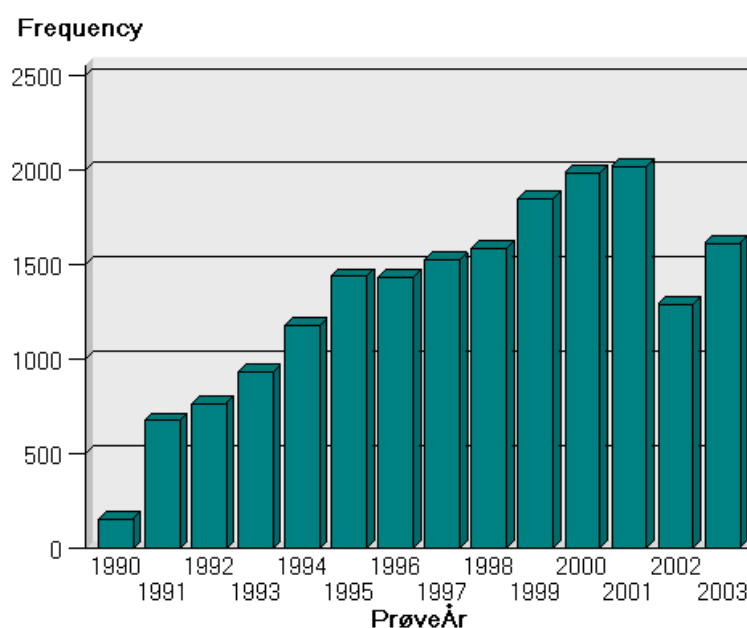
En tilsvarende grafisk sammenstilling baseret på data fra boringskontrollen for grundvandsprøver med NVOC indhold >4 mg/l er forsøgt men datagrundlaget viste sig ikke umiddelbart egnet for at etablere de ønskede sammenhænge (data ikke vist). Dette skyldes bl.a. at de undersøgte prøver repræsenterer blandingsvand fra forskellige hydrokemiske miljøer samt magasintyper.

3 NVOC-indhold i boringskontrolanalyser

3.1 Analysedata - boringskontrollen

Med indberetningen pr. 1. juni 2004 findes 1244 analyser af NVOC fra perioden 1990 til 2003, hvor indholdet er større end 4 mg/l C, figur 3.1.

Analyserne er fordelt på 558 boringer med indtag placeret fra 2,5 til 231 meter under terræn.

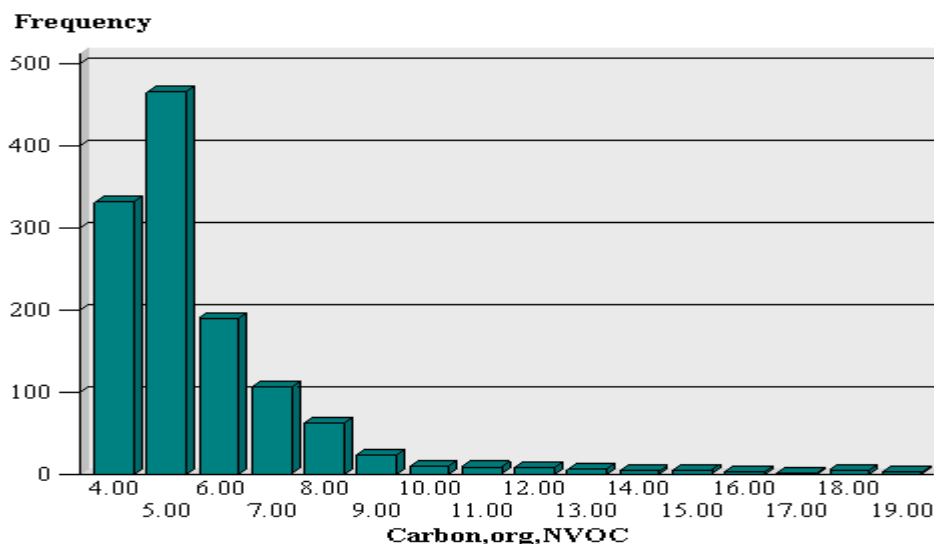


Figur 3.1. Antal indberetninger (Frequency) pr. år i perioden 1990 til 2003.

Faldet i antallet af indberetninger fra 2001 til 2002 er kommenteret af flere amter og tilskrives problemer med overgangen til digital rapportering fra 2002 jf. Bekendtgørelse 871.

3.2 NVOC - koncentrationsniveau

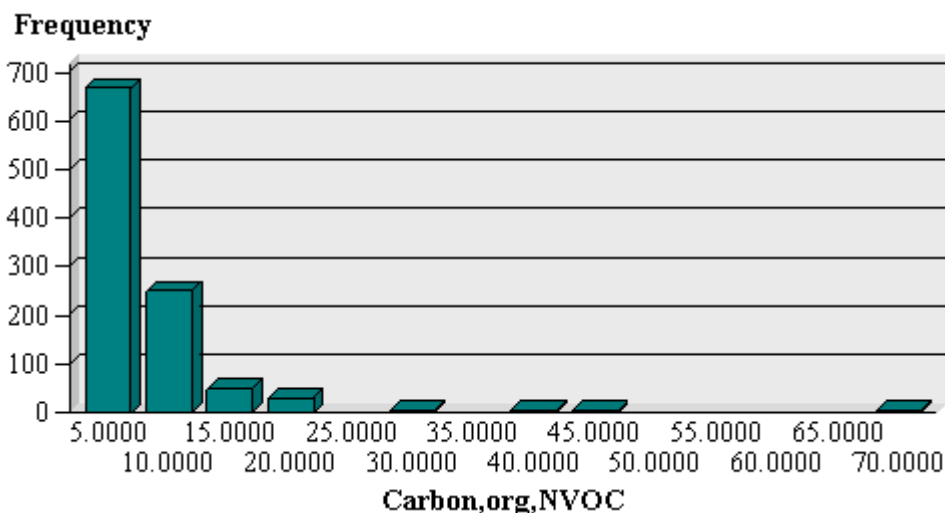
Der er målt koncentrationer af NVOC på op til 160 mg/l C, heraf har 11 vandprøver en koncentration på mere end 20 mg/l. Disse høje koncentrationer er dog enkeltstående eller ikke-konsistente i forhold til andre analyser i samme boring/indtag. Inden for intervallet 10 til 20 mg/l C findes 46 analyser overvejende fra Nordjylland Amt.



Figur 3.2. Antal vandprøver (Frequency) med givne indhold af NVOC (mg/l C).

3.3 Koncentration af NVOC målt i overvågningsprogrammet

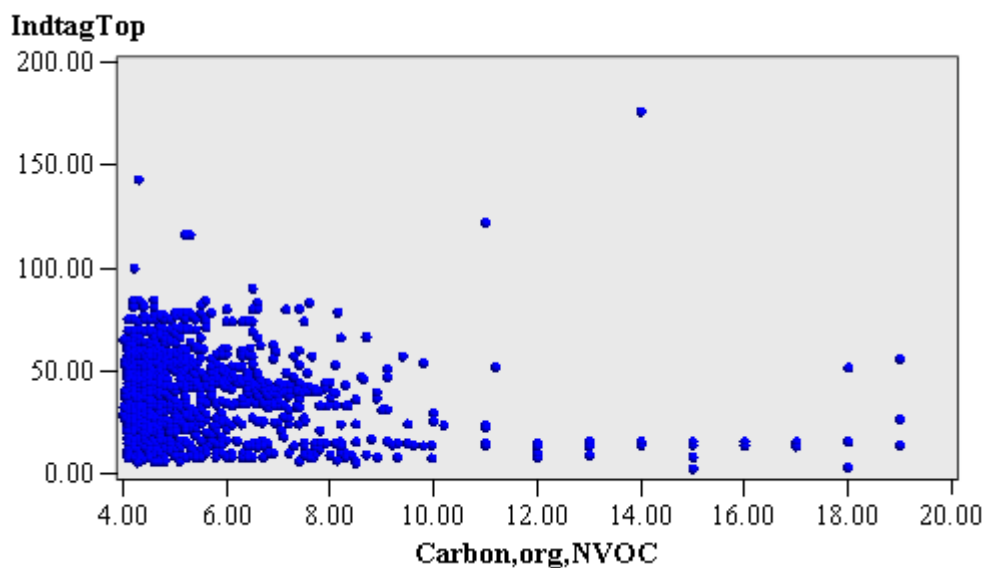
Oplysninger om NVOC-koncentrationer målt i overvågningsprogrammet fremgår af figur 3.3. Den overvejende del af analyserne viser indhold på mellem 5 og 15 mg/l C. De resterende analyser viser indhold på mellem 15 og 70 mg/l C. Til sammenligning med vandindvindingsboringerne må disse målinger anses for i højere grad at afspejle de generelle forhold for grundvandet, idet vandindvindingsboringer, der ikke overholder gældende kvalitetskrav enten lukkes eller ikke sættes i produktion. Oplysningerne fra overvågningsprogrammet viser et overordnet set lidt højere indhold af NVOC, op til 20-25 mg/l C.



Figur 3.3. Antal vandprøver (Frequency) i overvågningsprogrammet med givne indhold af NVOC (mg/l C).

3.4 NVOC - dybdefordeling

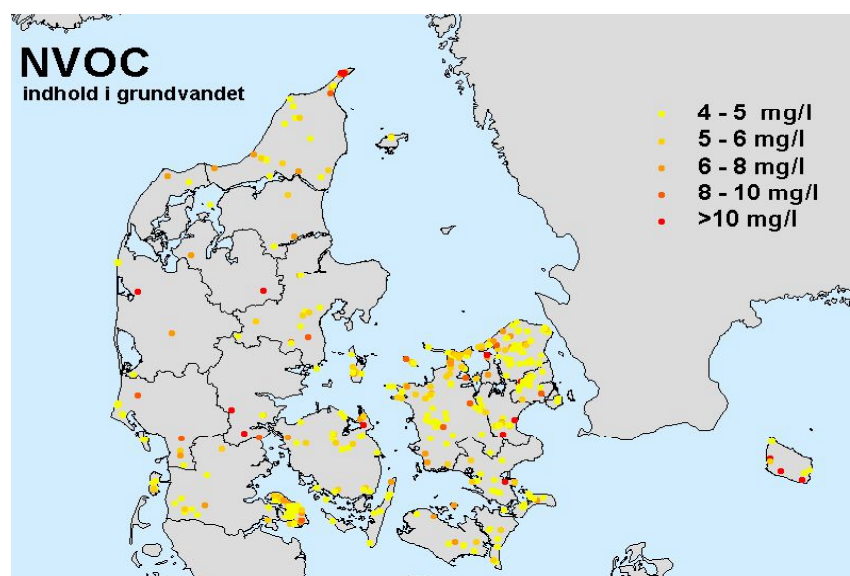
NVOC-indhold på 4 mg/l C til ca. 8 mg/l C findes nogenlunde jævnt fordelt indenfor dybdeintervallet fra 2 til ca. 80 meter under terrænen, figur 3.4.



Figur 3.4. Indhold af NVOC (mg/l) afbildet som funktion af dybden til toppen af indtaget (meter).

3.5 NVOC - geografisk fordeling

Med udgangspunkt i boringskontroldatabasen viser det sig at boringer med NVOC-indhold på over 4 mg/l C forekommer spredt rundt om i landet, figur 3.5. Oplysningerne i databasen viser desuden at NVOC-indhold over 4 mg/l C i vandværkernes indvindingsboringer er mest almindelig på Sjælland, på Als, i den sydvestlige del af Sønderjylland og rundt om Odense. Fordelingen afspejler antagelig i højere grad problemer med at skaffe tilstrækkeligt grundvand til indvinding end den naturlige geografiske fordeling.

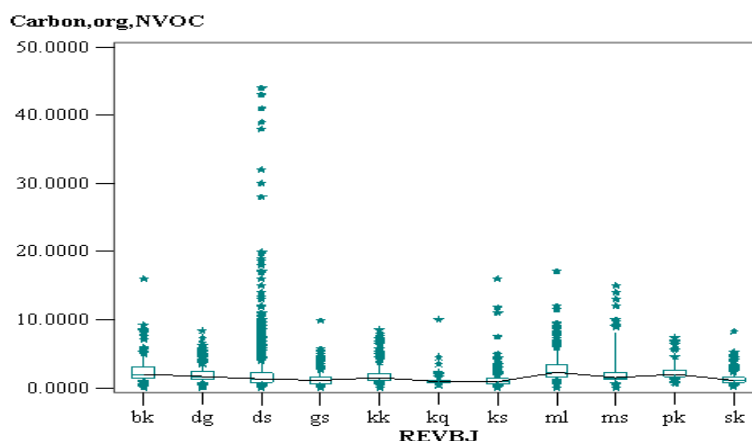


Figur 3.5. Geografisk fordeling af grundvand med indhold af NVOC (mg/l C) over 4.

3.6 NVOC - magasinbjergart

I koncentrationsintervallet fra 4 til 20 mg/l C forekommer de højeste medianindhold i vandprøver fra magasiner i moræneler (ml). Medianindhold umiddelbart under 6 mg/l forekommer i bryozokalk og koralkalk af Danien alder (bk) og i skrivekridt (sk).

De mange enkeltstående høje koncentrationer i diluvialsand (ds) tyder på en forøget nedvaskning fra overfladen i højpermeable aflejringer.



Figur 3.6. Indhold af NVOC (mg/l C) i forskellige bjergarter (REVBj) baseret på en analyse af minimum 101 observationer fra samme bjergartstype. Figuren viser for hver bjergartstype en boks med værdien for 5%, 50% og 95% percentilen. Forkortelserne er følgende; bk: bryozo- og koralkalk, dg: smetlevandsgrus, ds: smetlevandssand, gs: glimmersand, kk:kalksandskalk, kq: kvartsgrus, ks:kvartssand, ml:moræneler, ms:morænesand, pk:paleocæn kalk og sk:skrivekridt.

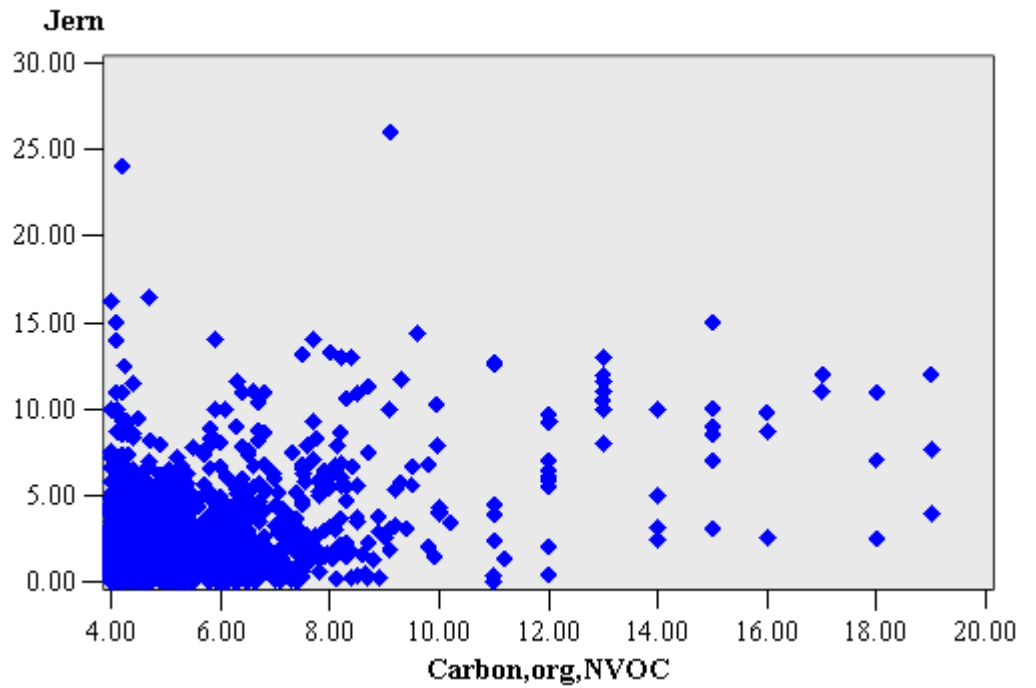
3.7 NVOC og andre fastsatte kvalitetskrav til drikkevand

Af de 1244 prøver (jfr. afsnit 3.1) hvor indholdet af NVOC er blevet bestemt ville i alt 174 prøver, svarende til 7%, overskride kvalitetskravene for andre hovedkomponenter, herunder klorid (59), sulfat (23), natrium (67), magnesium (22), kalium (108) og flourid (27).

Af de 558 borer, hvor NVOC-indholdet en eller flere gange har overskredet 4 mg/l C, har arsenindholdet en eller flere gange overskredet kvalitetskravet på 5 µg/l As i 27 borer, svarende til ca. 5%.

3.8 NVOC - jern

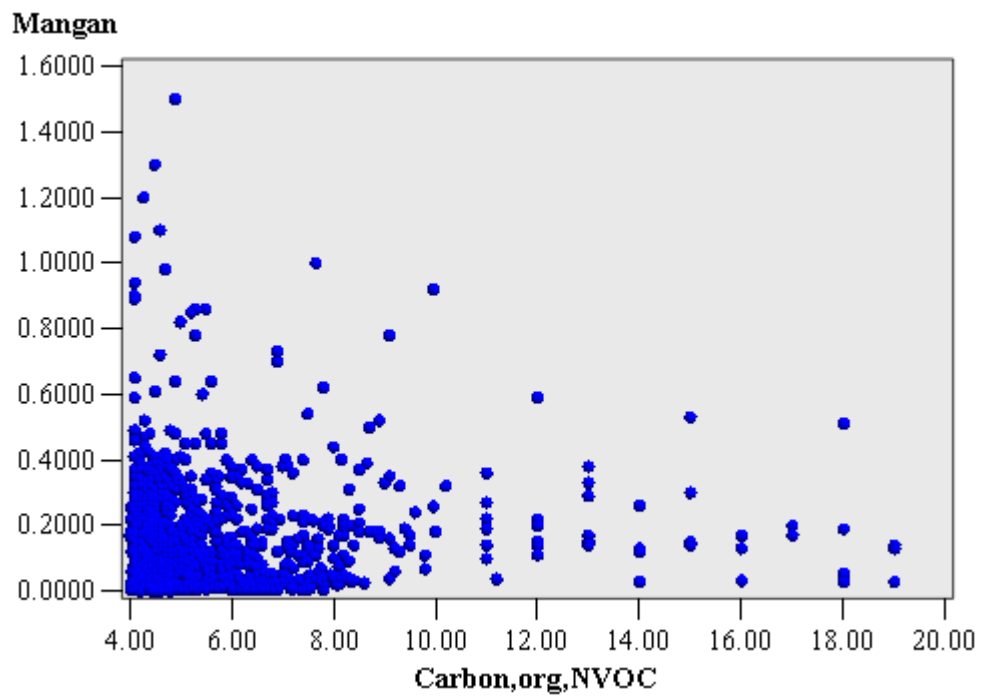
På baggrund af de foreliggende analyseresultater tegner der sig en sammenhæng mellem koncentrationen af NVOC og koncentrationen af jern ved jernindhold op til 20 mg/l (en jernværdi på 340 mg/l er udelukket), figur 3.7.



Figur 3.7. Koncentrationen af jern (mg/l Fe) og NVOC (mg/l C).

3.9 NVOC - mangan

På baggrund af de foreliggende data fra boringskontrollen synes der ikke at foreligge nogen sammenhæng mellem indholdet af NVOC og indholdet af mangan, figur 3.8.



Figur 3.8. Koncentrationen af mangan (mg/l Mn) og koncentrationen af NVOC (mg/l C).

4 NVOG-indhold - udvidet kontrol

4.1 Datagrundlag

Den normale og udvidede kontrol omfatter i alt 3367 anlæg i perioden 1990 til 2003. Til undersøgelsen er udtrukket alle analyser fra den udvidede kontrol fra anlæg, hvor den udvidede kontrol i perioden mindst en gang har overskredet den nugældende grænseværdi på 4 mg NVOG pr. liter.

Der har været overskridelser af grænseværdien på 267 anlæg og den højeste koncentration af NVOG er målt til 19 mg/l C, figur 4.1. For de 267 anlæg er der for et større antal kun tale om en enkelt overskridelse, ofte af ældre dato.

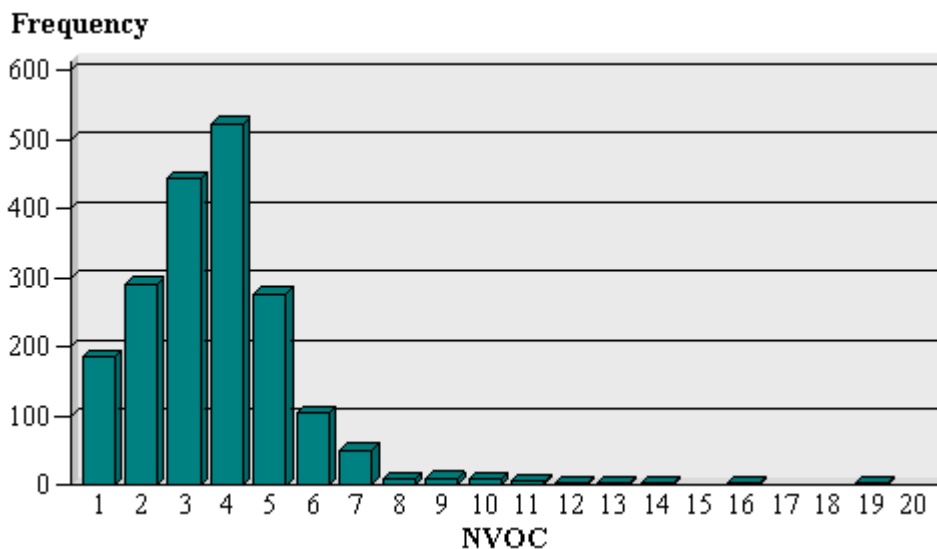
I forhold til det totale antal anlæg er antallet af anlæg, hvor der er sket overskridelse af den nugældende grænseværdi lille (mindre end 10 %) og datagrundlaget derfor tilsvarende spinkelt. Det foreliggende datamaterialet er meget inhomogent og for de undersøgte sammenhænge optræder der for et flertal af parametrene stærkt afvigende (meget høje) værdier. Disse kan ikke ved sammenligning med andre analyser fra samme anlæg afvises som umiddelbart fejlagtige, men visse anlæg kan måske ved yderligere undersøgelse af datamaterialet vise sig at være påvirket af andre for sammenhængen ikke relevante faktorer, som for eksempel lokale, periodiske forureninger eller driftshændelser.

En oversigt over udtrukne anlæg er vist i bilag 1. Det fremgår af listen at der blandt anlæggene er flere firmaer. Det fremgår endvidere at der er et stærkt varierende antal analyser fra de forskellige anlæg.

Den udvidede kontrol finder sted på anlægget. Der kan altså som udgangspunkt være tale om sammenblandet grundvand fra flere forskellige boringer, ligesom der kan være tale om prøver udtaget på forskellige steder på anlægget, som dermed repræsenterer vand på forskellige trin i vandbehandlingsprocessen.

4.2 NVOG – koncentrationsniveau

Koncentrationen af NVOG i alle analyser fra anlæg, der har overskredet den nugældende grænseværdi fremgår af figur 4.1



Figur 4.1. Antal vandprøver med givne indhold af NVOC (mg/l C).

Ved en grænseværdi på 6 mg NVOC pr. liter ville der have været overskridelser på 80 anlæg og ved 8 mg NVOC pr. liter på 35 anlæg.

4.3 NVOC og andre fastsatte kvalitetskrav til drikkevand

Vandprøver med oplysninger om indhold af NVOC samt farvetal, turbiditet, jern, mangan og mikrobielle parametre viser en overskridelse af en eller flere parametrene på i alt 253 anlæg, tabel 4.1. Farvetal og/eller turbiditet og/eller kimtal overskrides på 235 anlæg ud af de 267 anlæg, hvor indholdet af NVOC er højere end 4 mg/l. De fleste overskridelser findes indenfor turbiditet og jernindhold.

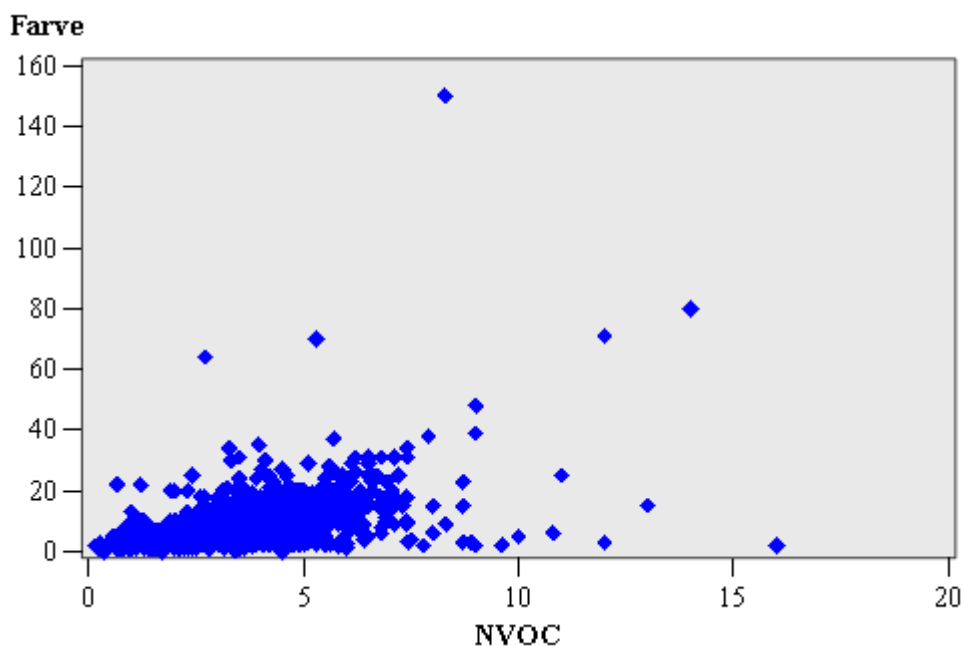
For så vidt angår konservative stoffer (ioner der passivt følger vandet) henvises der til afsnittet om boringskontrol.

Tabel 4.1. Overskridelser af gældende kvalitetskrav til drikkevand i prøver, hvor den udvidede kontrol en eller flere gange har vist et NVOC-indhold på over 4 mg/l..

Parameter	Antal anlæg
Farvetal > 10 mg Pt/l	81
Turbiditet > 0,3 FTU	125
Jern > 0,1 mg/l	95
Mangan > 0,02 mg/l	74
Kimtal (PCA) ved 37 °C > 5 pr. ml	45
Kimtal (PCA) ved 22 °C > 50 pr. ml	10

4.4 NVOC – farve

Der synes at kunne konstateres en tendens til stigende farvetal med stigende NVOC-indhold, men sammenhængen mellem de to parametre er hverken entydig eller overbevisende.

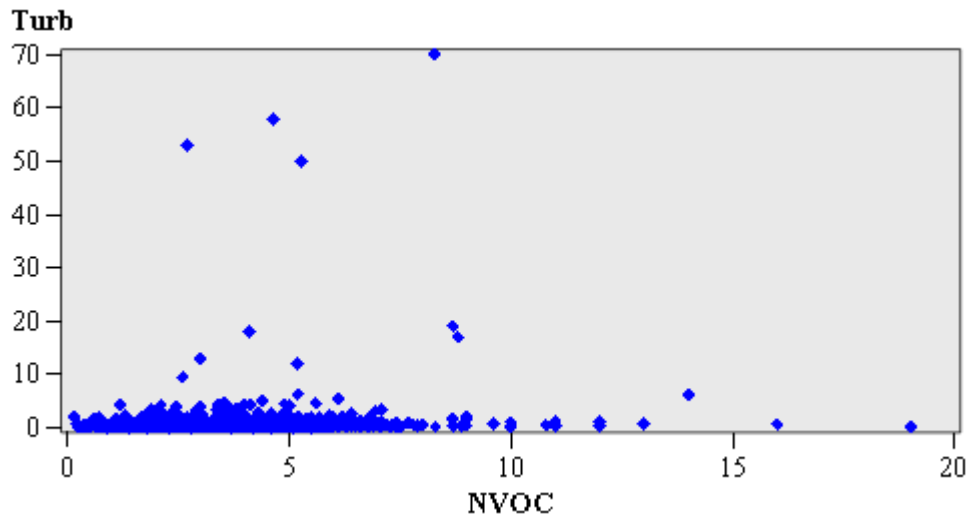


Figur 4.2. Farve (mg Pt/l) og koncentration af NVOC (mg/l C).

Det høje farvetal på 150 kan ikke på det foreliggende datagrundlag afvises som forkert, da det pågældende anlæg (FMC A/S, tidligere Litex) også har haft farvetal på 70, samt høje turbiditeter (70 og 50 FTU). Målingerne ligger dog helt tilbage i 1995 og 1996.

4.5 NVOC – turbiditet

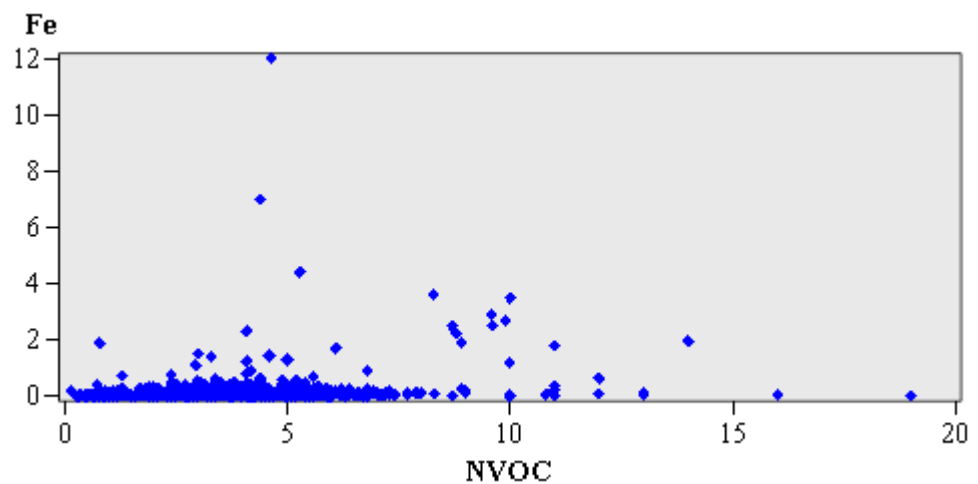
Der kan ikke på det foreliggende datamateriale konstateres en sammenhæng mellem NVOC og turbiditet. De to værdier på henholdsvis 70 og 50 stammer som omtalt før fra anlægget FMC A/S.



Figur 4.3. Turbiditet (FTU) og koncentration af NVOC (mg/l C).

4.6 NVOC – jern

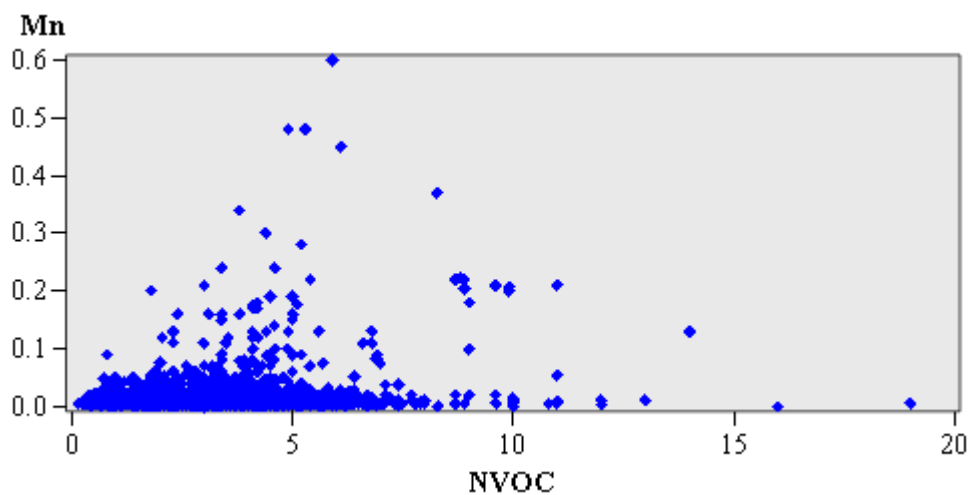
Der kan ikke konstateres nogen sammenhæng mellem NVOC og jern på det samlede datamateriale, figur 4.4. Dette skyldes antageligt at analyserne stammer fra behandlet vand, hvor indholdet afhænger af den aktuelle vandbehandling.



Figur 4.4. Koncentration af jern (mg Fe/l) og koncentration af NVOC (mg/l C).

4.7 NVOC – mangan

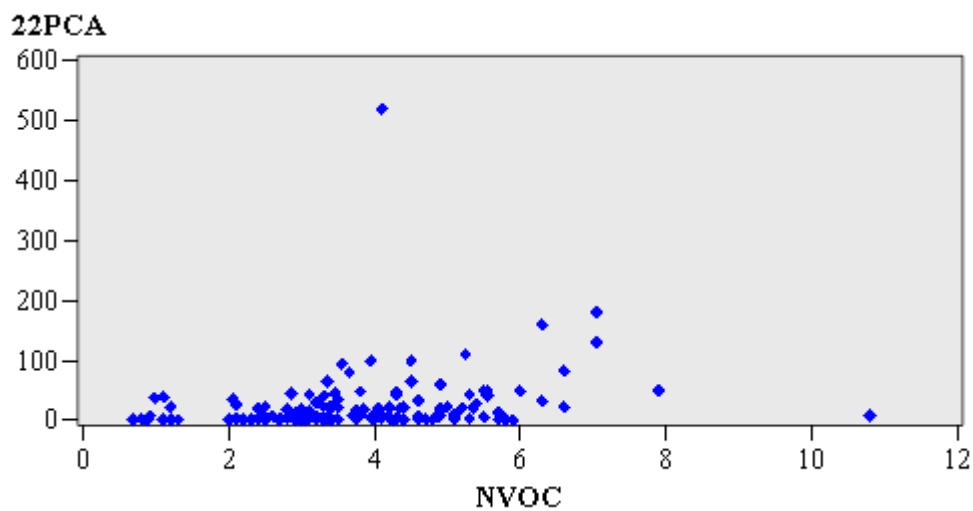
Der kan ikke konstateres nogen sammenhæng mellem NVOC og mangan, figur 4.5. Dette skyldes antageligt at analyserne stammer fra behandlet vand, hvor indholdet afhænger af den aktuelle vandbehandling.



Figur 4.5. Koncentration af mangan (mg Fe/l) og koncentration af NVOC (mg/l C).

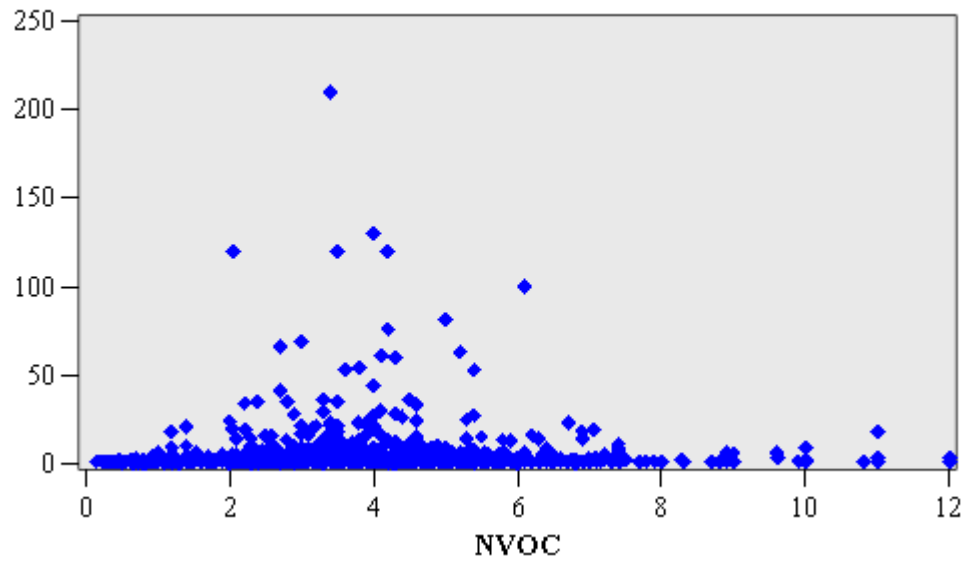
4.8 NVOC - Kimtal ved 22°C og 37°C

Med undtagelse af 5 observationer ses antallet af bakterier bestemt ved 22 °C at stige svagt med stigende indhold af NVOC, figur 4.6. Der synes imidlertid ikke at foreligge en sammenhæng mellem antallet af bakterier bestemt ved 37 °C og NVOC indholdet, figur 4.7.



Figur 4.6. Kimtal (antal/ml) ved 22 °C og koncentration af NVOC (mg/l).

37PCA



Figur 4.7. Kimtal (antal/ml) ved 37 °C og koncentration af NVOC (mg/l).

5 Sammenfatning

Der foreligger kun meget sparsom litteratur, der beskriver forekomsten og mulige årsager til høje NVOC indhold i vand fra danske grundvandsmagasiner.

Det bemærkes at grundvand med høje indhold af organisk stof optræder flere steder i Danmark, ofte i grundvandsmagasiner i eller med afsmitning fra marine tertiære og kvartære aflejringer. Der er typisk tale om artesiske grundvandsmagasiner med ringe gennemstrømning og grundvandet karakteriseret ved lange opholdstider, evt. helt eller delvist hydraulisk afsnøret, og uden mulighed for udvaskning af det opløste organiske stof.

Dannelsen af vand med høje indhold af NVOC skyldes opløsning af organisk stof, der typisk findes indlejret i de marine sedimenter. Baseret på eksisterende viden synes dannelsen af NVOC-rigt vand knyttet til grundvandsmagasiner karakteriseret ved bl.a. ionbytning- og reduktionsprocesser, der medføre markante ændringer i grundvandets indholdet af natriumbicarbonat og calcium samt pH-værdi.

Ionbytningsprocesser fremmer opløseligheden af de organiske stoffer, sandsynligvis både som følge af en hækning af pH-værdierne og en fjernelse af calcium fra opløsningen. Ved ionbytningsprocessen dannes natriumbicarbonat. Øvrige hydrokemiske forhold med pH-værdier over ca. 7 samt lave koncentrationer af calcium (<ca. 50 mg/l Ca) øger ligeledes opløseligheden af organisk stof.

Den geografiske fordeling af indvindingsboringer hvor grænseværdien for NVOC overskrides leder til den antagelse at grundvand med mere end 4 mg NVOC pr. liter især indvindes i områder hvor det er svært at finde vand af bedre kvalitet eller hvor behovet overstiger den tilgængelige ressource. I ca. 10% af de boringer hvor grænseværdien overskrides, overskrides også grænseværdier for andre parametre, især kalium, natrium og chlorid.

Der er påvist overskridelser på grænseværdien for NVOC på 267 anlæg, hvor den højeste koncentration er målt på 19 mg/l.

Farvetal og/eller turbiditet og/eller kimtal overskrides på 235 anlæg ud af de 267 anlæg, hvor indholdet af NVOC er større end 4 mg/l.

Ved en grænseværdi på 6 mg NVOC pr. liter ville der have været overskridelser på 80 anlæg og ved 8 mg NVOC pr. liter på 35 anlæg.

I mere end 75% af de anlæg, hvor grænseværdien for NVOC overskrides i den normale eller den udvidede kontrol overskrides også grænseværdien for andre parametre, især farvetal, jern og turbiditet. Grænseværdierne for kimtal overskrides i ca. 35% af anlæggene, hovedsageligt for kimtal bestemt ved 37 °C (PCA). Blandt de undersøgte parametre kan der kun konstateres en tendens til stigende farvetal med stigende NVOC-indhold.

6 Referencer

- Bruun-Petersen, J. 1990. Det brune grundvand i Ribe amt. Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1987-89: 103-107.
- Dinesen, B. 1989. Grundvandskemi. Institut for Teknisk Geologi. Danmarks Tekniske Højskole. 47 s.
- Grøn, C. 1989. Organic halogens in Danish ground waters. 1989. Ph.D. afhandling ved Afdelingen for Anvendt Geologi, Danmarks Tekniske Universitet. 239 s.
- Grøn, C., L. Wassenaar og M. Krog. 1996. Origin and structures of groundwater humic substances from three Danish aquifers. *Environment International* 22:519-534.
- Jacobsen, O.S. 1995. Grundvandsovervågning 1995. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. 209 s. + 25 bilag.
- Jørgensen, N.O., J. Morthorst og P.M. Holm. 1999. Strontium-isotope studies of "brown water" (organic-rich groundwater) from Denmark. *Hydrogeology Journal* 7:533-539.
- Kristiansen, H. 1989. grundvandskemi. Kompendium til Dansk Vandteknisk Forenings kursus i grundvandskemi. Danmarks Geologiske Undersøgelse. 64 s.
- Leenheer, J.A., R.L. Malcolm og P.W. McKinley. 1974. Occurrence of dissolved organic carbon in selected ground-water samples in the united states. *Journal of Research U.S. Geological Survey*, 2: 361-369.
- Nygaard, E. 1991. Grundvand. Overvågning og problemer. Danmarks Geologiske Undersøgelse. DGU Serie D: 8. 247s. + appendix
- Pedersen, J.B. 1988. Grundvandskemi. Horsens Teknikum. 111 s.
- Pettersson, C, J. Ephraim og B. Allard. 1994. On the composition and properties of humic substances isolated from deep groundwater and surface waters. *Organic Geochemistry*, 21: 443-451.
- Thurman, E.M. 1985a. Organic geochemistry of natural waters. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. 497 s.
- Thuman, E.M. 1985b. Humic substances in groundwater. I: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L og P. MacCarthy. Humic substances in soil, sediment, and water. Geochemistry, isolation, and characterization. John Wiley & Sons, New York..

Bilag 1

Anlæg, der i perioden 1989 til 2003 har haft mindst en overskridelse af gældende grænseværdi for NVOC på 4 mg/l .

Navn	Antal analyser
A/S Vodskov, Tingvej	9
Aalbæk Vandværk	11
Alling kanoplads	1
Andebølle vandværk	6
Andelsselskabet Alsønderup Vandværk	14
Andelsselskabet Tinglev Vandværk	2
Anslet Pølse- og Konservesfabrik A/S	6
Asserballe vandværk	3
Asserballeskov vandværk	3
Asserbo By Vandværk A.m.b.a.	17
Audebo vandværk	3
Augustenborg vandværk	4
BASF Health & Nutrition A/S	8
Bagenkop vandværk	2
Bakkebølle Vandværk	8
Bakkeværket andels.	4
Biltris Vandværk I/S	4
Bistrup Vandværk	4
Bjerge vandværk	11
Bjælkerup Vandværk	5
Boeslunde vandværk	10
Bogensø, Andelsvandværk	3
Borre Vandværk I/S	12
Bregninge vandværk	5
Bremersvold Gods Vandværk	1
Brenderup vandværk	6
Brydegård og Omegn vandværk	4
Bryde Vandværk	11
Buddum Vandværk	1
Bønsvig-Staureby Vandværk	9
Cc Esal-contel ApS	1
Dalby vandværk	6
Dale Korsvej Vandværk I/S	8
Dalumværket	14
Danfoss A/S	2
Danish Crown	3
Degenkolw's vandværk / INAKTIV	3
Det Komm. Vandværk (Onsbjerg)	3
Dyrehaveværket	13
E. Dinesen, Kragerupgård	1
Ebbeløkke Vandværk	24
Egebjerg Vandværk	10
Ellede Vandværk	2
Endegaarde Vandværk	5
Engelstofte Vandværk	8

Enø Strand Vandværk	8
Ertebjerg vandværk	1
Eskebjerg Vandværk	9
Evetofte Vandværk	16
Fjordtoftens Vandværk (-)	2
FMC A/S (tidligere Litex)	4
Farum Kaserne Vandværk	14
Ferring Strands Vandværk	4
Ferring Vandværk	3
Ferritslev vandværk	6
Flintinge Vandværk	5
Frederiksgård vandværk	3
Fuglse Vandværk	13
Fyns Hoved vandværk	3
Gerå Vandværk	3
Gl Sulsted Vandværk	5
Gundestrup Giver	12
Gislinge Vandværk	10
Gl. Toldsted Vandværk	1
Grærup Vandværk	7
Græsted Vandværk A.m.b.a.	14
Græsted-Tinkerup Vandværk	15
Grædstrup Vandværk I/S	4
Guderup-Sjellerup vandforsyning	1
Gudmindrup Højby Tengslemark vv.	10
Gudumlund Vandværk	5
Haraldsborg vandværk	5
Harboe Bryggeri A/S	8
Hareskov vv	10
Hasle Vandværk	14
Hasmark vandværk	6
Helsing Vandværk A.m.b.a.	14
Hjulby vandværk	2
Hjöllund Gl. Vandværk	2
Holbæk Centralsygehus	9
Holm vandværk	2
Holmia Invest I/S	1
Holse-Ore vandværk	6
Horne vandværk	6
Horreby Vandværk	13
Hundested Vandværk	26
Hundslev vandværk	4
Hvide Klint Vandværk	5
Hårdmark Vandværk	6
Høng vandværk	11
Hørup og Høruphav vandværk	4
I/S Biersted Vandværk	3
I/S Egenæs vandværk	12
I/S Fredensdal Vandværk	7
I/S Fræer Vandværk	6
I/S Højby Vandværk	10
I/S Kisserup Vandværk	11
I/S Nr. Uttrup Administration	5
I/S Nørhalne Vandværk	2
I/S Skovgaard Vandværk	11

I/S Vig Vandværk	10
I/S Yderby Lyng Vandværk	9
I/S Øxedal Vandværk	1
Idestrup Vandværk	14
Iversen – Danebeef	7
Jaungyde Vandværk	4
Jystrup – Ålbævej vv, Jystrup Nye	8
Kaas Mark Vandværk	6
Kalundborg Komm. vfs., Deigvad	12
Kalundborg komm.vfs.,	1
Tranemoseværk	
Karise Vandværk	14
Karlsunde Bys Vandværk	7
Kegnæs vandværk	4
Keldby Vandværk	6
Kelstrup Jyderup Vandværk	5
Kerteminde kommunale	8
Vandforsyning	
Klarskovgård	4
Klintegården vandværk	1
Knardrup Vandværk	8
Kohaven-Roneklint Vandværk	3
Kolonien Filadelfia	2
Kongeparten Vandværk	12
Korinth vandværk	4
Korsør komm. vfs., Erdrup	9
vandværk	
Kvinderup Vandværk	6
Kås Hede Vandværk	6
Kådekilde-Orte vandværk	7
Køge Vandværk	12
Lov Vandværk	7
Lakolk Vandværk	1
Langesø vandværk	2
Langø Strand vandværk	1
Langøhuse vandværk	2
Lerchenborg Gods	4
Lille Næstved Vandværk	14
Lille Stimestrup Vandværk I/S	5
Lindet Vandværk	7
Lindved vandværk	4
Liseleje Vandværk	16
Ll. Ebberup – Næsbykov Vandværk	6
Lohals vandværk	7
Lumsås Vandværk	9
Lynge Overdrev Vandværk	14
Lynge Vandværk I/S	17
Læså, Centralvandværk	9
Løve – Knudstrup Vandværk	9
Melholt Vandværk	10
Maemosen vandværk	2
Majbølle Vandværk	13
Majbøl vandværk	2
Malling Vandværk	12
Masnedøvejen Vandværk	4

Mesinge vandværk	7
Millinge østerby vandværk	2
Mineslund og Asnæsgården(1)	3
Mintebjerg – Lebøl vandværk	2
Mjels Vandværk	2
Mullerup vandværk	6
Munke-Bjergby Vandværk	10
Møllehave Vandværk	6
Møgelholt Vandværk	1
Nejede-Møllehøj Vandværk	13
Nielstrup Vandværk	3
Niløse vandværk	5
Nordborg vandforsyning	5
Nordrup (Vester) Vandværk	6
Nr. Asmindrup Vandværk	10
Nr.Højrup vandværk	9
Nykøbing Sj. komm.værker,	11
Rørmosen	
Nykøbing Sj. komm.værker,Kingosv.	11
Nykøbing Sukkerfabrik	1
Nyrup Vandværk	12
Næstelsø Vandværk	7
Nørup vandværk	4
Oddermose Strand Vandværk	7
Odense Vandselskab A/S:	17
Lindvedværk	
Oksby og Ho Vandværk Amba	11
Orup Vandværk	14
Persano A/S	2
Præstø Kommunale Vandværk	14
Rebild Vandværk I/S	10
Rubjerg Vandværk	6
Ryå Vandværk	3
Reersnæs Vandværk	13
Remmerhus Vandværk	9
Rude vandværk	8
Røstofte - Ø. Egesborg Vandv.	10
Råbylille Vandværk	15
Rø-Gudhjem Vandværk	20
Rødhus Vandværk	6
Rødovre vv	10
Rømø, vandforsyning,	6
Rørkær – Jejsing vandværk	1
Rørvig vandværk	13
Sandmosen Vandværk	1
Strandgårdens Sommerhusområde	7
VV	
Sundby Vandværk	4
Saltbæk Strandvænge Vandværk	13
Sandby Vandværk	12
Sejerø Vestre Vandværk	9
Sejerby Vandværk	10
Skagen Kommunale Vandværk 2	10
Skodsbøl vandværk	2
Skovsognets Vandværk	23

Skuerup Vandværk	1
Skytsbjerg Mejeri	4
Skærbæk Eksporthagteri A.m.b.a.	7
Slagelse Komm.vfs., Hovedværket (4)	11
Smidstrup Vandværk	3
Smørumvang vv	1
Snogbækskov vandværk	1
Sofienberg vandværk	7
Solbjerg vandværk	11
St. Havelse Strand Vandværk A.m.b.a	14
St. Magleby vv	8
St. Rørbæk Vandværk	13
Steff-Houlberg	6
Stenholt Vandværk	13
Stevning vandværk	1
Stignæs Industrimiljø A/S	2
Stokkebjerg-Godthåb Vandværk	6
Storskov Vandværk	4
Strandly vandværk	12
Stubberup Og Omegns Vandværk	11
Stubberup Vandværk (-)	6
Stårup Vandværk, andelselskab	8
Svanholm Gods Vandværk	1
Svenstrup Vandværk	1
Svinø Strand Vandværk	6
Sydals Øst Vandforsyning	8
Søholt Vandværk	1
Sønderby Vandværk	6
Sønderskovhjemmet	2
Søvig Havn Vandværk	4
SØENGENE VANDVÆRK	5
Søbjerg Vandværk	5
Søhus vandværk	8
Sønder Vissing Vandværk I/S	8
Sønderby Camping	1
Sørby – Kirkerup Vandværk	9
Teglvæget Vandværk	2
Todbrg Vandværksforening	10
Tranebjerg Vandværk	6
Tønder vandværk	7
UGLEDIGE MARK VANDVÆRK	2
Udby Vandværk	4
Udsholt Vandværk	16
Ulfshale Vandværk	13
Ullerup/Torplille Vandværk	32
Ullerød Vandværk I/S	23
Ulstrup Vandværk I/S	10
Vejgaard Vandværk, Administration	12
Vamdrup Vandværk	4
Vandværk 1	8
Vedersø Vandværk	2
Vejrø Marina	2
Vemmelev – Forlev Vandværk	9

Vester Egesborg Vandværk	4
Vig Lyng Vandværk	6
Voldkær Vandværk	4
Vollerup-Ulkebæk vandværk	1
Vonsild Vandværk	4
Øster Ulslev Vandværk	13
Ørby Lyng Vandværk	12
Ørslev Vandværk	6
Østengård Vandværk	8
Øster Højst vandværk	3