

# **Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 5**

Grundvandstyper i kalkmagasinerne

Flemming Larsen & Kenneth Berger

# **Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 5**

Grundvandstyper i kalkmagasinerne

Flemming Larsen & Kenneth Berger

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduktion</b>	<b>7</b>
1.1 Delprojektmålsætninger.....	8
<b>2. Sammenfatning</b>	<b>9</b>
<b>3. Datagrundlag og metode</b>	<b>12</b>
3.1 Datagrundlag.....	12
3.2 Metode.....	13
<b>4. Bjergarter og vandtyper i kalkmagasinerne</b>	<b>15</b>
4.1 Bjergarterne.....	15
4.1.1 Skrivekridt.....	15
4.1.2 Danienkalk.....	16
4.1.3 Opløsning af kalcit i Skrivekridt og Danienkalken.....	16
4.2 Et klassifikationssystem for vandtyper i kalkmagasinerne.....	17
<b>5. Grundvandstyper i kalkmagasinerne</b>	<b>20</b>
5.1 Grundvandstype 1: Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand.....	20
5.1.1 Definition af grundvandstype 1.....	20
5.1.2 Dannelse af grundvandstype 1.....	20
5.1.3 De væsentligste geokemiske processer.....	20
5.1.4 Udbredelse af grundvandstype 1 i projektområdet.....	20
5.1.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 1.....	22
5.1.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 1.....	22
5.2 Grundvandstype 2: Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med forhøjet NaCl.....	23
5.2.1 Definition af grundvandstype 2.....	23
5.2.2 Dannelse af grundvandstype 2.....	23
5.2.3 De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 2.....	23
5.2.4 Udbredelse af grundvandstype 2 i projektområdet.....	23
5.2.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 2.....	25
5.2.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 2.....	30
5.3 Grundvandstype 3: Na-HCO <sub>3</sub> grundvand.....	31
5.3.1 Definition af grundvandstype 3.....	31
5.3.2 Dannelse af grundvandstype 3.....	31
5.3.3 De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 3.....	31
5.3.4 Udbredelse af grundvandstype 3 i projektområdet.....	31
5.3.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 3.....	32
5.3.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 3.....	33
5.4 Grundvandstype 4: Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med fluorid.....	34

5.4.1	Definition af grundvandstype 4: .....	34
5.4.2	Dannelse af grundvandstype 4 .....	34
5.4.3	De væsentligste geokemiske processer .....	34
5.4.4	Udbredelse af grundvandstype 4 i projektområdet .....	35
5.4.5	Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 4 .....	35
5.4.6	Tidslig udvikling af grundvandstype 4 .....	35
5.5	Grundvandstype 5: Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand – med forhøjede koncentrationer af sulfat og nitrat.....	37
5.5.1	Definition af grundvandstype 5 .....	37
5.5.2	Dannelse af grundvandstype 5 i projektområdet.....	37
5.5.3	De væsentligste geokemiske processer .....	37
5.5.4	Udbredelse af grundvandstype 5.....	38
5.5.5	Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 5 .....	41
5.5.6	Tidslig udvikling af grundvandstype 5 .....	42
5.6	Grundvandstype 6: Calcium-bikarbonat grundvand med metan og lave koncentrationer af sulfat .....	43
5.6.1	Definition af grundvandstype 6 .....	43
5.6.2	Dannelse af grundvandstype 6 .....	43
5.6.3	De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 6 .....	43
5.6.4	Udbredelse af grundvandstype 6 i projektområdet .....	45
5.6.5	Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 6 .....	45
5.6.6	Tidslig udvikling af grundvandstype 6 .....	46
<b>6.</b>	<b>KE kildepladser med forhøjede koncentrationer af klorid</b>	<b>49</b>
6.1	Introduktion .....	49
6.2	Konklusion.....	50
<b>7</b>	<b>Konklusioner</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Litteratur</b>	<b>55</b>
<b>BILAG 1.</b>	<b>KE kildepladser</b>	<b>57</b>

# Forord

Denne rapport er udarbejdet af Institut for Miljø & Ressourcer på Danmarks Tekniske Universitet som en del af rapporteringen af projektet "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland". Projektet er finansieret af Københavns Energi, Københavns Amt, Frederiksborg Amt og Roskilde Amt, og gennemført i et samarbejde mellem Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og Danmarks Tekniske Universitet. Projektet er gennemført i perioden fra august 2002 til november 2005.

Det overordnede formål med projektet er at tilvejebringe en bedre viden om karakteren af saltvandsgrænsen og dybden til denne i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland med henblik på at kunne vurdere mulighederne for en bæredygtig udnyttelse af de dybere og uforurenede dele af disse grundvandsmagasiner. Indenfor de tre amter er projektet geografisk begrænset til det område, hvor Skrivekridt og Danienkalk udgør den prækvartære overflade, dog undtaget Hornsherred på grund af manglende data.

Projektet har været opdelt i to faser. Den første fase havde som hovedformål at systematisere og analysere eksisterende data og viden om saltvand i projektområdet, men inkluderede også ny dataindsamling i form af udførelse af borehulslogging og TEM-kortlægning. Projektets anden fase har fokuseret på et værkstedsområde ved Karlslunde, hvor undersøgelserne hovedsageligt har drejet sig om to nye dybe projektboringer. Endvidere er Danienkalkens og Skrivekridtets hydrauliske egenskaber undersøgt såvel i felten som i laboratoriet. Endelig har denne fase også omfattet supplerende borehulslogging, samt opstilling af en konceptuel og en numeriske hydrogeologisk model i Karlslunde området til beregning af udvaskning og diffusion af saltvand fra Skrivekridtet og Danienkalken over geologisk tid. Formålet med anden fase har således især været at belyse de parametre og forstå de processer, som over geologisk tid har kontrolleret udvaskningen af residualt saltvand fra formationerne. En sådan forståelse er en forudsætning for at kunne udvikle en metode for prognostisering af fremtidig kloridbelastning af eksisterende og nye grundvandsindvindinger fra Danienkalk og Skrivekridt.

I forbindelse med gennemførelsen af projektets første fase blev der foretaget en systematisering og en analyse af eksisterende data vedrørende de grundvandskemiske forhold i kalkmagasinerne. Resultaterne heraf præsenteres i nærværende delrapport 5. Projektets øvrige rapporter fremgår af nedenstående oversigt:

Hovedrapport:

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, hovedrapport**  
*Resume af delprojekternes resultater og konklusioner samt perspektivering.*

Delrapporter:

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 1**  
*Kortlægning af Danienkalk-Skrivekridt grænsen samt forkastninger i denne.*

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 2**  
*Undersøgelse af saltvandsgrænsen ved hjælp af geofysisk borehulslogging.*

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 3**  
*Kortlægning af saltvandsgrænsen med transiente elektromagnetiske (TEM) sonderinger.*

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 4**  
*Simulering af nuværende og historiske strømnings- og potentialeforhold.*

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 5**  
*Grundvandstyper i kalkmagasinerne.*

**Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 6**  
*Saltvandsudvaskning i Danienkalk og Skrivekridt - Detailundersøgelser i Karlsrunder værkstedsområde.*

Til projektet har været knyttet en styregruppe, som har haft følgende sammensætning:

Gyrite Brandt, Københavns Energi  
Arne Mogensen, Frederiksborg Amt  
Niels-Christian Terkildsen, Frederiksborg Amt  
Susanne Hartelius, Københavns Amt  
Susanne Andreasen, Københavns Amt  
Merete Olsen, Roskilde Amt

Projektgruppen har haft følgende medlemmer:

Kurt Klitten (GEUS), projektleder fra 15. januar 2003  
Thorkild Feldthausen Jensen (GEUS) projektleder indtil 15. januar 2003 (nu Rambøll).  
Flemming Larsen (DTU)  
Torben O. Sonnenborg (DTU, derefter KU og nu GEUS)  
Lene Hjelm Poulsen (DTU, nu Dansk Geo-servEx a/s)  
Christian Steen Wittrup (GEUS, derefter DTU og nu GEO)  
Kenneth Berger (DTU og nu Vestsjællands Amt)  
Peter Madsen, (stud. polyt. DTU, nu Novozymes)  
Kristoffer A. Ulbak, (stud. polyt., DTU, nu Københavns Amt)  
Ellen Prip Bonnesen, (stud.polyt., DTU, nu PhD, DTU)

Derudover har følgende leveret væsentlige bidrag til projektet:

Lars Troldborg (GEUS)  
Torben Bidstrup (GEUS)  
Jeppe Rølmer Hansen (GEUS)  
Erik Clausen (GEUS)  
Søren Jessen (DTU & GEUS)

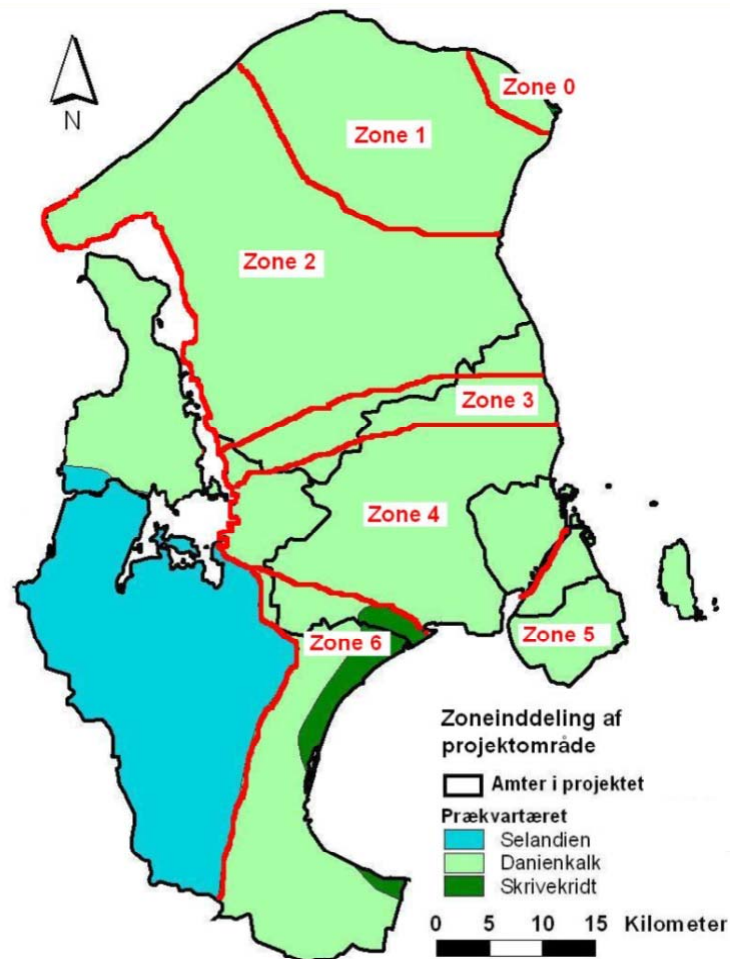
Tidligere projektleder Thorkild Feldthausen Jensen har gennemlæst alle rapporter i udkast, og givet nyttige kommentarer og forslag til forbedringer.

København, den 1. april 2006

# 1. Introduktion

Som en del af projektet "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland" er der gennemført en regional kortlægning af de grundvandskemiske forhold i kalkmagasinerne i den nordøstlige del af Sjælland. Undersøgelserne er gennemført på baggrund af udtræk fra GEUS grundvandskemiske database samt Københavns Energis database om forholdene på kildepladserne.

Undersøgelsesområdet for projektet er geografisk begrænset til det område i de tre amter, hvor prækvartæroverfladen udgøres af enten Danienkalk eller af Skrivekridt, figur 1-1. Følgelig følger den vestlige afgrænsning af projektområdet Selandien aflejringerens østlige udbredelsesgrænse (Lellinge Grønsandskalk og Kerteminde Mergel). Efter ønske fra Styregruppen er de vandkemiske forhold i den østlige del af Roskilde Amt dog medtaget i dette delprojekt. For at lette fremstillingen, er projektområdet inddelt i syv delområder, figur 1-1.



**Figur 1-1** Den geografiske udbredelse af de tre amter og projektområdet, hvor Skrivekridtet og Danienkalk udgør den prækvartære overflade. I figuren er også vist den benyttede inddeling af området i syv zoner.

I denne **Delrapport 5** præsenteres resultaterne af systematiseringen og analysen af eksisterende data vedrørende de grundvandskemiske forhold i projektområdet. Fremstillingen er baseret på data i en oprettet projektdatabase, indeholdende dels data fra et udtræk fra GEUS databaser, dels et udtræk af data fra Københavns Energis databaser.

Delrapporten har følgende indhold: I kapitel 2 gives et resume af aktiviteter, resultater og konklusioner. I kapitel 3 præsenteres datagrundlaget og den benyttede metode. I kapitel 4 præsenteres resultaterne af systematiseringen af data, og der defineres i afsnittet seks overordnede grundvandstyper samt deres relation til sedimenterne beskrives. I kapitel 5 gennemgås de seks grundvandstyper, herunder de væsentligste kemiske reaktioner mellem sediment og vandtypernes udbredelse. I kapitel 6 beskrives de grundvandskemiske forhold ved Københavns Energis kildepladser, med særlig vægt på koncentrationen af saltvand i pumpevandet. Rapportens overordnede konklusioner præsenteres i kapitel 7.

## 1.1 Delprojektmålsætninger

Det overordnede formål med denne del af projektet er at etablere en viden om de generelle grundvandskemiske forhold i kalkmagasinerne i den nordøstlige del af Sjælland.

Mere specifikt er det målene, at:

- Opstille et enkelt, overskueligt og procesorienteret kemisk klassifikationssystem for grundvandet i kalkmagasinerne i undersøgelsesområdet.
- Identificere områder, hvor der forekommer problematiske vandkvaliteter, som ikke kan behandles med en traditionel vandbehandling.
- Undersøge sammenhængen mellem placering, oppumpning, driftmæssige forhold, etablering af dybe borer og saltindhold i pumpevandet på KE kildepladser i undersøgelsesområdet.

Dette gennemføres med henblik på at skabe et overblik over hvor i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, der forekommer grundvand, der er egnet til drikkevand efter en traditionel vandbehandling.



## 2. Sammenfatning

I forbindelse med projektet *Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland*, er der gennemført en klassificering af eksisterende udvalgte grundvandskemiske data med henblik på opstilling af grundvandstyper i kalkmagasinerne i projektområdet.

Datagrundlaget for opstillingen af grundvandstyper i kalkmagasinerne er uorganiske, kemiske analyser i en projektdatabase, som blev etableret i forbindelse med projektet. Projektdatabasen indeholder dels et udtræk fra GEUS databaser og dels et udtræk fra Københavns Energis databaser. Fra GEUS databaser er udtrukket analyseresultater for vandprøver udtaget i de tre amter i perioden fra 1990 til 2002. Fra Jupiter databasen indeholder projektdatabasen oplysninger om geologiske, hydrogeologiske og boretekniske forhold. I alt indeholder projektdatabasen 3.500 sæt data, som kan henføres til vandprøver udtaget fra omkring 800 borer. Data fra Københavns Energis database er anvendt til at undersøge tidlige udviklinger i råvandets indhold af saltvand (natrium og klorid) på 22 af deres kildepladser.

Den foreslåede inddeling af grundvandet i grundvandstyper er baseret på de dominerende koncentrationer af kemiske komponenter, som bestemmer vandet egnethed som drikkevand efter en traditionel vandbehandling. Vandkvaliteten er et resultat af de hydrogeologiske og geokemiske processer, som har påvirket vandet under infiltration til kalkmagasinerne og i selve kalkmagasinerne. Da flere af disse processer kan forekomme samtidig, er der i klassifikationen lagt vægt på processer, som er dominerende for grundvandets kemiske sammensætning. Samtidig er det tilstræbt at definere vandtyperne således, at der kan udskilles veldefinerede geografiske områder, hvor vandtyperne dominerer. Endelig er det forsøgt at skabe et relativt enkelt system med kun seks overordnede grundvandstyper, hvor man med en fleksibel nomenklatur kan kombinere nye navne på vandtyper. Da opløsning af calcit, og dannelse af en  $\text{Ca-HCO}_3$  vandtype, er et fællestræk for alle vandtyperne, synes det naturligt at benytte denne betegnelse for alle vandtyperne (der er dog én undtagelse herfra, nemlig den ionbyttede vandtype  $\text{Na-HCO}_3$ ). Efterfulgt betegnelsen  $\text{Ca-HCO}_3$  angives vandtypens andre hovedtræk, eksempelvis: Grundvandstype  $\text{Ca-HCO}_3$  med forhøjede koncentrationer af saltvand.

Følgende hovedvandtyper er opstillet i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland:

Grundvandstype 1 ( $\text{Ca-HCO}_3$  grundvand) er defineret ved et indhold af calcium under 100 mg/l, og et indhold af bikarbonat, som typisk er under 300 mg/l. Den dominerende proces som fører til dannelse af denne grundvandstype er opløsning af karbonatminerale ved tilførsel af kuldioxid fra atmosfæren og rodzonen, uden anden væsentlig syreproduktion i jordlagene.

Den geografiske udbredelse af grundvandstype 1 er hovedsagelig begrænset til den nordlige del af projektområdet, hvor kalkmagasinet er artesisk, og hvor indvindingen foregår fra Danienkalken (Zone 0, Zone 1 og Zone 3).

Grundvandstype 2 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjet NaCl) er defineret ved et indhold af natrium over 175 mg/l, og et indhold af klorid over 250 mg/l. Den dominerende proces som fører til dannelse af denne grundvandstype er, foruden opløsning af karbonatminerale, tilførsel af Na og Cl fra residuelt porevand. Lokalt kan grundvandet tilføres saltvand fra vejsaltning, eller ved indtrængning af saltvand fra havet.

Denne vandtype forekommer på større dybder i Skrivekridtet, typisk mellem 100 og 120 m, i hele projektområdet /2, 3/. Mere terrænnært forekommer denne vandtype i Skrivekridt, som udgør den prækvartære overflade langs Køge Bugt, og ved større kildepladser vest og sydvest for København (Zone 6). Fra disse kildepladser oppumpes vand, som delvist kommer fra Skrivekridt og delvist fra Danienkalk. Kilden til klorid er her residuelt saltvand i Skrivekridtet, og mobiliseringen kan lokalt være betinget af tilstedeværelsen af sprækker. I den vestlige del af Roskilde Amt ses forhøjede koncentrationer af saltvand i pumpevandet ved kildepladserne Gevninge og Ramsø. Årsagen til de forhøjede koncentrationer er her oprængning af saltvand fra de dybere dele af Danienkalken.

Grundvandstype 3 (Na-HCO<sub>3</sub> grundvand) er defineret ved et Na/Ca-forhold målt i milliækvivalenter, som er større end 1, og hvor koncentrationen af Cl samtidig er under 50 mg/l. Denne vandtype dannes ved opløsning af karbonatminerale koblet til en ionbytning af kationer (Na og Ca), især på lerminerale i kalkmagasinerne. Denne grundvandstype indeholder også nogle steder forhøjede koncentrationer af fluorid og strontium. Grundvandstype 3 forekommer især i Skrivekridt langs Køge Bugt og i Lellinge Grønsand Formationen i Frederiksborg Amt og i Roskilde Amt (Zone 1 og 6).

Grundvandstype 4 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjet indhold af fluorid) er defineret ved en koncentration af fluorid som er større end 1,5 mg/l. Denne vandtype dannes, foruden ved opløsning af karbonatminerale, ved opløsningen af fluorholdige minerale.

Grundvand med forhøjede koncentrationer af fluorid findes i projektområdet især i Skrivekridtet. I vandforsyningerne ses dette ved Køge Bugt i borerne, hvorfra der foregår indvindning fra Skrivekridtet, i området vest for København, samt i områder hvor der forekommer ionbytning af grundvandet i den vestlige del af Roskilde Amt og Frederiksborg Amt (Zone 1 og Zone 6).

Grundvandstype 5 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjede koncentrationer af sulfat og nitrat) er defineret ved en koncentration af sulfat over 100 mg/l. Hvor grundvandet indeholder nitrat i koncentrationer over 5 mg/l indgår denne parameter i grundvandstypen. Derudover indeholder denne grundvandstype koncentrationer af calcium over 100 mg/l. Denne grundvandstype indeholder ofte forhøjede koncentrationer af sporelementer, - især nikkel.

Denne grundvandstype dannes især i den centrale del af Roskilde Amt, i den sydlige del af Københavns Amt samt i den sydvestlige del af Frederiksborg Amt (Zonerne 4, 5 og 6). I disse områder forekommer mange steder er frit grundvandsspejl i kalken, og mægtigheden af dæklagene over kalken er tillige mange steder relativt beskedne. Under sådanne hydrogeologiske forhold forekommer der en relativ stor transport af oxidationsmidlerne ilt og nitrat ned i kalkmagasinerne, hvor der forekommer kemisk reduktion primært ved oxidation af sulfider (pyrit). Denne grundvandstype dannes hovedsagelig ved opløsning af karbonatmi-

neraler samt en oxidation af sulfider, hvorved grundvandet tilføres forhøjede koncentrationer af sulfat og calcium. Nikkel i pyrit kan herved tilføres grundvandet. En del steder indeholder denne vandtype også forhøjede koncentrationer af nitrat. I residualt porevand forekommer også forhøjede koncentrationer af sulfat (op til 2730 mg/l). Grundvand som er påvirket af havvand og/eller saltholdigt grundvand indeholder imidlertid også forhøjede koncentrationer af natrium og klorid. Denne vandtype er behandlet under Grundvandstype 2.

Grundvandstype 6 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med metan og lave koncentrationer af sulfat) er karakteriseret ved et indhold af metan (CH<sub>4</sub>) over 3 mg/l, og en koncentration af sulfat under 10 mg/l. Denne grundvandstype dannes, hvor der foregår en betydelig nedbrydning af reaktivt organisk stof, og følgeprocesser er dannelse af metan og reduktion af sulfat. Denne grundvandstype forekommer især i den nordlige del af Frederiksborg Amt. Udbredelsen af denne vandtype er knyttet til forekomsten af postglaciale dæklag med en højt indhold af organisk materiale. Denne vandtype dannes hovedsageligt i dæklaget over kalken, med efterfølgende infiltration ned i kalkmagasinerne. Der forekommer også lave koncentrationer af sulfat i grundvandet i den vestlige del af Roskilde Amt, men her kan de muligvis skyldes forekomsten af organisk materiale i de marine aflejringer i selve Lellinge Grønsand Formationen. Grundvandstype 6 indeholder ofte høje koncentrationer af organisk stof, ammonium og fosfor (Zone 0, 1 og 2).

I projektområdet forekommer de mest problematiske grundvandstyper i områder, hvor residualt porevand ikke er fuldstændigt udvasket fra Skrivekridtet samt i områder, hvor der er frit vandspejl i Danienkalken. I områder med residualt porevand i Skrivekridtet (Zone 4 og Zone 6) forekommer relativt høje koncentrationer af klorid, natrium, magnesium og. Derudover er der i områder observeret forhøjede koncentrationer af strontium, men kilden hertil synes at være bjergartens naturlige minerale (aragonit). I Danienkalken forekommer udbredte områder i zone 4 og 6, hvor grundvandsmagasinet er frit. Som følge af oppumpningerne fra kalkmagasinerne er mægtigheden af de umættede zoner her blevet forøget, og geografisk dækker den del af magasiner nu også et større område. Resultatet har været en forøget tilførsel af ilt, hvilket har forøget oxidationen af sulfider, især pyrit, en proces som er syredannende. En af følgerne heraf er en forøget opløsning af kalk, og dermed dannelse af hårde vandtyper med relativt høje koncentrationer af calcium, magnesium og bikarbonat. En anden følgevirkning er forhøjede koncentrationer af sulfat og nikkel samt andre sporelementer, som kan være indbygget i sulfidminerale. Udbringning af nitrat på områder i denne del af magasinet, og efterfølgende udvaskning til kalkmagasinerne, har accelereret denne proces, idet oxidation af sulfider også kan forekomme ved reduktion af nitrat.

Gennemgangen af København Energis (KE) kildepladser viser ingen entydig sammenhæng mellem oppumpningsmængden og stigende klorid i pumpevandet. Derimod er kildepladser med stigende klorid ofte kendetegnet ved at ligge i områder med højtliggende Skrivekridt. Der er dog klare undtagelser til reglen om højtliggende Skrivekridt og stigende/forhøjet kloridindhold. Dette kan skyldes lokale forhold såsom tilstedeværelsen af forkastninger, vejsaltning, ændret indvindingsstrategi eller etablering af dybe borer på kildepladsen.

### 3. Datagrundlag og metode

#### 3.1 Datagrundlag

Datagrundlaget for klassifikation af grundvandet i grundvandstyper i kalkmagasinerne er et udtræk fra GEUS geokemiske database i projektområdet omfattende amterne: Frederiksborg Amt, Københavns Amt og Roskilde Amt, samt et udtræk fra Københavns Energis (KE) kemiske database. Data fra KE er benyttet til opstilling af tidsserier for grundvandsspejl, oppumpede vandmængder og grundvandskemi for større kildepladser.

Fra GEUS's database er udtrukket data fra vandprøver, som er udtaget i perioden fra 1990 til 2002. Foruden data om grundvandskemiske parametre indeholder udtrækket oplysninger om geologiske og boretekniske forhold, såsom filtersætning, dybde under terræn etc. Sammensætning af projektdatabasens uorganiske kemiske parametre fremgår af tabel 3-1.

**Tabel 3-1** Parametre i udtræk fra GEUS database

Stofnavn	Formel
Ilt	O <sub>2</sub>
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Jern (total)	Fe
Mangan (total)	Mn
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Svovlbrinte	H <sub>2</sub> S
Ammonium/Ammoniak	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NH <sub>3</sub>
Methan	CH <sub>4</sub>
PH	-log [H <sup>+</sup> ]
Calcium	Ca
Bikarbonat ≈ Alkalinitet	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Magnesium	Mg
Natrium	Na
Klorid	Cl <sup>-</sup>
Fluorid	F <sup>-</sup>
Fosfor (fosfat) total	P
Kalium	K
Nikkel	Ni
Strontium	Sr
Arsen (total)	As

I alt forekommer omkring 3.500 sæt data i den definerede projektdatabase. Fra flere af borerne i basen foreligger flere vandanalyser, og i tabel 3-2 er opgjort antal borer,

hvorfra der forligger analyser samt fordelingen af parametre. Data vedrørende koncentrationer af strontium, nikkel og arsen indgår kun i begrænset omfang i analyserne.

**Tabel 3-2** Antal analyser på kemiske oversigtskort

Stof	Antal analyser	Antal boringer
Natrium	2958	781
Klorid	3643	803
Calcium	3105	751
Nitrat	3126	613
Magnesium	3099	783
Sulfat	3430	802
Strontium	147	27
Fosfor	2938	756
Ammonium	2956	516

Fra Københavns Energi's vanddatabase er der udtrukket data fra de kildepladser, som er opgivet i tabel 3-3:

**Tabel 3-3** Kildepladser fra Københavns Energi hvorfra data er udtrukket

Assermølle	Attermose	Bjellekær	Bogøgård	Brokilde
Egholm	Gevninge	Gummersmarke	Havdrup	Havelse
Hørup	Ishøj	Karlsunde	Katrinebjerg	Kilde III
Kilde X	Kilde XI	Kilde XIII	Kildedal	Kimmerslev
Lavring	Marbjerg	Nybølle	Nr. Dalby	Ramsø
Ravneshave	Solhøj	St. Vejleå	Strø	Søndersø
Thorsbro	Tåstrup-Valby	Vallensbæk	Vardegård	Værebrosø
Æbelholt				

I KE databasen indgår data fra alle pumpeboringer på de enkelte kildepladser, idet det dog i alle tilfælde er blandingsvand fra flere boringer. Følgende parametre indgår i dette datasæt: Natrium, klorid, calcium, sulfat, jern og nikkel. Derudover er der indhentet pejletidsserier fra de enkelte kildepladser.

Foruden oplysninger om grundvandskemiske forhold på kildepladserne er der indsamlet oplysninger om driftsforhold på kildepladserne.

## 3.2 Metode

Fra GEUS vandkemiske database er der foretaget et udtræk med de i tabel 3-4 benyttede søgekriterier. "Amtsnr." angiver numre i databasen, som henviser til henholdsvis Roskilde, Københavns og Frederiksborg Amter. "DGU Nr.", "UTM" og "Kote" angiver boringernes numre samt deres lokaliser og terrænkoter. "Top" og "Bund" angiver prøvernes dybder under terræn. "Dato" angiver tidspunktet hvor prøverne blev udtaget. "Formål" angiver borin-

gernes funktion, hvor "A" og "L" betyder henholdsvis Afværgeboring eller Losseplads. Disse boringer er frasorteret, da vandprøver fra sådanne boringer ikke nødvendigvis repræsenterer de naturlige grundvandskemiske forhold i magasinerne. I databasen har boringerne formålsbetegnelsen "VV" VandVærk", "V" vandboring, "M" monitoringsboring eller ingen betegnelse. "Indtagsbjergart" er den geologiske enhed/enheder med filterindtag hvorfra prøven er udtaget. Dette kan eksempelvis være "sk" – skrivekridt, "bk"-bryozokalk, eller "k" - kalk osv. Ved at benytte betingelsen "\*k\*" udtrækkes prøver fra alle bjergarter, hvor k indgår i navnet. Derved udtrækkes alle boringer med vandprøver fra kalkholdige bjergarter. "Stof" angiver de søgte parametre, eksempelvis klorid og natrium. "Mængde" angiver koncentrationen af de udtrukne parametre. Den geografiske fordeling af grundvandets sammensætning i projektområdet er præsenteret på kort. En vist koncentration repræsenterer den maksimale koncentration målt i perioden 1990 til 2002.

**Tabel 3-4** Søgekriterier for udtræk af data fra GEUS's vandkemiske database.

Amtsnr. 25,15 og 20	Xutm	Kote	Dato > 1990	Formål Not like "A" or "L"	Stof
DGU Nr.	Yutm	Top	Bund	Indtagsbjergart Like "*k*"	Mængde

Hvor der foreligger et komplet datasæt af følgende 14 parametre: Calcium, magnesium, natrium, ammonium, sulfat, klorid, nitrat, bikarbonat, fluorid, jern, methan, hydrogensulfid, fosfor og pH er disse data udtaget til en deldatabase, som er benyttet til beregninger med det geokemiske program PHREEQC /4/. Som en kvalitetssikring af disse data i denne deldatabase er kun medtaget data, hvor forskellen i ionbalance er mindre end 3 %. Dette gav et datasæt på 341 analyser.

Der blev ligeledes udtrukket et del-datasæt med de overstående 14 parametre og strontium. Dette gav dog et væsentlig lavere antal prøver på kun 55. Dette datasæt blev benyttet til at belyse hvilke geokemiske processer, som kontrollerer forekomsten af strontium i Skrivekridt og Danienkalk.

## 4. Bjergarter og vandtyper i kalkmagasinerne

### 4.1 Bjergarterne

I de tre amter i Nordøstsjælland udgøres de prækvartære bjergarter af: Skrivekridt, Danienkalk og Lellinge Grønsand Formationen (Selandien), figur 1-1. Skrivekridtet forekommer direkte under de glacielle dæklag i en relativt smal zone langs Køge Bugt, i den største del af området udgøres den prækvartære overflade af Danienkalken, mens Lellinge Grønsand Formationen udgør den prækvartære overflade i den vestlige del af Roskilde Amt, samt i en lille blok i Frederiksborg Amt, mellem Arresø og Esrum Sø, som dog ikke er vist på figur 1-1. Da projektområdet kun omfatter arealet, hvor Skrivekridt og Danienkalk udgør den prækvartære overflade, vil beskrivelsen af bjergarterne hovedsagelig kun omfatte disse formationer. I gennemgangen af de opstillede vandtyper, vil forholdene i Lellinge Grønsand Formationen dog blive inddraget i mindre omfang.

#### 4.1.1 Skrivekridt

Skrivekridtet forekommer på Sjælland med mægtigheder på op mod 1.000 - 1.500 m /5/. Skrivekridt er en finkornet (< 5 µm), hvid kalkbjergart, der overvejende består af hele eller fragmenterede kokkolitter og andre pelagiske kalk-nannofossiler /6/. Mineralogisk er kridt domineret af lav-magnesium calcit ( $\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$ ), hvor formelen angiver, at en del af calcium atomerne i calcit er substitueret af magnesium. Edmunds et. al. /7/ angiver et indhold af magnesium i kridt på mellem 1.319 og 2.003 ppm, hvilket svarer til et indhold i calcit på mellem 0,5 og 1,0 molprocent. Calcit med et indhold af magnesium af denne størrelse er termodynamisk relativt stabilt /8/, og dette er årsagerne til den relativt beskedne diagenetiske omdannelse af Skrivekridt, og hermed bevarelsen af en høj primær porøsitet på 40- 50 % /9/.

Foruden calcit indeholder kridt mindre mængder af karbonatmineralet aragonit ( $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CO}_3$ ), hvor strontium kan erstatte calcium i krystalgitteret. Da aragonit er termodynamisk ustabil i forhold til calcit, vil aragonit med tiden blive omdannet til lav-magnesium calcit. Foruden karbonat indeholder kridt en uopløselig rest på mellem 0,5 og 17 %, som er domineret af siliciumoxider (flint), lerminerallerne montmorillonit, illite samt andre silikatmineraller og sulfider /10/. Som det fremgår af /2/ optræder lermineraller sammen med calcit som udbredte mergellag i Skrivekridtet på Sjælland. Endelig indeholder Skrivekridt fluorholdige mineraler såsom fluorite ( $\text{CaF}_2$ ) og fluorapatit /11/. Derudover indeholder kridtet mindre mængder organisk stof, som dog på grund af bjergartens alder vil have en relativt lille reaktivitet.

## 4.1.2 Danienkalk

De dominerende kalktyper i Danienkalk er bryozokalk og kalksandskalk /6/. I området omkring København betegnes kalksandskalken, København Kalken /5/. På baggrund af denne gennemgang af de grundvandskemiske data i projektområdet, er der ikke grund til at skelne mellem de forskellige typer af kalk, så de vil samlet blive omtalt som Danienkalk.

Danienkalken er petrografisk undersøgt af Larsen /12/, men formations geokemiske forhold er ikke velundersøgt. Undersøgelser af Danienkalken i borerer ved Tune har vist, at kalken her indeholder mellem 250 og 82.000 ppm magnesium (0,1 til 35 molprocent) /13/ og i de fleste tilfælde, forekommer et væsentligt højere indhold af magnesium i calcit i Danienkalken i forholdet til calcit i Skrivekridt. Som nævnt er calcit med et så højt indhold af magnesium termodynamisk ustabil, hvilket er grunden til en mere omfattende rekrystallisering af Danienkalken end Skrivekridtet. Danienkalken har oprindeligt også haft et indhold af aragonit, men dette er nu omkrystalliseret.

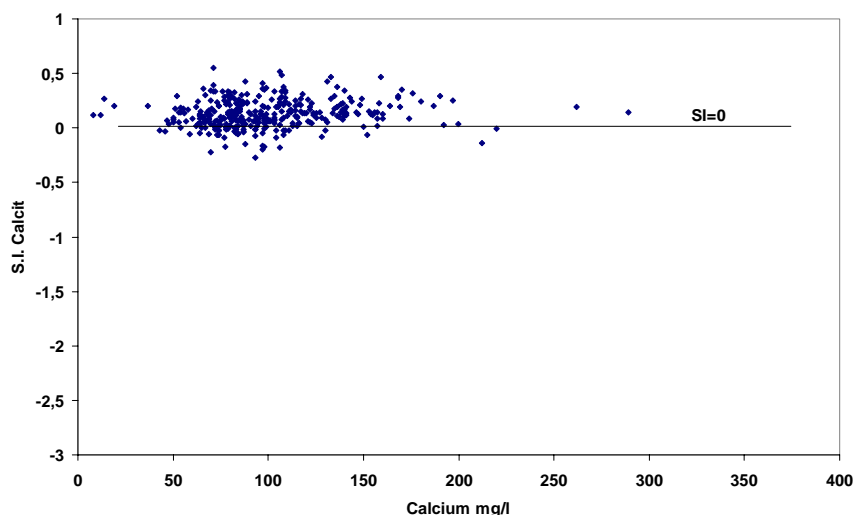
Foruden karbonat indeholder Danienkalken en del siliciumoxider (flint) lermineraller, en del sulfider /11/ og mindre mængder organisk stof.

## 4.1.3 Opløsning af calcit i Skrivekridt og Danienkalken

Den dominerende grundvandstype i Skrivekridt og Danienkalk er en vandtype, som er fremkommet ved reaktion mellem karbonatmineraller og nedsivende ferskvand indeholdende opløst kuldioxid. Opløseligheden af calcit er overordnet styret af følgende ligevægt:



Ligevægtsberegninger viser, at grundvandet i kalken stort set er i ligevægt med calcit, figur 4-1.



**Figur 4-1** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) for calcit.  $SI < 0$  angiver undermætning med hensyn til calcit,  $SI = 0$  viser mætning og  $SI > 0$  viser overmætning.

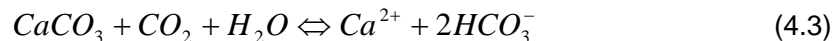


Det fremgår af figur 4-1, at de 341 vandprøver i PHREEQC databasen er tæt på mætning med hensyn til ren kalcit, og koncentrationerne af  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{CO}_3^{2-}$  må derfor overordnet være kontrolleret af opløsning/udfældning af kalcit. Usikkerhederne på de kemiske analyser, samt varierende opløselighedsprodukt med varierende indhold af magnesium i kalcit, er de væsentligst årsager til afvigelsen fra mætning.

Afhængigt af grundvandets koncentration af  $\text{H}^+$  vil den frigjorte karbonat ion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) fra kalcit danne vandige komplekser med én eller to af protonerne. Opløsning af kalcit har således en syreneutraliserende effekt, se reaktionsligning 4.2.



Reaktionsligning (4.1) beskriver opløseligheden af kalcit, det vil sige frigørelsen af ioner fra mineralgitteret, men da der i grundvandsmagasinerne indgår kuldioxid i opløsningen, kan opløsningen af kalcit overordnet beskrives med følgende reaktionsligning (4.3):



Som det ses, vil der ved et forøget indhold af kuldioxid forekomme en forøget opløsning af kalcit, mens der modsat vil ske udfældning ved afgang af kuldioxid.

Foruden opløsning af kalcit vil vandtyper i kalkmagasinerne være styret af en række andre processer og hydrogeologiske forhold, som kan sammenstilles i følgende oversigt:

- Opløsning af andre mineraler i kalken og dæklag
- Udvaskning af residualt marint porevand, natrium, magnesium, klorid, sulfat etc.
- Redoxprocesser i kalkmagasinerne og dæklagene
- Reaktion med organisk stof, her under frigivelse af ammonium og fosfor
- Antropogene bidrag betinget af atmosfærisk afsætning og arealanvendelse
- Blanding af forskellige vandtyper i pumpeboringer

Det skal understreges, at især det sidste forhold, blanding af vandtyper i pumpeboringer, er af betydning i denne sammenstilling, idet en stor del af vandprøverne kommer fra indvindingsboringer.

## 4.2 Et klassifikationssystem for vandtyper i kalkmagasinerne

Ved etablering af klassifikationssystemet for grundvandstyper er der lagt vægt på følgende:

- geokemiske processer
- udvælgelse af parametre, som påvirker vandets anvendelighed til drikkevand
- overskuelighed
- veldefinerede geografiske områder, som kan henføres til geologi og hydrogeologi

Da forskellige geokemiske processer kan forekomme samtidigt i grundvandet, er der i klassifikationen lagt vægt på de dominerende processer, det vil sige de processer, som er de væsentligste for grundvandets kemiske sammensætning, og hermed dets anvendelse som drikkevand. Da flere af de geokemiske processer ofte forekommer samtidigt i grundvandet, og ofte er koblede, er det ikke muligt at etablere et system som er fuldstændigt entydigt. Dette problem kan dog reduceres ved at gøre det etablerede system fleksibelt med hensyn til navngivning af vandtyperne, se nedenstående.

Det er vurderet, at hvor parametre har særlig betydning for grundvandets anvendelighed, bør disse indgå i klassifikationen af grundvandstyperne. Sådanne parametre er klorid, natrium, fluorid, sulfat, nitrat, nikkel, metan og naturligt organisk stof.

Det er tilstræbt at skabe et relativt enkelt system, som indeholder seks overordnede grundvandstyper, se tabel 4-1. Vandtyperne er defineret ud fra nogle primære og sekundære kendetegn, som afspejler de processer, som har givet vandtyperne deres kemiske karakteristika.

- Grundvandstype 1 er Ca-HCO<sub>3</sub> vandtypen, som de fem andre vandtyper er modifikationer af.
- Grundvandstype 2 er en vandtype, som derudover indeholder residualt saltvand.
- Grundvandstype 3 er grundvand, som foruden opløsning af kalcit er præget af ionbytning af natrium og calcium. Herved fremkommer en vandtype, som kan betegnes en Na-HCO<sub>3</sub> vandtype.
- Grundvandstype 4 er grundvand med forhøjede koncentrationer af fluorid.
- Grundvandstype 5 er dannet som følge af forhøjede koncentrationer af oxidationsmidlerne ilt og nitrat. Denne vandtype indeholder forhøjede koncentrationer af nitrat, sulfat, calcium og mange steder nikkel.
- Grundvandstype 6 indeholder forhøjede koncentrationer af metan, organisk stof, ammonium samt lave koncentrationer af sulfat.

Det skal understreges, at der kan forekomme grundvand, som indeholder kendetegn fra to vandtyper. Som eksempel kan nævnes, at ionbytning ofte påvirker koncentrationen af fluorid, så en vandprøve både kan være ionbyttet og have forhøjet indhold af fluorid.

Det foreslåede klassifikationssystem er relativt enkelt, og indeholder kun seks hovedtyper af grundvand. Nye vandtyper kan etableres ved kombination af navne, eksempelvis vil grundvand som er præget af opløsning af kalcit og tilstedeværelse af residualt porevand med forhøjede koncentrationer af klorid, magnesium og fluorid, betegnet som en Ca-HCO<sub>3</sub> vandtype med forhøjede koncentrationer af klorid, magnesium og fluorid.

**Tabel 4-1** Definitionen af de opstillede grundvandstyper i kalkmagasinerne på Sjælland.

Vandtyper i kalkmagasinerne								
Vandtyper	Ca mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	F mg/l	Sulfat mg/l	CH <sub>4</sub> mg/l	Na/Ca mækv.
1) Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand	<b>&lt;100</b>	<b>&lt;300</b>	<200	<250	< 1,5	<100	<3	<1
2) Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med NaCl	-	-	<b>&gt;175</b>	<b>&gt;250</b>	<1,5	<100	<3	<1
3) Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med fluorid	-	-	<175	<250	<b>&gt;1,5</b>	<100	<3	<1
4) Na-HCO <sub>3</sub> grundvand	<60	-	40-175	<b>&lt;50</b>	-	<100	<3	<b>&gt;1</b>
5) Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med sulfat med eller uden nitrat	>100	-	<175	<250	<1,5	<b>&gt;100</b>	<3	<1
6) Ca-HCO <sub>3</sub> grundvand med methan og lav sulfat	-	-	<175	<250	<1,5	<b>&lt;10</b>	<b>&gt;3</b>	<1

I tabel 4-1 angiver koncentrationer med fed skrift de ioner, som der er lagt vægt på i definitionen af grundvandstypen, mens koncentrationer med normal skrift viser det normale indhold af andre ioner i vandtypen.

## 5. Grundvandstyper i kalkmagasinerne

### 5.1 Grundvandstype 1: Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand

#### 5.1.1 Definition af grundvandstype 1

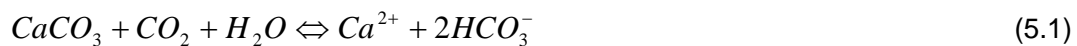
Grundvandets indhold af calcium er under 100 mg/l og indholdet af bikarbonat er under 300 mg/l.

#### 5.1.2 Dannelse af grundvandstype 1

Grundvand, som klassificeres under denne grundvandstype, er dannet som følge af opløsning af kalcit med grundvand, som har fået tilført relativt små koncentrationer af kuldioxid fra naturlige processer i jordbundszone.

#### 5.1.3 De væsentligste geokemiske processer

Opløsning af kalcit i Skrivekridt og Danienkalk, foregår efter følgende reaktionsligning



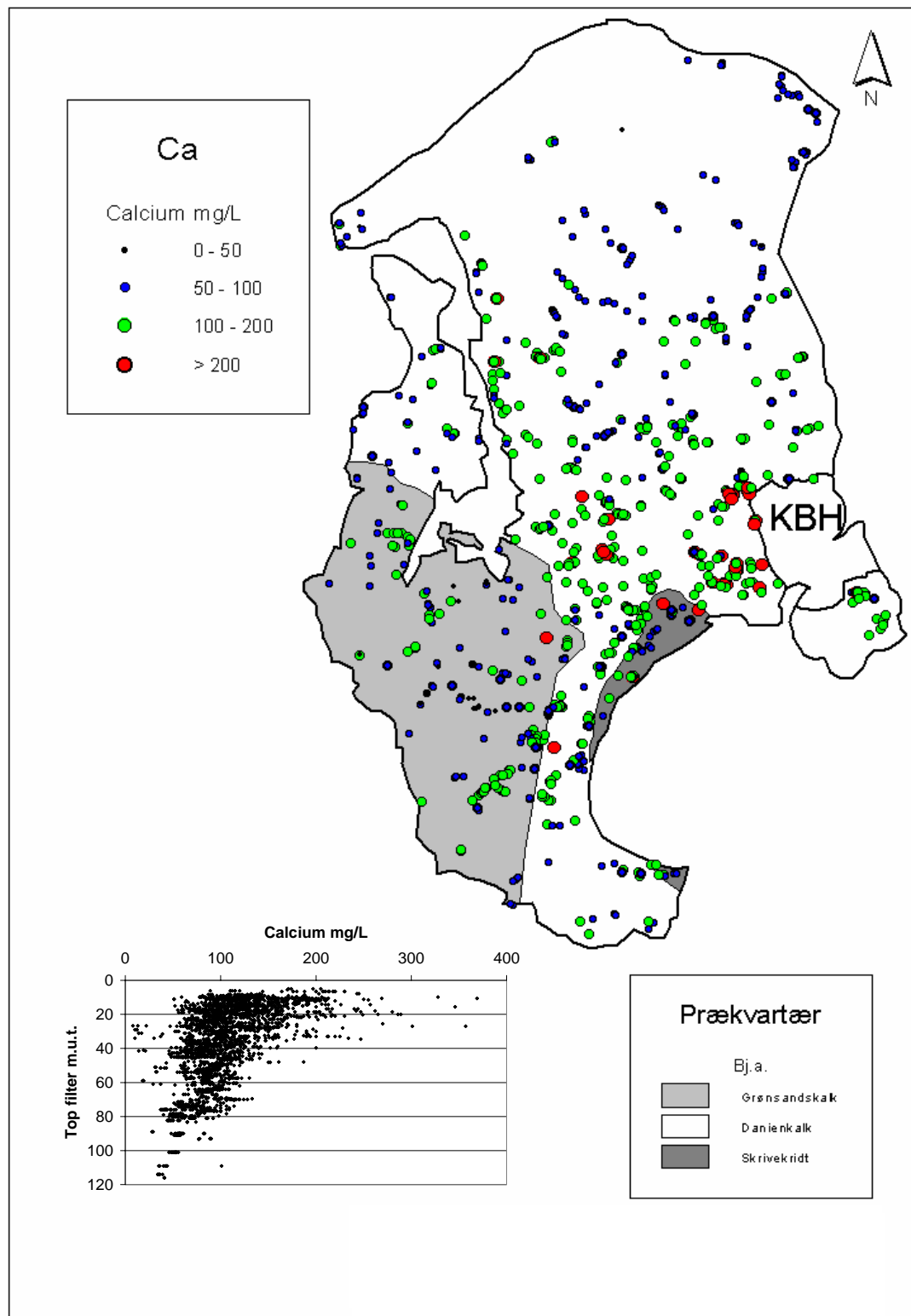
Atmosfærens partialtryk af kuldioxid er 0,0035 % og i rodzonen kan det som følge af omsætning af organisk stof forøges til 0,015 % eller højere. Med opløsning af kuldioxid i vand under ligevægtsbetingelser, vil der kunne opløses kalcit, så der dannes calcium i koncentrationer på op mod 100 mg/l (2,5 mM) og koncentrationer af bikarbonat på op mod 300 mg/l (5 mM). Det skal bemærkes, at koncentrationen af disse parametre, også er påvirket af andre geokemiske processer i kalkmagasinerne.

#### 5.1.4 Udbredelse af grundvandstype 1 i projektområdet

Koncentrationerne af calcium i grundvandet i projektområdet fremgår af figur 5-1. Det ses, at koncentrationerne under 100 mg/l især forekommer i områdets nordlige del, langs Køge Bugt, og i den vestlige del af Roskilde Amt. I sidstnævnte område må de relativt lave koncentrationer af calcium forklare med ionbytning mellem natrium og calcium. Se grundvandstype 3.

Grundvandstype 1 forekommer især, hvor magasinerne er artesiske. Modsat ses, at hvor der forekommer en forøget tilførsel af oxiderende stoffer, som ilt og nitrat, er grundvands-

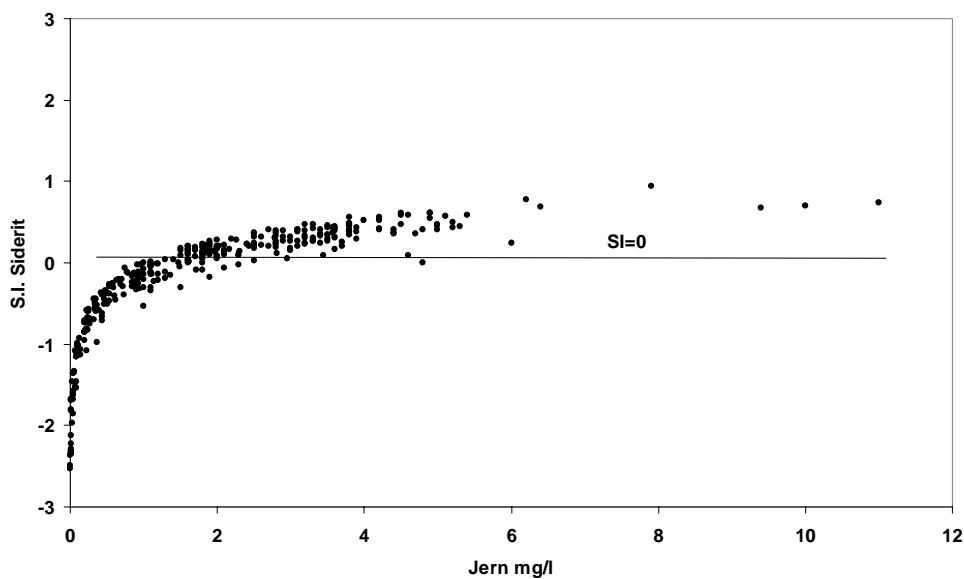
magasinet frit. Det er her der især dannes høje koncentrationer af calcium, hvilket yderligere vil blive omtalt ved gennemgangen af grundvandstype 5.



Figur 5-1 Koncentrationen af calcium i kalkmagasinerne i projektområdet.

### 5.1.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 1

I zoner uden opløst ilt i kalkmagasinerne vil der i grundvand af denne type næsten altid forekomme opløst reduceret jern ( $\text{Fe}^{2+}$ ) og mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Jern forekommer typisk i koncentrationer på 1-3 mg/l, og indholdet af jern kan være kontrolleret af udfældning af jernholdige karbonater. Karbonatminerale med jern kan forekomme som en blandingsrække med for eksempel andre divalente ioner, såsom calcium, magnesium og mangan. I figur 5-2 er vist ligevægtsberegninger med hensyn til det rene jernmineral siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). Det skal pointeres, at beregningerne, som er vist i figuren indeholder alle 341 data sæt i PHREEQC databasen, det vil sige data fra alle seks vandtyper.



**Figur 5-2** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) for siderit.  $SI < 0$  angiver undermætning med hensyn til siderit,  $SI = 0$  viser mætning og  $SI > 0$  viser overmætning

Det fremgår af beregningerne i figur 5-2, at grundvandet er undermættet til svagt overmættet med hensyn til det rene jernkarbonatmineral siderit, hvilket kunne indikere, at den øvre grænse for koncentrationen af opløst reduceret jern i kalkmagasinerne, kan være kontrolleret af udfældning af jernholdige karbonatminerale. Jernet hidrører sandsynligvis fra ufuldstændig oxidation af sulfider, hvorved der dannes sulfat og opløst, reduceret jern,  $\text{Fe}(\text{II})$ .

### 5.1.6 Tidslig udvikling af grundvandstype 1

Grundvandstype 1 dannes især i Skrivekridt og Danienkalk, hvor grundvandsmagasinerne er artesiske. Den store oppumpning af grundvand fra kalkmagasinerne har medført en betydelig sænkning af grundvandsstanden, og dermed en forøgelse af områder med frit grundvandspejl. Området, hvor grundvandstype 1 dannes, er hermed blevet indskrænket i forhold til tidligere.

## 5.2 Grundvandstype 2: Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjet NaCl

### 5.2.1 Definition af grundvandstype 2

Denne grundvandstype er defineret ved et indehold af natrium, som er større end 175 mg/l og et indehold af klorid, som er større end 250 mg/l. Ved definition af denne grundvandstype, er der taget hensyn til kvalitetskravet til drikkevand for natrium og klorid.

### 5.2.2 Dannelse af grundvandstype 2

I projektområdet forekommer forhøjede koncentrationer af natrium og klorid i grundvandet som følge af en eller flere af følgende processer:

- ufuldstændig udvaskning af residualt porevand, især fra Skrivekridt
- indtrængning af havvand som følge af pumpning
- optrængning af residualt porevand som følge af pumpning i Danienskalken
- anvendelse af vejsalt

### 5.2.3 De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 2

I kalkmagasiner forekommer der ikke naturlige mineraler, som kan tilføre grundvandet natrium og klorid. I marint havvand, som ikke er opblandet med ferskvand, er saltholdigheden 35 ‰, og indholdet af natrium 10.770 mg/l og indholdet af klorid er 18.800 mg/l, tabel 5-1.

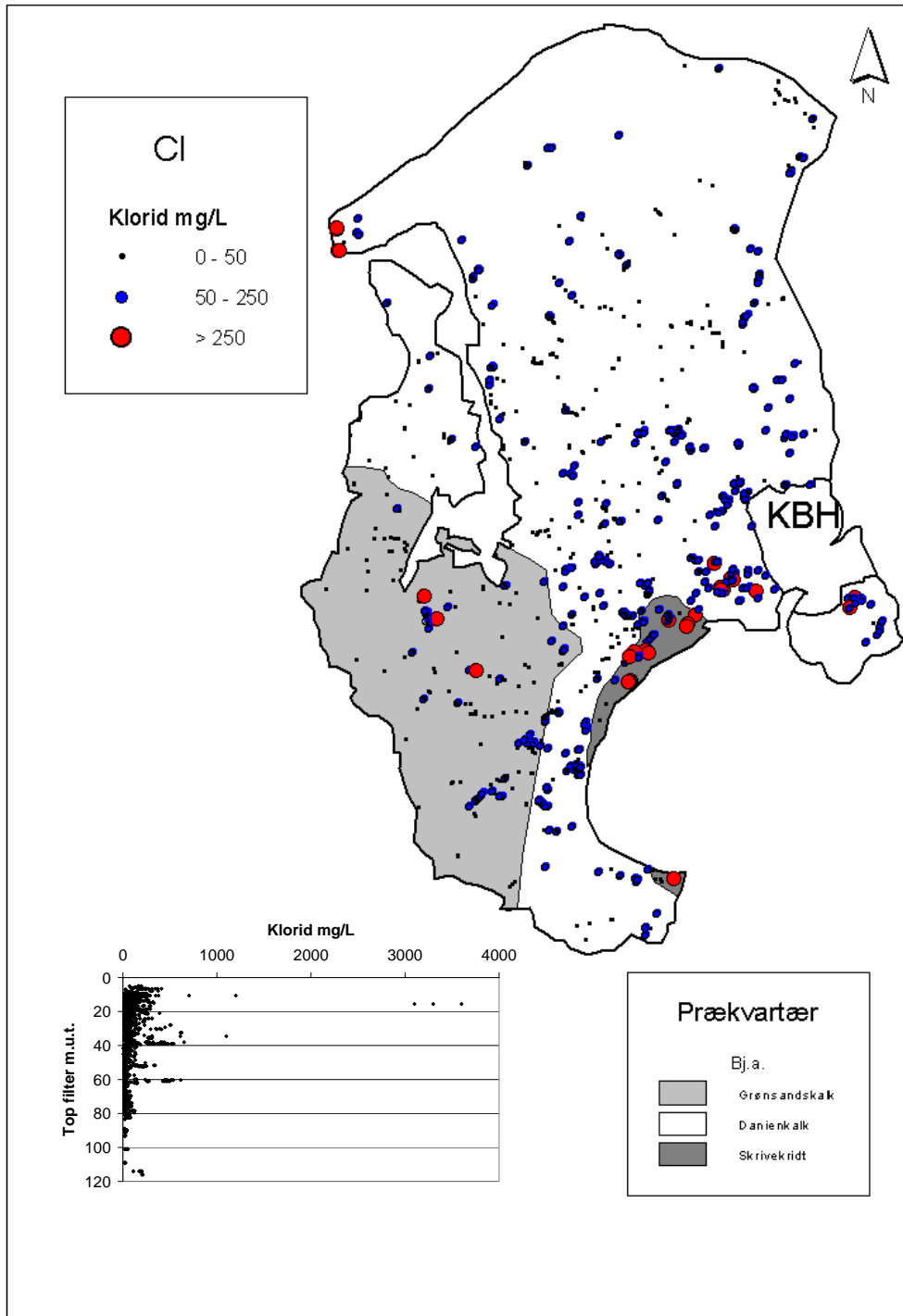
**Tabel 5-1:** Koncentrationen af udvalgte ioner i havvand, og deres relative koncentration i forhold til klorid. .

	Na	Mg	K	Ca	Cl	Sulfat	Sr	F
	mg/l							
<b>Havvand</b>	10.770	1.290	412	380	18.800	2.715	8	1,3
<b>Klorid/ion</b>	1,8	14,6	45,6	49,5	1	7,0	2.350	14.462

De påviste forhøjede koncentrationer af natrium og klorid i kalkmagasinerne skyldes opblanding af saltvand med infiltrerende regnvand. Residualt porevand forekommer, hvor kalkformationernes oprindelige marine porevand kun er delvist udvasket. Med hensyn til denne grundvandstype dannelse kan henvises til rapportererne /2/, /3/.

### 5.2.4 Udbredelse af grundvandstype 2 i projektområdet

Koncentrationen af klorid i borer i projektområdet, fremgår af figur 5-3. Generelt indeholder den etablerede projektdatabase få analyser med forhøjede koncentrationer af natrium og klorid. Dette skyldes det forhold, at borer med forhøjede koncentrationer af saltvand tages ud af drift, og der derfor ikke rapporteres nye kemiske analyser til GEUS.



**Figur 5-3** Koncentrationen af klorid i borer i projektområdet



Som det fremgår af resultaterne af borehulsundersøgelserne og den elektromagnetiske kortlægning af saltvandsgrænsen i projektområdet, så forekommer der overalt i Skrivekridtet forhøjede koncentrationer af saltvand fra mellem 70 og 120 mut /2,3/.

Grundvandets naturlige indhold af klorid, som typisk er under 20 - 40 mg/l i kalkmagasinerne, skyldes en konstant tilførsel nedefra, som opblandes i ferskvandszonen /9/. Det fremgår af data fra de anvendte geokemiske databaser, at der især forekommer forhøjede koncentrationer af klorid i områder, hvor Skrivekridt ligger højt, figur 5-3. Dette er tilfældet langs Køge Bugt, hvor der i grundvandet forekommer saltholdigheden varierer fra under 1 til 2 ‰, hvilket svarer til koncentrationer af klorid fra 400 til 10.000 mg/l.

Der forekommer forhøjede koncentrationer af klorid i borer, som er lokaliseret vest for København, forekommer på kildepladser i Brøndby, Glostrup og Hvidovre kommune. Her oppumpes vand, som er fra både Skrivekridt og Danienkalk.

De høje koncentrationer af klorid i pumpevandet i den vestlige del af Roskilde Amt er dels forårsaget af pumpebetaget optrængning af saltvand fra de dybere dele af lagserien gennem Lellinge Grønsand Formationen, og dels et resultat af udvaskning fra terrænnære, postglaciale marine lag i dalstrøg, som eksempelvis ved Gevninge /15/.

De forhøjede koncentrationer af natrium og klorid i Danienkalken ved Hundested kan skyldes en stor oppumpning /16/ samt sandsynligvis det forhold, at de øverste, hydraulisk aktive zoner er afskåret fra indstrømning, som følge af filtersætningen af borerne.

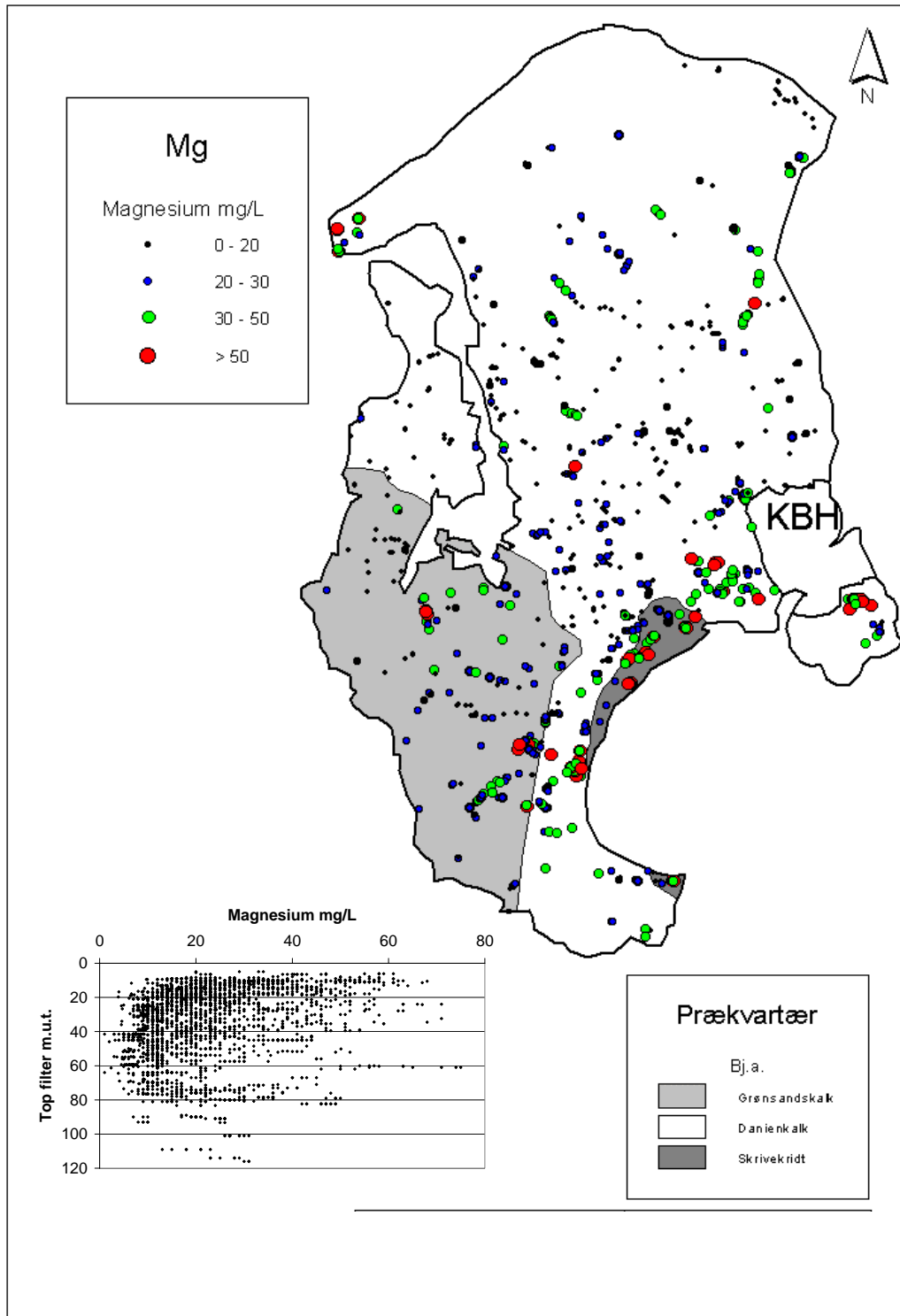
På enkelte lokaliteter helt ude ved kysten langs Køge Bugt, kan der forekomme indtrængning af havvand i borerne.

Nær vejanlæg kan der som følge af vejsaltning optræde høje koncentrationer af natrium og klorid i de øverste meter af magasinerne. Dette er eksempelvis set ved Københavns Energi's kildeplads X, og ved motorvejen på Amager.

### **5.2.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 2**

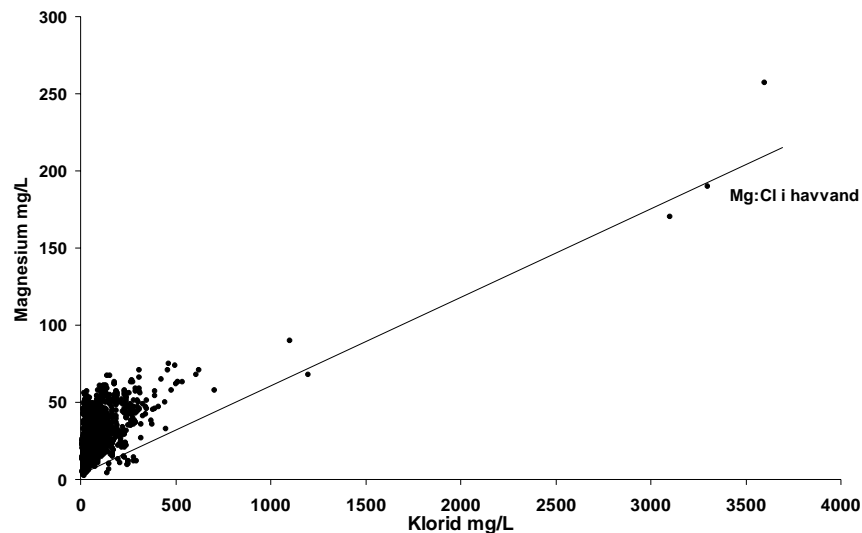
I grundvand fra Skrivekridt, som er påvirket af residualt porevand, forekommer ofte også forhøjede koncentrationer af magnesium (Mg), strontium (Sr) og fluor (F). De forhøjede koncentrationer af disse parametre kan enten forklares med forekomsten af havvand, eller med reaktioner mellem mineraler og grundvand. Forholdene for magnesium og strontium vil blive omtalt her, mens forholdene vedrørende fluorid omtales under grundvandstype 4.

Grundvandets indhold af magnesium i projektområdet fremgår af efterfølgende figur 5-4. Koncentrationerne er for det meste mellem 5 og 75 mg/l, med de højeste koncentrationer i Skrivekridtet. Der forekommer også relativt høje koncentrationer i Lellinge Grønsand Formationen i den vestlige del af Roskilde Amt.



Figur 5-4 Koncentrationen af magnesium i boringer i projektområdet.

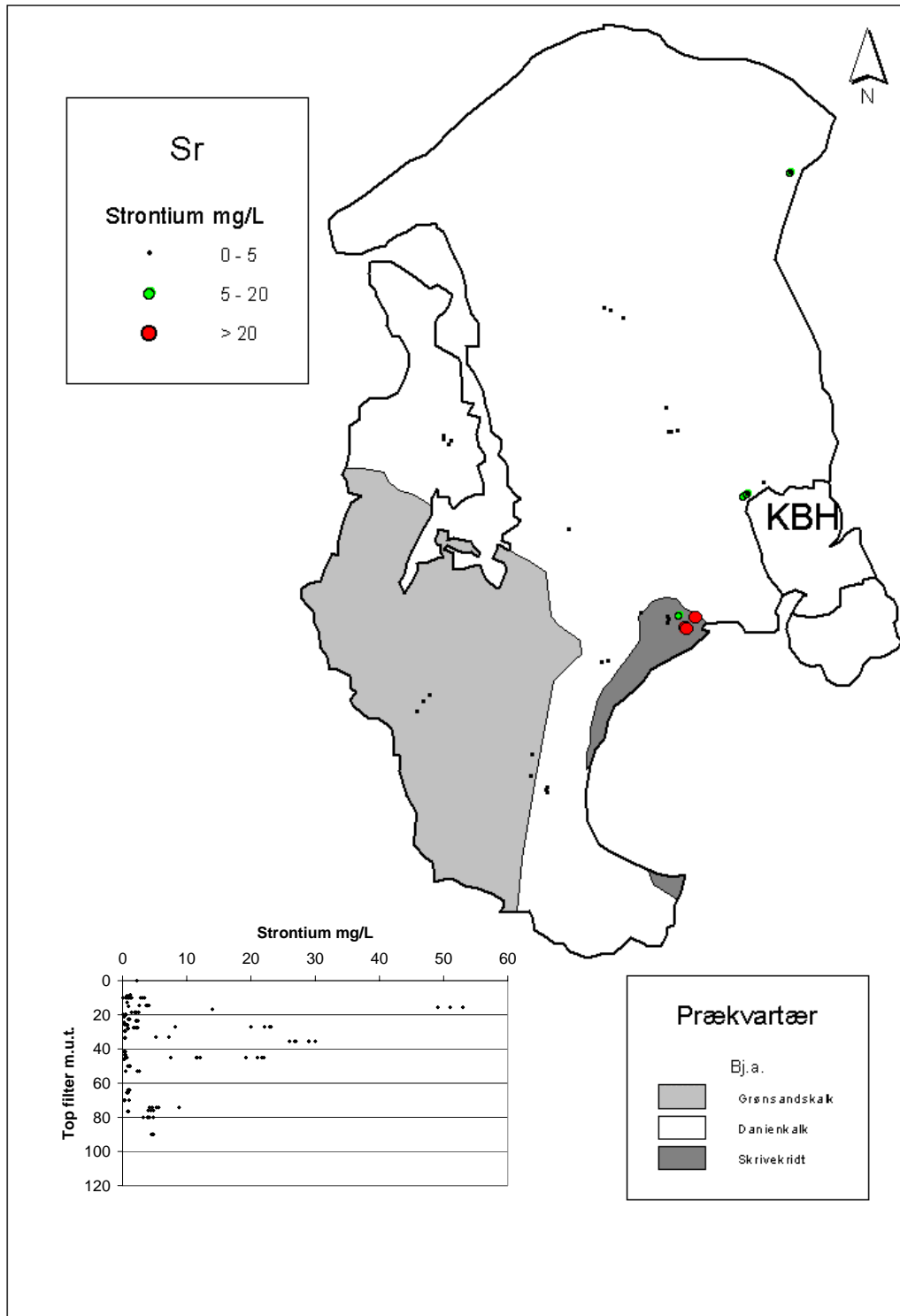
Da kalcit i Skrivekridt som nævnt i gennemsnit indeholder mindre magnesium end kalcit i Danienkalken, er der næppe en mineralogisk forklaring på de forhøjede koncentrationer af magnesium i Skrivekridtet. Kilden er derfor sandsynligvis havvand. I fuldt marint havvand forekommer magnesium i en koncentration på 1.230 mg/l, tabel 5-1. Hvis residuelt porevand er kilden til magnesium i grundvandet, vil det kunne ses som en sammenhæng mellem klorid og magnesium i grundvandet (figur 5-5).



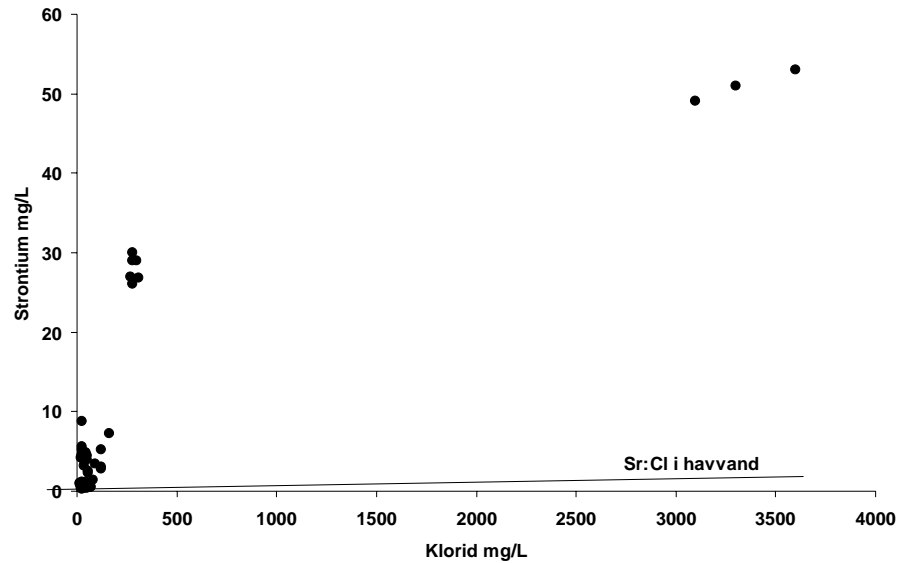
Figur 5-5 Grundvandets indhold af klorid og magnesium i Skrivekridtet.

Det fremgår af figur 5-5, at forhøjede koncentrationer af magnesium følges af forhøjede koncentrationer af klorid. Det forhold, at der forekommer relativt høje koncentrationer af magnesium ved lave koncentrationer af klorid tyder på, at der også frigøres magnesium fra sedimentet til grundvandet, sandsynligvis ved ionbytning. Det kan dog ikke udelukkes, at magnesium også kan frigives til grundvandet ved opløsning af dolomit  $[(Ca,Mg(CO_3)_2)]$ .

Grundvandets indhold af strontium i projektområdet fremgår af efterfølgende figur 5-6. Selvom der er få data om strontium i databasen, er der en tendens til forhøjede koncentrationer i Skrivekridtet. Således er der i grundvand fra fire filtre i Skrivekridtet ved Køge Bugt, påvist koncentrationer af strontium mellem 20 og 50 mg/l (figur 5-6, dybdeplot). Til sammenligning kan nævnes, at koncentrationen af strontium i havvand er 8 mg/l, tabel 5-1.

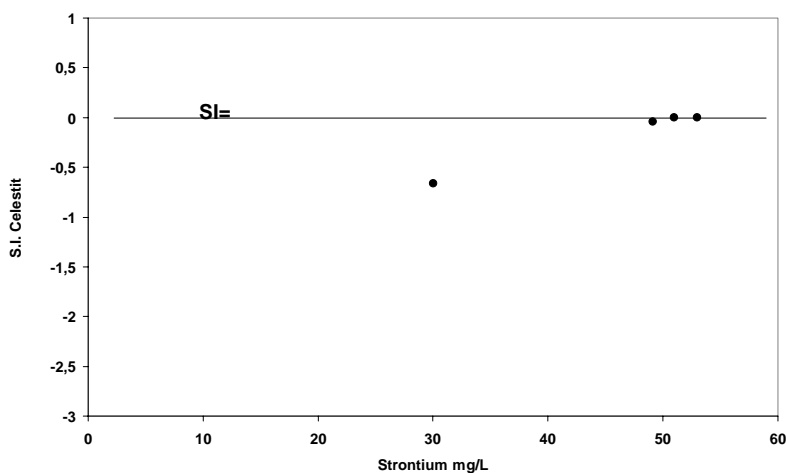


**Figur 5-6** Koncentrationen af strontium i borer i projektområdet.



Figur 5-7 Grundvandets indhold af strontium og klorid i Skrivekridtet

Sammenhængen mellem grundvandets indhold af strontium og klorid i 44 vandprøver fra projektdatabasen fremgår af figur 5-7. Det fremgår heraf, at grundvandets forhøjede indhold af strontium ikke direkte kan forklares med tilstedeværelsen af en del residualt porevand. Ved en koncentration af klorid på omkring 3.500 mg/l skulle koncentrationen af strontium således være omkring 1,5 mg/l, og ikke som observeret omkring 50 mg/l. Dette tyder på en mineralogisk kilde til strontium i porevandet. De små mængder aragonit  $[(Ca, Sr)CO_3]$  i Skrivekridt vil langsomt omdannes til en stabil calcit under frigivelse af strontium til porevandet. Koncentrationerne af strontium er generelt lavere i Danienkalken. Fuldt marint havvand indeholder sulfat i en koncentration på omkring 2.715 mg/l (28,6 mM), og på grund af frigivelsen af relativt høje koncentrationer af strontium kan koncentrationen af strontium være begrænset af udfældning af strontium-sulfat mineralet coelestin ( $SrSO_4$ ).



**Figur 5-8** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) for coelestin i grundvandstype 2.  $SI < 0$  angiver undermætning med hensyn til coelestin,  $SI = 0$  viser mætning og  $SI > 0$  viser overmætning.

I Figur 5-8 er vist resultaterne af PHREEQC simuleringer, hvor mætningsforholdene er beregnet med hensyn til udfældning af coelestin. Det fremgår af beregningerne, at vandprøverne er mættet eller svagt undermætte med hensyn til dette mineral, hvilket betyder, at koncentrationen af strontium i Skrivekridt kan være kontrolleret af udfældning af  $\text{SrSO}_4$ .

Strontium vil også findes på ionbytter-komplekset i sedimentet. Der kan derfor også forekomme forhøjede koncentrationer af strontium i grundvandet, hvor der forekommer ionbytning. Denne proces beskrives yderligere under beskrivelsen af grundvandstype 3.

## 5.2.6 Tidslig udvikling af grundvandstype 2

Den tidslige udvikling i porevands indhold af klorid er beskrevet i /9/. Udviklingen over tid i pumpevand fra kildepladser er beskrevet i kapitel 6.

## 5.3 Grundvandstype 3: Na-HCO<sub>3</sub> grundvand

### 5.3.1 Definition af grundvandstype 3

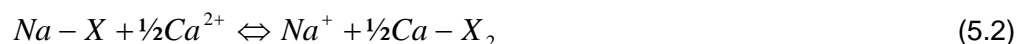
Denne grundvandstype er defineret ved forholdet mellem natrium og calcium udtrykt i milliekvivalenter, således at Na/Ca forholdet skal være større end 1. Da Na/Ca forholdet i havvand er 28,3 (tabel 5-1) indgår det yderligere i definitionen, at koncentrationen af klorid skal være under 50 mg/l, således at saltpåvirket grundvand ikke bliver klassificeret som ionbyttet grundvand.

### 5.3.2 Dannelse af grundvandstype 3

Na-HCO<sub>3</sub> grundvand dannes i områder, hvor calcium-bikarbonat grundvand (grundvandstype 1) bringes i kontakt med marine aflejringer, som har en stor koncentration af natrium adsorberet på overfladen af mineralerne.

### 5.3.3 De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 3

Ionbytningsprocessen kan beskrives med ligevægten:

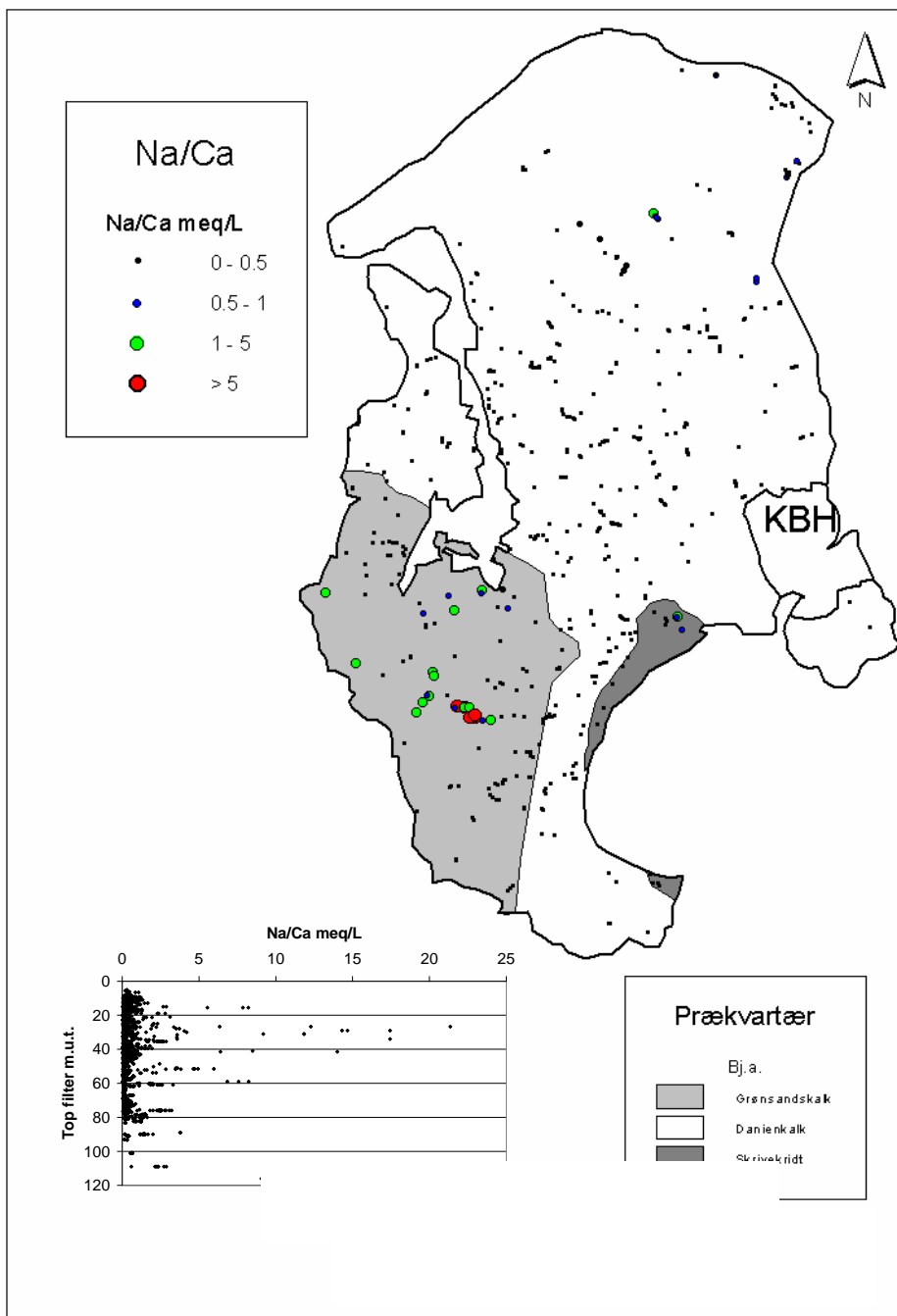


Hvor -X angiver en plads/ladningsækvivalent på mineralkornenes overflade. Det fremgår af reaktionsligevægten (5.2), at det er muligt at binde halvt så mange Ca<sup>2+</sup> ioner sammenlignet med Na<sup>+</sup> til et sediment med en given kationbytningskapacitet (CEC). Bytningen af kationer i kalkbjergarterne foregår hovedsageligt ved udbytning af ioner mellem porevandet og lerminerale i sedimenterne.

### 5.3.4 Udbredelse af grundvandstype 3 i projektområdet

Grundvandstype 3 forekommer næsten udelukkende i Lellinge Grønsand Formationen i den vestlige del af Roskilde Amt, se efterfølgende Figur 5-9. Denne vandtype forekommer også i en forkastningsblok med Lellinge Grønsands Formationen i Frederiksborg Amt. I Skrivekridt langs Køge Bugt kan denne vandtype optræde lokalt.

Det er veldokumenteret, at der forekommer ionbytning i Lellinge Grønsand Formationen, og det er denne vandtype, som i Frederiksborg Amt kendes som Maarum vand. I denne vandtype forekommer ofte en reduktion af sulfat og dannelse af methan (grundvandstype 6), ved reaktioner (oxidation) med organisk stof. Forekomsten af ionbyttet grundvand langs Køge Bugt kan skyldes forekomsten af postglaciale lag over Skrivekridtet langs kysten.



Figur 5-9 Forholdet mellem Na og Ca i grundvand i boringer i projektområdet.

### 5.3.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 3

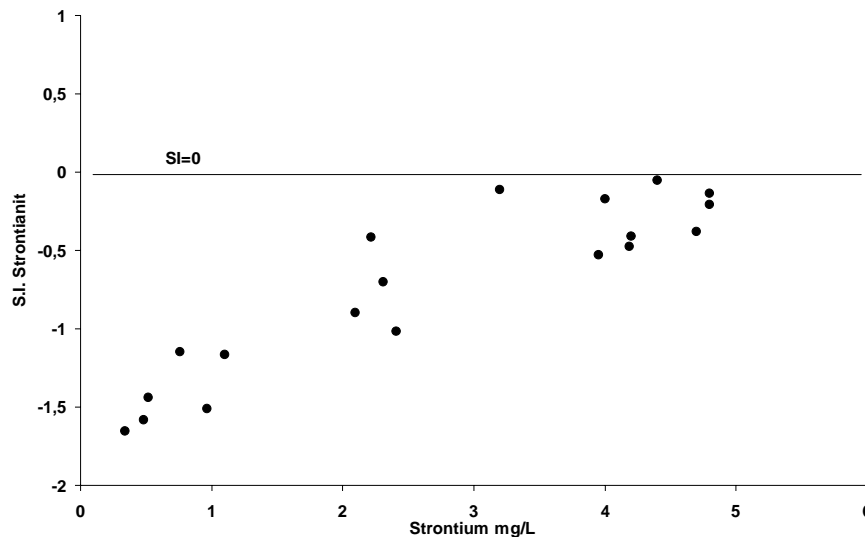
Forløber ionbytningsprocessen mod højre i reaktion (5.2) vil koncentrationen af  $\text{Ca}^{2+}$  blive reduceret i grundvandet, hvilket medfører en øget opløsning af kalcit, se reaktionsligning 4.1. Ved opløsningen af kalcit reduceres koncentrationen af  $\text{H}^+$  (reaktionsligning 4.2), hvilket medfører at pH stiger. Dette er forklaringen på det forhold, at ionbyttet vand, kaldet na-



trium-bikarbonat vand ( $\text{Na-HCO}_3$ ) ofte har forhøjet pH (8-9) i forhold til calcium-bikarbonat vandtyper.

Reduktionen af calciumkoncentrationen ved ionbytningen, kan medføre forhøjede koncentrationer af fluorid, såfremt grundvandet er i kemisk ligevægt med mineralet fluorit ( $\text{CaF}_2$ ), se afsnittet om grundvandstype 4.

En anden følgeproces i ionbyttet grundvand er en frigivelse af strontium fra overfladen af mineralerne (Figur 5-10). Koncentrationen af strontium i denne grundvandstype kan være op mod 5 mg/l (0,06 mM), og koncentrationen kan tilsyneladende forøges indtil strontiumkarbonat (mineralet strontianit,  $\text{SrCO}_3$ ) udfældes fra opløsningen. Det fremgår af PHREEQC beregninger (figur 5.10), at strontium i ionbyttet grundvand er undermættet eller mættet med hensyn til  $\text{SrCO}_3$ . Dette kan tolkes således, at koncentrationen af strontium kan stige indtil mætning med  $\text{SrCO}_3$ , hvorefter koncentrationen er betinget af en ligevægt med dette mineral.



**Figur 5-10** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) strontianit i grundvandstype 3.  $SI < 0$  angiver undermætning med hensyn til strontianit,  $SI = 0$  viser mætning og  $SI > 0$  viser overmætning

Processen med ionbytning kan også foregå i modsat retning, det vil sige, at ligevægten i reaktionsligning (5.2) forskydes mod venstre. Dette er tilfældet ved saltvandsindtrængning, hvorved grundvandet ændres til en grundvandstype som kaldes calcium-klorid grundvandstype ( $\text{CaCl}_2$ ).

### 5.3.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 3

Ionbytning vil bevæge sig som en front gennem et grundvandsmagasin, men denne proces vil typisk have en tidshorisont på tusinder eller millioner af år.

## 5.4 Grundvandstype 4: Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med fluorid

### 5.4.1 Definition af grundvandstype 4:

Denne grundvandstype er defineret ved, at koncentrationen af fluorid er større end 1,5 mg/l. Grænsen for koncentrationen af fluorid er sat ved kvalitetskravet til drikkevand.

### 5.4.2 Dannelse af grundvandstype 4

Grundvand med en sammensætning defineret som hørende under "Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med fluorid" dannes som følge af opløsning af fluorholdige mineraler i kalkmagasinerne.

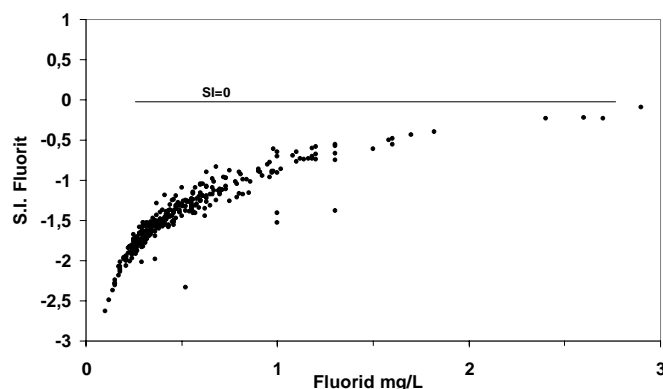
### 5.4.3 De væsentligste geokemiske processer

Kilden til fluorid i grundvandet i kalkmagasinerne er mineralerne fluorit (fluspat) [CaF<sub>2</sub>] eller fosforit [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,OH)<sub>3</sub> F] /11/. Fosforit kaldes også karbonatapatit, idet mineralet er sammensat af ren apatit [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH, F)], hvor fluor har erstattet nogle af hydroxyl-grupperne, og karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) erstatter fosfatkomplekset (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Fosforit findes især i såkaldte "hardgrounds", mens fluorit findes spredt i kalken, især i Skrivekridt.

Opløselighedsproduktet for fluorit er velbeskrevet, og ofte vurderes mætningsforholdene for dette mineral, ud fra følgende reaktionsligning:

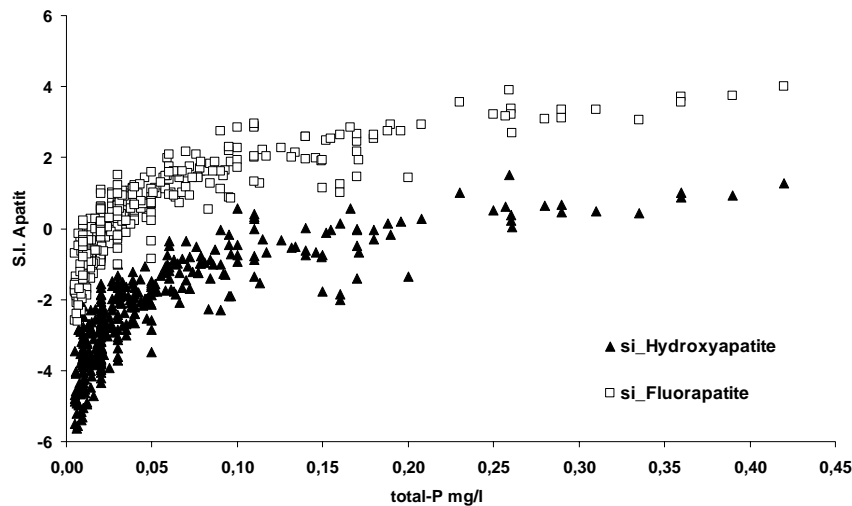


Beregninger med PHREEQC viser, at grundvand fra kalkmagasinerne er undermættet eller mættet i forhold til fluorit, Figur 5-11. Vandet er tæt på mætning, hvor koncentrationen er over 1,5 mg/l. Denne grundvandstype er også mættet med hensyn til kalcit.



**Figur 5-11** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) for fluorit. SI<0 angiver undermætning med hensyn til fluorit. SI=0 viser mætning og SI>0 viser overmætning

Opløselighedsproduktet af fosforit er ikke veldefineret, på grund af mineralets varierende sammensætning, og det kan derfor være vanskeligt at beregne mætning i forhold til dette mineral. Beregninger med PHREEQC viser, at grundvand er undermættet til mættet med hensyn til fluorapatit, men undermættet til overmættet med hensyn til hydroxylapatit, figur 5-12. I alle fald synes det rimelig sikkert at konkludere, at ved koncentrationer af fluorid over 1,5 mg/l, er koncentrationen i grundvandet styret af en mineralligevægt i kalkmagasinerne.



**Figur 5-12** PHREEQC beregning af ligevægtsindeks (SI) for apatit.  $SI < 0$  angiver undermætning med hensyn til fluorit,  $SI = 0$  viser mætning og  $SI > 0$  viser overmætning.

#### 5.4.4 Udbredelse af grundvandstype 4 i projektområdet

Den geografiske variation i koncentrationen af fluorid i grundvandet i projektområdet, fremgår af efterfølgende figur 5-13. Grundvand med koncentrationer af fluorid over 1,5 mg/l findes i projektområdet i Skrivekridtet langs Køge Bugt, i den vestlige del af København, samt i områder hvor der forekommer ionbytning af grundvandet i den vestlige del af Roskilde Amt og Frederiksborg Amt. Sammenhængen mellem ionbytning og forhøjede koncentrationer af fluorid er beskrevet i afsnit 5.3.5.

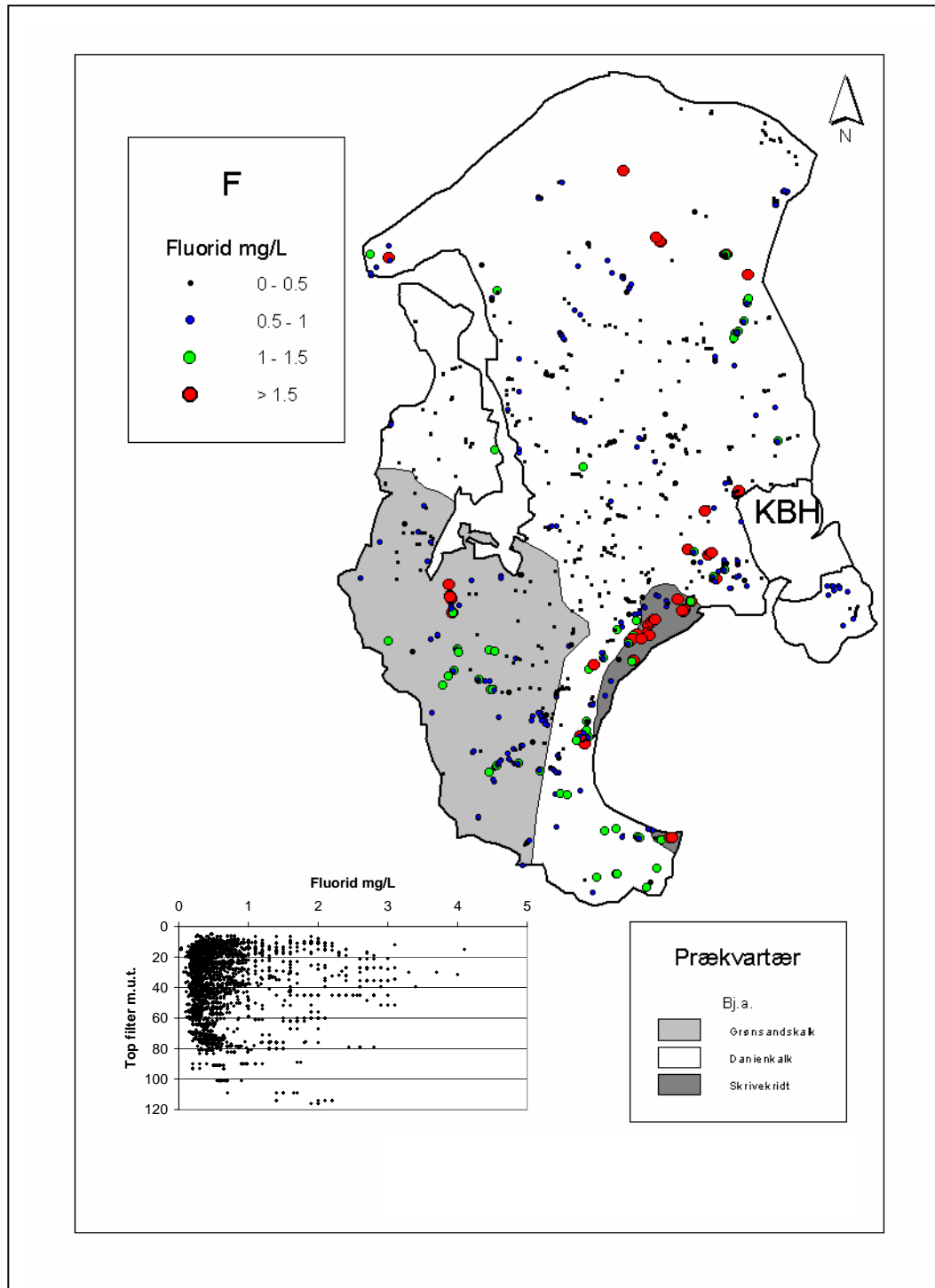
#### 5.4.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 4

Ingen væsentlige følgeprocesser.

#### 5.4.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 4

Forekomsten af fluorholdige mineraler i kalkmagasinerne er en forudsætning for tilstedeværelsen af fluoridioner i grundvand. Derudover synes grundvandets opholdstid og transportforhold, at være af afgørende betydning for grundvands koncentration af fluorid og mæt-

ningsforhold i forhold til flusspat. Det forhold, at der forekommer de højere koncentrationer af fluorid i Skrivekridt, kan måske skyldes en længere opholdstid af grundvandet i det lavpermeable kridt, samt det forhold, at koncentrationen af fluoridbærende mineraler er højere her.



Figur 5-13 Koncentrationen af fluorid i grundvandet fra kalkmagasinene.

## 5.5 Grundvandstype 5: Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand – med forhøjede koncentrationer af sulfat og nitrat

### 5.5.1 Definition af grundvandstype 5

Vandtypen – Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand – er defineret ved koncentrationen af sulfat er over 100 mg/l. Derudover indeholder denne grundvandstype mange steder nitrat og sporelementer, især nikkel. Nitrat indgår i vandtypens navn, hvis koncentrationen af nitrat er større end 5 mg/l.

### 5.5.2 Dannelse af grundvandstype 5 i projektområdet

Denne vandtype dannes, hvor ilt transporteres ned i grundvandssystemerne, enten som opløst ilt i infiltrerende grundvand og/eller med poreluft, som er transporteret ind i den umættede zone. I en del af området, hvor denne grundvandstype dannes, indeholder det infiltrerende grundvand også opløst nitrat. Reduktion af ilt og nitrat og oxidation af sulfider vil medføre en frigivelse af sulfat og protoner (syre) og ofte også sporelementer (nikkel).

I projektområdet er der i dag frit grundvandsspejl i kalkmagasinerne i store dele af Københavns Amt, i den vestlige del af Roskilde Amt samt i den vestlige del af Frederiksborg Amt. I dele af dette område er mægtigheden af dæklaget samtidigt relativt beskedent, hvilket samlet bevirker, at ilt og nitrat kan transporteres ned i kalkmagasinet. Som følge af disse forhold, forekommer der en mere omfattende iltning af sulfider, såsom pyrit, i denne del af kalkmagasinerne, hvilket har en stor betydning for vandets kemiske sammensætning.

### 5.5.3 De væsentligste geokemiske processer

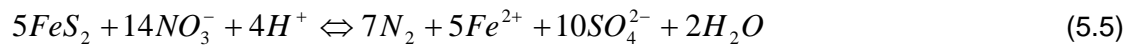
Oxidation af sulfider ved reduktion af ilt fremgår af reaktionsligning (5.4):



Ved 8° C kan der opløses omkring 10 mg ilt pr. liter grundvand, hvilket svarer til 0,3 mM. Det fremgår af reaktionsligning 5.4, at ved oxidation af reduceret svovl fra pyrit, kan der ved reduktion af 0,3 mM ilt dannes 0,16 mM sulfat, hvilket svarer til 15 mg/l. Der kan dannes højere koncentrationer af sulfat i grundvandet såfremt transporten af ilt til jordlagene forøges. Dette kan ske i en umættet zone, hvor tilførslen af ilt kan forekomme i poreluften. Transporten af gas kan foregå gennem geologiske vinduer i dæklag over kalkmagasinerne eller gennem borer /13/. Hvor der forekommer transport af ilt ind i de umættede zoner dannes koncentrationer af sulfat på op mod 2.000 mg/l i den mættede zone. I borerne vil

der dog ofte forekomme en opblanding af vand, så der forekommer koncentrationer af sulfat på 100-300 mg/l. Denne slags pumpevand indeholder ofte også nikkel /13/.

Hvor grundvandet indeholder nitrat, kan der forekomme en reduktion af nitrat med oxidation af pyrit efter følgende reaktionsligning (5.5):



Hvis nitrat eksempelvis forekommer i koncentrationer på 20 mg nitrat pr. liter (0,3 mM) dannes der ifølge reaktionsligning 5.5 omkring 20 mg sulfat pr. liter (0,2 mM). Det vil sige, at omsætningen mellem nitrat og sulfat forekommer i et forhold på cirka 1:1 (mg/l).

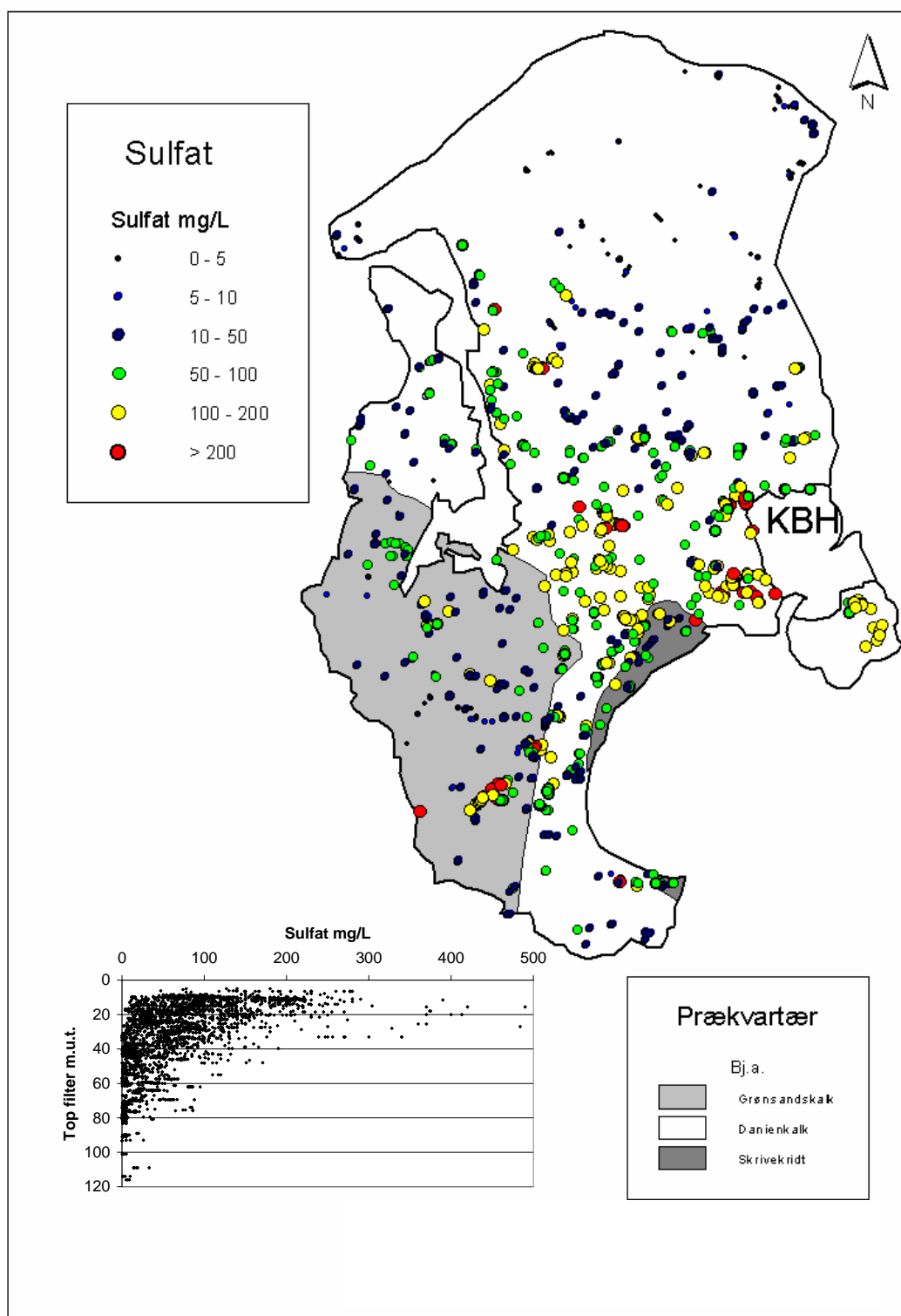
Grundvandets koncentration af sulfat giver informationer om hvilke processer, som kan have forløbet i de dele af grundvandsmagasinerne, hvor oxidationen af sulfiderne er foregået. I den nordlige del af Vesteuropa er indholdet af sulfat i nedbør, korrigeret for fordamning og tørafsætning, op mod 20 mg/l. Ved udbringning af sulfatholdigt handelsgødning kan der yderligere tilføres grundvandet en mængde sulfat, hvilket overslagmæssigt kan medføre, at nedsivende grundvand kan indeholde sulfat i koncentration op mod 50 mg/l. Oxidation af pyrit ved reduktion af ilt under grundvandspejlet kan forøge koncentrationen af sulfat med omkring 15 mg/l, jf. tidligere anførte reaktionsligning 5.4. Endelig kan der ved reduktion af nitrat i koncentrationer på omkring 40 mg/l, som kun få vandprøver overskrider i kalkmagasinerne, tilføres grundvandet omkring 40 mg/l. Tilsammen giver dette en koncentration af sulfat på mellem 50 og 100 mg/l.

Ved oxidation af pyrit i den umættede zone kan der dannes sulfat i koncentrationer på op mod 2.000 mg/l, men på grund af opblanding, ses sjældent koncentrationer over 300-400 mg/l /13/.

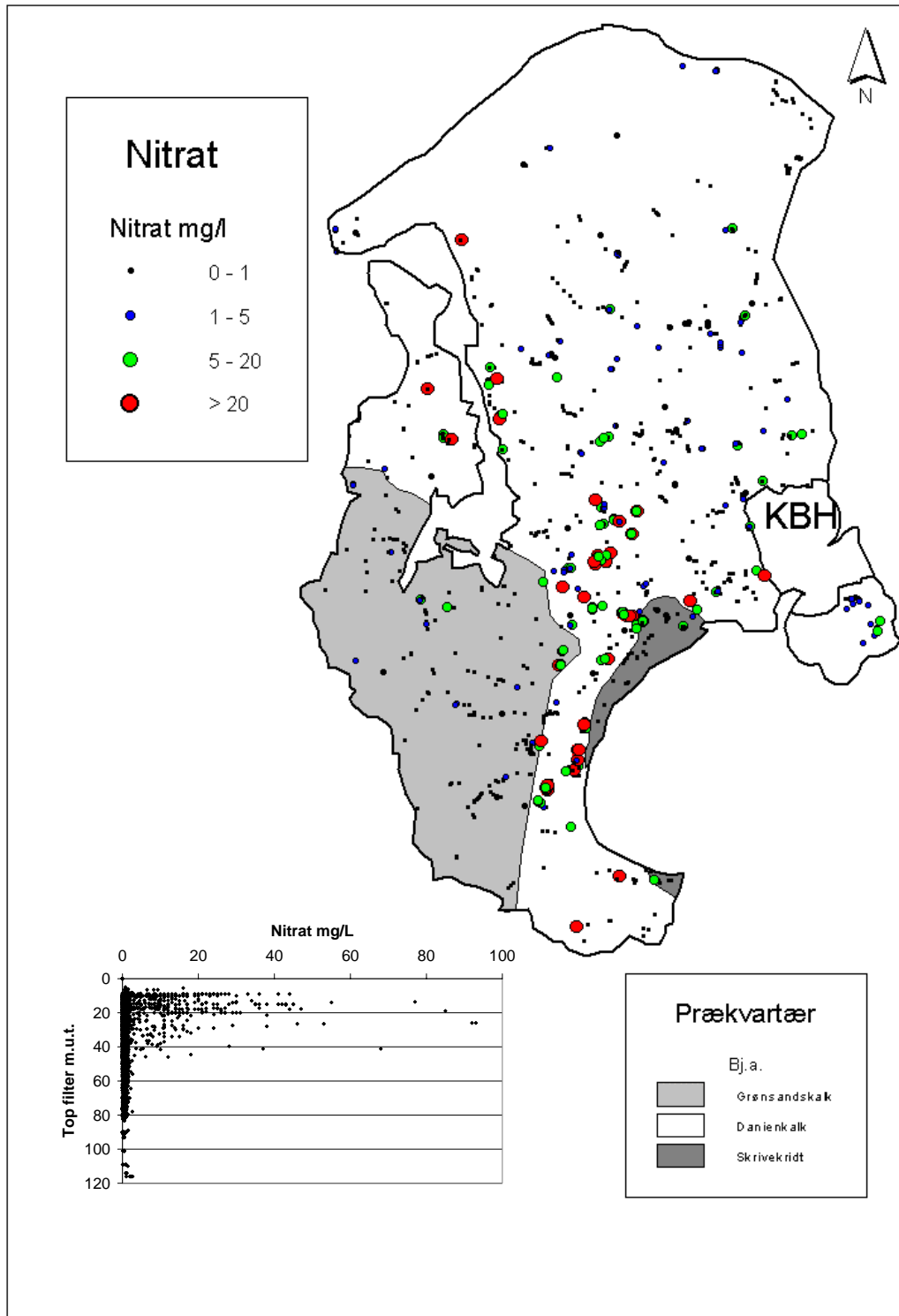
#### 5.5.4 Udbredelse af grundvandstype 5

Koncentrationen af sulfat i grundvandet i projektområdet fremgår af figur 5-14. Grundvand med en koncentration af sulfat mellem 50 og 100 mg/l, findes i den centrale del af Roskilde Amt, i store dele af Københavns Amt, samt i den sydlige og vestlige del af Frederiksborg Amt, figur 5-14. Grundvand med koncentrationer af sulfat mellem 100 og 200 mg/l og over 200 mg/l forekommer oftest i den centrale del af projektområdet, hvor der er frit grundvandspejl i Danienkalken.

I projektområdet forekommer koncentrationer af nitrat over 5 mg/l også i det centrale område, figur 5-15. I projektdatabasen findes kun 15-20 analyser med nitrat i koncentrationer over 10 mg/l, og den højeste påviste koncentration er omkring 90 mg/l, se dybdeplot i figur 5-15. Det ses også, at de højeste koncentrationer af nitrat forekommer på dybder som er under 40 m under terræn. Dette kan være et resultat af en reduktion af nitrat på større dybde i kalkmagasinerne eller grænsen for nedsivning af nitratholdigt vand.



Figur 5-14 Koncentrationen af sulfat i kalkmagasinerne i projektområdet

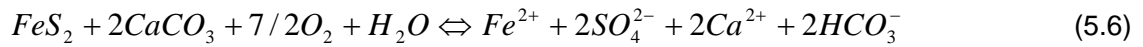


Figur 5-15 Koncentrationen af nitrat i kalkmagasinerne i projektområdet

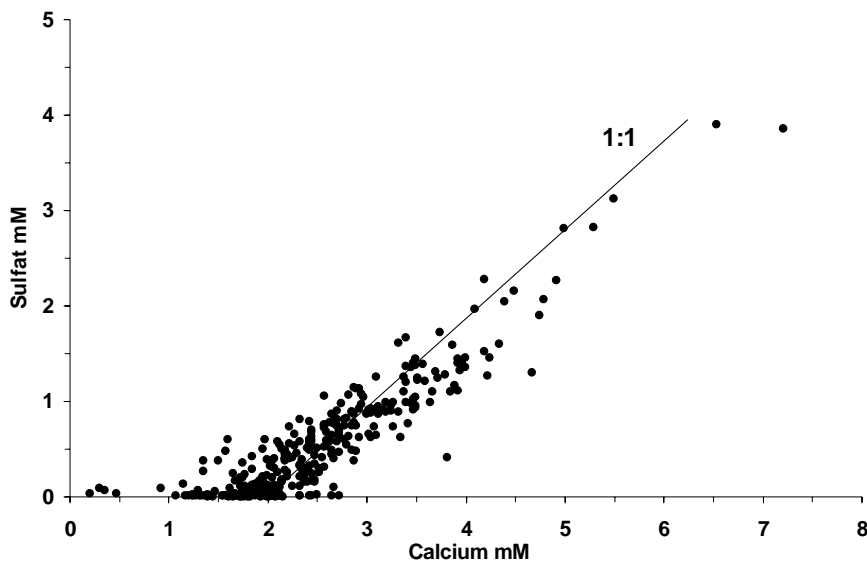


### 5.5.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 5

Da oxidation af pyrit med ilt er syredannende, vil en af følgeprocesserne til denne proces, være opløsning af calcit, som overordnet kan beskrives med reaktionsligning (5.6):

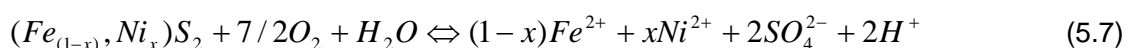


Reaktionsligning 5.6 er en addition af reaktionsligningerne 5.1 og 5.4.  $H^+$  dannet ved oxidation af pyrit, reagerer med calcit under frigivelse af calcium og alkalinitet. Dette betyder, at de meget høje koncentrationer af sulfat følges af høje koncentrationer af calcium samt en forøget alkalinitet. At de forhøjede koncentrationer af calcium netop forekommer, hvor der også optræder høje koncentrationer af sulfat, ses ved sammenligning af figur 5-1 og 5-14, idet der i den centrale del af projektområdet forekommer en stort område med høje koncentrationer af calcium, magnesium og bikarbonat i grundvandet. Koblingen mellem dannelse af calcium og sulfat fra oxidationen af pyrit, fremgår også af figur 5-16. Det ses, at hvor koncentrationer af calcium over 2,5 mM (100 mg/l) er der også forhøjede koncentrationer af sulfat. Det fremgår af reaktionsligning 5.6, at produktionen af calcium og sulfat, udtrykt ved molære koncentrationer, skal være 1:1. Dette forhold mellem calcium og sulfat forekommer tilnærmelsesvist i data, som er præsenteret i figur 5-16.



**Figur 5-16** Sulfat og calcium i mM i grundvand fra kalkmagasinerne. Linien angiver et forhold mellem sulfat og calcium på 1:1.

En anden følgereaktion af oxidation af pyrit er som nævnt frigivelse af sporelementer, som er indbygget i pyrit, især nikkel og arsen. Frigivelsen af eksempelvis nikkel, kan beskrives med følgende reaktionsligning (5.7):



Hvor x angiver den molære andel, som nikkel udfør i forhold til jern i pyrit. Denne proces medfører, at høje koncentrationer af sulfat kan være associeret med høje koncentrationer af nikkel, og andre sporelementer.

Hvis der dannes høje koncentrationer af sulfat i grundvandet, og opløsningen af kalцит forekommer som en følgereaktion, kan mineralet gips [ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ] udfælde efter reaktionsligning (5.8):

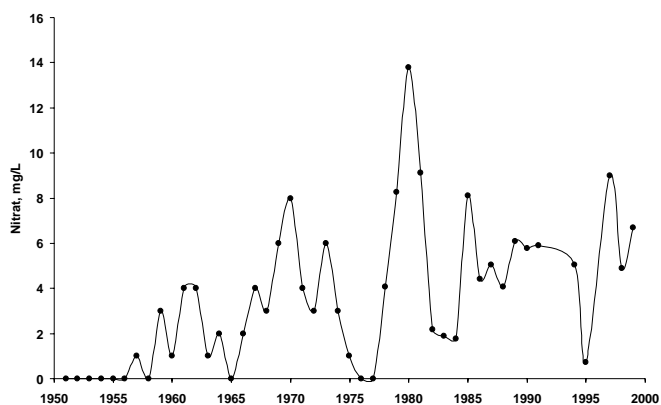


Denne kan medføre, at der ved hævnning af grundvandsspejlet frigives store mængder sulfat til grundvandet. Denne proces er påvist i Danienkalken ved flere kildepladser syd og vest for København.

### 5.5.6 Tidslig udvikling af grundvandstype 5

Sænkningen af grundvandsspejlet i kalkmagasinerne har medført, at området med grundvandstype 1 er blevet reduceret og området med grundvandstype 5 er blevet forøget. Tilførslen af ilt til grundvandsmagasinerne er yderligere blevet forøget ved konstruktion af en stor mængde borer, som ikke er udbygget med blindrør i den umættede zone, hvorved de atmosfæriske trykvariationer, har forøget transporten af ilt ind i magasinerne /13/.

Den øgede udvaskning af nitrat i denne del af magasinet de sidste årtier har yderligere forøget oxidationen af magasinet. Hvor der forekommer nitrat i Danienkalken, har denne været stigende. Et eksempel på dette ses af figur 5-17, som viser udviklingen i pumpevandet indhold af nitrat ved kildepladsen Vardegård, sydvest for København.



Figur 5-17 Koncentrationen i nitrat i pumpevand fra Vardegård Kildeplads

Som det fremgår af figur 5-17, er koncentrationen af nitrat i borerne på Vardegård Kildeplads steget fra 0 til omkring 10 mg/l i perioden fra 1950 til 2000. De store udsving i koncentrationen skyldes forskellig opblanding i borerne, som følge af en varierende fordeling af oppumpningen.

## 5.6 Grundvandstype 6: Calcium-bikarbonat grundvand med methan og lave koncentrationer af sulfat

### 5.6.1 Definition af grundvandstype 6

Vandtypen "Calcium-bikarbonat grundvand med methan og lave koncentrationer af sulfat" er karakteriseret ved et indhold af methan (CH<sub>4</sub>) over 3 mg/l, og lave koncentrationer af sulfat, typisk under 10 mg/l.

### 5.6.2 Dannelse af grundvandstype 6

Denne grundvandstype dannes, hvor der foregår omsætning af reaktivt organisk stof med en koblet dannelse af methan og reduktion af sulfat.

### 5.6.3 De væsentligste geokemiske processer i grundvandstype 6

Dannelse af methan kan beskrives med følgende reaktion, hvor organisk materiale er givet som acetat (CH<sub>3</sub>COOH):



Koncentrationen af methan i grundvand er begrænset af opløselighedsproduktet for methan i vand, som ved 1 bar tryk og en temperatur 8 °C er omkring 30 mg/l. Opløselighedsproduktet er beregnet ud fra ligningen:



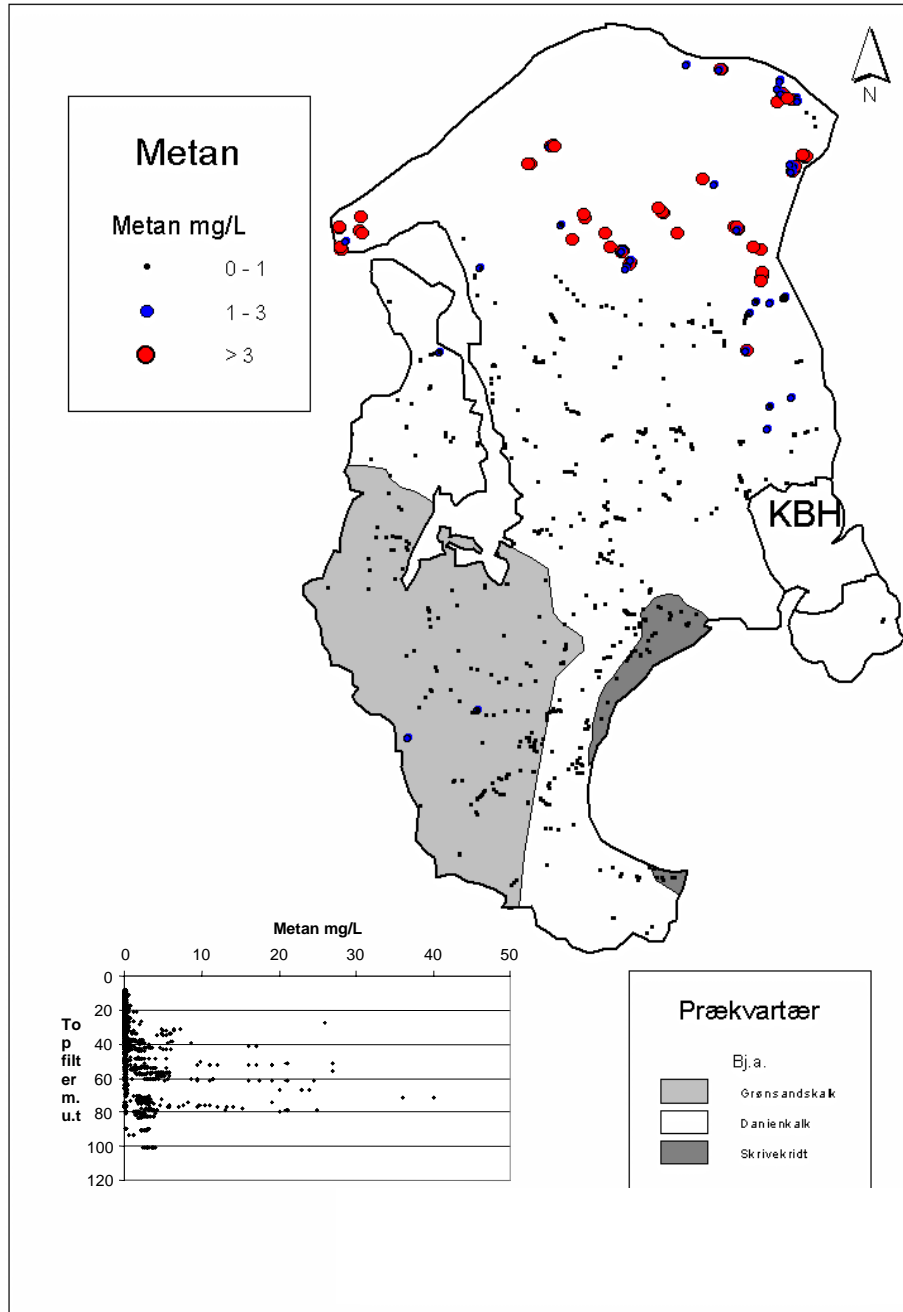
Hvor CH<sub>4(g)</sub> angiver partialtrykket af methan, og CH<sub>4(l)</sub> angiver koncentrationen af opløst methan i vand.

Oxidation af organisk stof og reduktion af sulfat foregår efter reaktion 5.11, hvor organisk sammensætningen af det organiske materiale er givet ved formlen CH<sub>2</sub>O:



Sulfatreduktion er, som alle andre redoxprocesser i grundvand, en proces, hvori der indgår en mikrobiologisk aktivitet. Betingelserne for reduktion af sulfat er derfor blandt andre forhold betinget af reaktiviteten af det organiske materiale i den geologiske formation, hvor processen foregår. Raten for reduktion af sulfat er derfor overordnet betinget af raten for nedbrydning af det organiske materiale, som typisk er meget lav i kalkmagasinerne. I litteraturen angives rater for reduktion af sulfat i aflejringer af Kridtaldet på omkring  $1 \times 10^{-4}$  mM/l/år /14/, hvilket svarer til at 10 mg/l sulfat kan reduceres på 1.000 år. I geologisk unge,

glaciale sedimenter er der derimod påvist meget højere rater, hvor reduktion af sulfat foregår med en rate på omkring 1 mM/l/år, /15/. Dette svarer til en reduktion på omkring 100 mg/l/år.



Figur 5-18 Grundvandets indhold af metan i kalkmagasinerne.

#### 5.6.4 Udbredelse af grundvandstype 6 i projektområdet

Grundvandstypen med forhøjede koncentrationer af metan og lave koncentrationer af sulfat forekommer især i den nordlige del af Frederiksborg Amt, figur 5-14 og 5-18. Udbredelsen af denne vandtype giver en klar indikation på vandtypens dannelse. Følgende observationer er væsentlige for denne tolkning:

- vandtypen findes kun i geografisk afgrænsede dele af kalkmagasinet
- reaktiviteten af det organiske materiale i kalken er meget lav
- udbredelsen af inter- og postglaciale dæklag
- C-14 dateringer af metan i Alnapdalen giver unge aldre (omkring 15.000 år)

Såfremt dannelsen af metan og sulfatreduktionen foregik udbredt i selve kalkmagasinet, burde denne grundvandstype forekomme overalt i kalkmagasinet. Der er en række forhold som tyder på, at denne vandtype hovedsageligt dannes i glaciale dæklag over kalkmagasinerne, og at grundvandet efterfølgende strømmer ned i kalkmagasinerne med opløst metan: **1)** Landhævningen efter sidste istid har i den nordlige del af projektområdet været 5-7 m /16/ hvilket har medført, at der her findes områder med glaciale og postglaciale sedimenter, som indeholder ungt, organisk stof med en høj reaktivitet; **2)** Reaktiviteten af dette organisk stof i de postglaciale lag er stor, mens modsat reaktiviteten af aflejringer som er 65 millioner år, er meget lille /17/; **3)** Dateringer af kulstof i metan i Alnapdalen har givet aldre på omkring 15.000 år (Personlig meddelelse Troels Laier, GEUS). Dette viser dels, at der findes metan i de glaciale dæklag, og at kulstof i denne metan er meget yngre end kulstoffet i kalkmagasinerne. Samlet set tyder disse observationer på, at denne vandtype hovedsagelig dannes i dæklag, og at de efterfølgende infiltrerer ned i kalkmagasinerne.

Der forekommer også lave koncentrationer af sulfat i grundvandet i den vestlige del af Roskilde Amt, men her kan sulfatreduktionen muligvis skyldes forekomsten af organisk materiale i de marine aflejringer i selve Lellinge Grønsand Formationen eller i postglaciale aflejringer afsat i dale, som er hævet siden istiden. Samme forhold er gældende i den nedforskastede blok med Lellinge Grønsand Formationen, som forekommer i Frederiksborg Amt mellem Arres sø og Esrum sø.

#### 5.6.5 Geokemiske følgeprocesser i grundvandstype 6

Oxidation af organisk materiale i grundvandsmagasinerne kan medføre udfældning af kalcit som følge af produktion af bikarbonat (ligning 5-1 forskydes mod venstre). Reduktion af sulfat kan i et magasin med opløst, reduceret jern medfører en udfældning af sulfider efter følgende reaktionsligning (5.12):



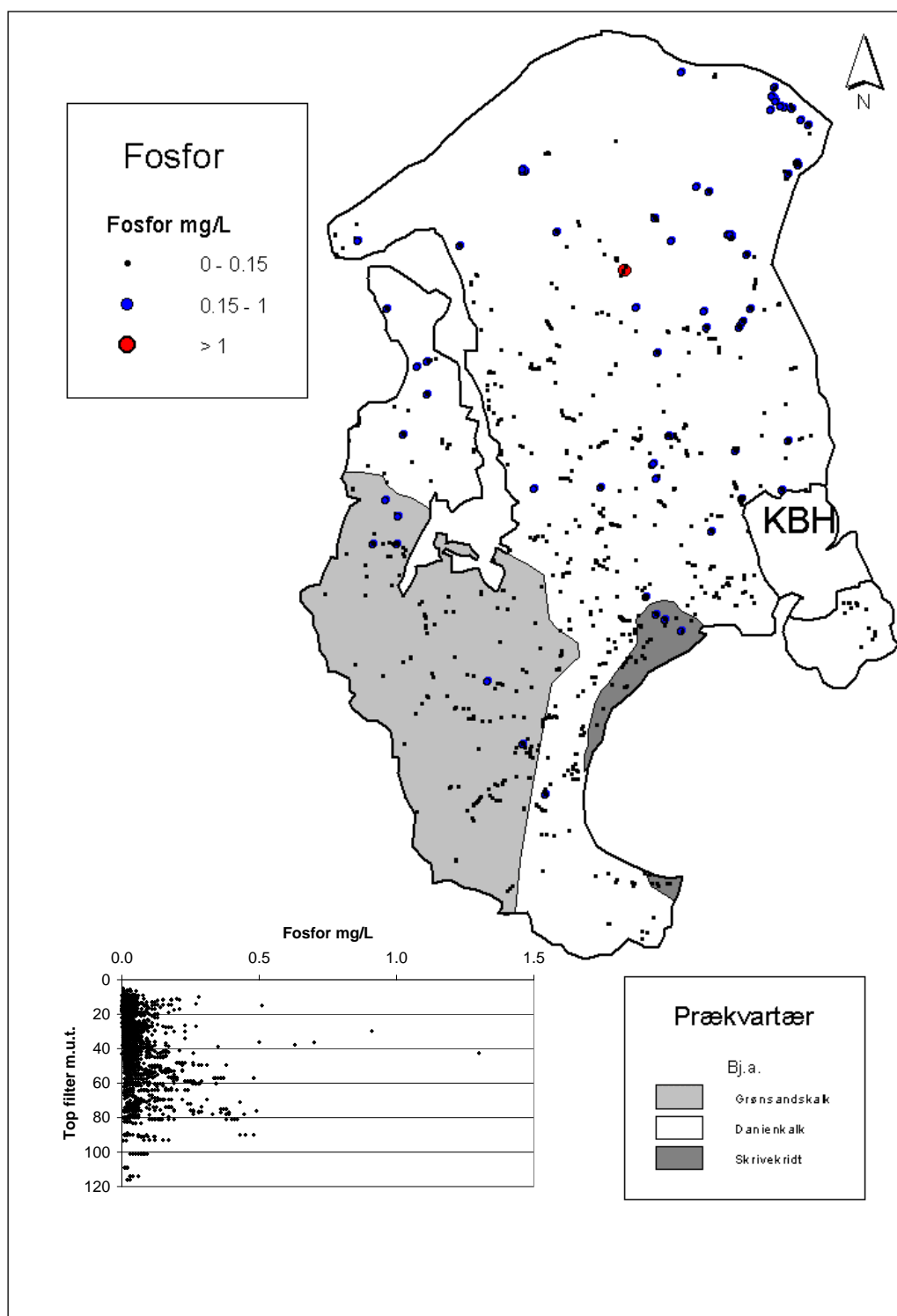
Det lave indhold af jern i den sydvestlige del af Roskilde Amt, hvor der er tegn på reduktion af sulfat, kan være et resultat af udfældning af sulfider.

Grundvandstype 6 er i øvrigt kendetegnet ved relativt høje koncentrationer af fosfor og ammonium. Grundvandet indhold af fosfor fremgår af figur 5-19. I hovedparten af grundvandsprøverne er koncentrationen af fosfor under 0,2 mg/l, men der forekommer koncentrationer op mod 0,5 mg/l i en række prøver, og op mod 1,5 mg/l i enkelte prøver. De højeste koncentrationer forekommer i den nordlige del af Frederiksborg Amt og i den vestlige del af Roskilde Amt. Kilden til fosfor i grundvandet fra kalken er sandsynligvis naturligt forekommende organisk stof. I Frederiksborg Amt kan det være postglaciale aflejringer. I Roskilde Amt de marine lerede aflejringer i Lellinge Grønsand Formationen.

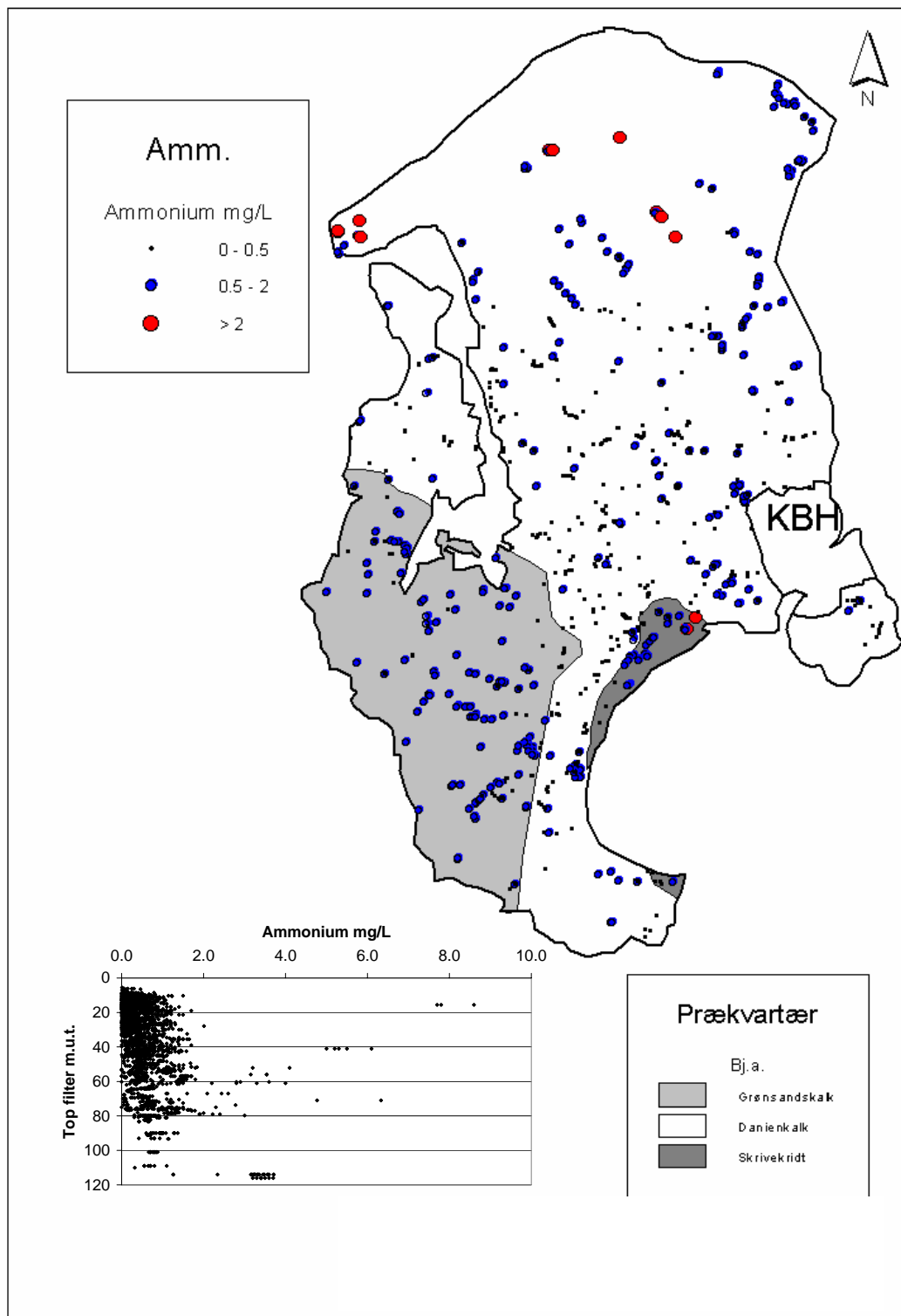
Grundvandets indhold af ammonium fremgår af figur 5-20. I hovedparten af grundvandsprøverne er koncentrationen af ammonium under 2 mg/l, men der forekommer koncentrationer op mod 8,0 mg/l, se dybdeplot i figur 5-20. De højeste koncentrationer forekommer i den nordlige del af Frederiksborg Amt og i den vestlige del af Roskilde Amt. Kilden til ammonium disse steder er som for fosfors vedkommende sandsynligvis naturligt forekommende organisk stof. I Frederiksborg Amt kan det være postglaciale aflejringer. I Roskilde Amt de marine lerede aflejringer i Lellinge Grønsand Formationen.

### **5.6.6 Tidlig udvikling af grundvandstype 6**

Der har ikke været en tidlig udvikling i denne proces i kalkmagasinerne, idet processen har foregået naturligt siden aflejringen af de postglaciale sedimenter.



Figur 5-19 Grundvandets indhold af fosfor i kalkmagasinerne.



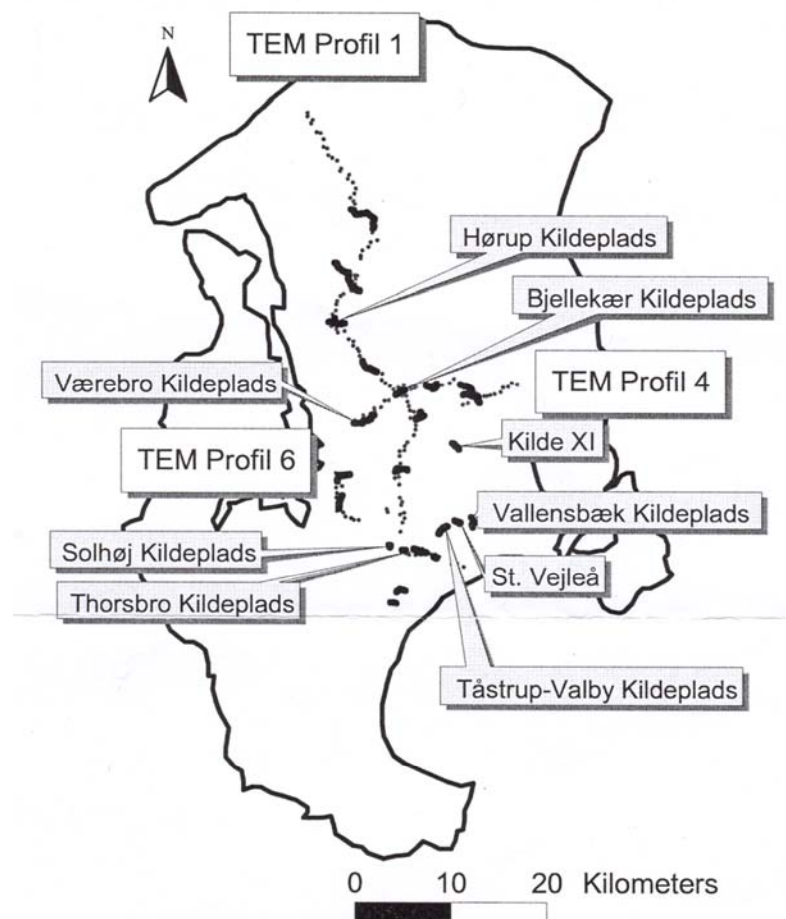
Figur 5-20 Grundvandets indhold af ammonium i kalkmagasinerne



## 6. KE kildepladser med forhøjede koncentrationer af klorid

### 6.1 Introduktion

Resultaterne af TEM sonderingerne tyder på, at "dybden til den gode leder i kalkmagasinerne", eller grænsefladen mellem ferskvandet og saltvandet, kan ligge højere under nogle af de større kildepladser i den nordøstlige del af Sjælland /2/, /3/. Med henblik på at vurdere risikoen for pumpebettinget optrængning af saltvand under kildepladser, er det derfor nødvendigt at analysere udviklingen af klorid og natrium i pumpevandet fra disse kildepladser. Tre af de seks linier, langs hvilke der er udført TEM sonderinger, er vist i figur 6.1 hvor på de undersøgte kildepladser også er vist.



**Figur 6-1** Kildepladser med forhøjede koncentrationer af klorid, og deres placering ved tre af de seks profiler med TEM sonderinger fra /3/.

Ændringer i pumpevandets indhold af saltvand på en kildeplads kan være forårsaget af en stigning af koncentrationen af klorid i en given dybde, men det kan også skyldes ændringer i driftsforhold på kildepladserne. Sådanne ændringer i driftsforhold kunne være en ændring i oppumpningen fra en boring, hvorved forholdet mellem fersk- og saltvand ændres, så den resulterende koncentration af klorid ændres. Det kan være en ændring af opblandingen i samlevandet fra flere boringer med forskellige koncentrationer af klorid, og endelig kan det skyldes en ændring i den dybde hvorfra grundvandet oppumpes, eksempelvis hvis der etableres nye, dybere boringer, som oppumper grundvand med højere koncentrationer af klorid. Oplysninger om driftsforholdene på de enkelte kildepladser er stillet til rådighed af Københavns Energi, med henblik på belysning af betydningen af disse forhold.

For hver kildeplads beskrives: Lokaliseringen ved TEM profilerne; boreddybder samt type af kalkmagasin (Skrivekridt/Danienkalk) som der oppumpes grundvand fra; tidspunktet for påbegyndelse af oppumpningen; eventuelle driftsmæssige ændringer; oppumpede vandmængder fra kildepladsen; udvikling af grundvandsstanden; det oppumpede grundvands kemiske sammensætning (grundvandstype) og udvikling samt udviklingen i indhold af klorid og natrium i pumpevandet.

Kildepladserne langs tre af de seks TEM profiler er beskrevet i **Bilag 1**. I nedenstående afsnit er givet hovedkonklusionerne fra denne beskrivelse.

## 6.2 Konklusion

I tabel 6-1 er opgivet oppumpninger fra kildepladserne i 2001, koncentrationer af klorid i blandingsvandet fra kildepladserne, stigning i koncentrationen af klorid, såfremt en sådan er påvist, samt perioden hvori stigningen er foregået. Det fremgår af tabel 6-1, at der tilsyneladende ingen entydig sammenhæng er mellem størrelsen af oppumpningen og mængden/stigningen i klorid. Derimod er kildepladser med stigende klorid ofte kendetegnet ved at ligge i områder, hvor Skrivekridtet udgør den prækvartære overflade eller hvor Skrivekridtet ligger tæt på overfladen. Dette gælder for kildepladserne Solhøj, Thorsbro, Vallensbæk samt St. Vejleå. St. Vejleå viser klart den største stigning på 22,8 mg/l pr. år i perioden 1974-79, men efterfølgende er koncentrationen af klorid faldet frem til 1986. Figur 5-3 viser også en sammenhæng mellem høje koncentrationer af klorid og højtliggende Skrivekridt, med de høje kloridværdier ved Hundested som den vigtigste undtagelse.

Kildepladserne Tåstrup-Valby og Ishøj ligger også i området med højtliggende Skrivekridt og er karakteriseret ved forhøjet kloridindhold på henholdsvis 55 til 82 mg/l. Disse to kildepladser har dog de seneste år vist tendens til faldende kloridindhold.

Der ses dog klare undtagelser fra reglen om højtliggende Skrivekridt og forhøjet/stigende kloridindhold. Kildepladserne Hørup og Bjellekær ligger begge i et område, hvor skrivekridtet ligger forholdsvist dybt, men som det fremgår af tabel 5-2, viser de en svag stigning i kloridindholdet på henholdsvis 0,6 og 0,4 mg/l pr. år fra halvfjerdsårerne og frem til i dag.

Værebros og Bogøgård Kildepladser ligger ligeledes i et område, hvor der er dybt til skrivekridtet. Stigningen i klorid på Værebros kildeplads kan sandsynligvis forklares med etable-

ringen af flere dybe borer filteret i Danienkalken. Bogøgård kildeplads er kendetegnet ved et nogenlunde stabilt, men forhøjet kloridindhold på omkring 90 mg/l siden starten af halvfjerdserne.

**Tabel 6.1** Oppumpede vandmængder og koncentration af klorid i pumpevand (år 2001)

Kildeplads	Oppumpning, [mio. m <sup>3</sup> /år]	Kloridindhold, [mg/l]	Stigning i klorid [mg/l/år]	Stigningsinterval [år]
Bjellekær	1,17	43	0,4	1975-2001
Bogøgård	1,76	86	-	-
Brokilde	2,22	29	-	-
Egholm	1,26	30	-	-
Hørup	2,25	39	0,6	1975-2001
Ishøj	0,45	82	-	-
Karlsruhe	0,25	35	-	-
Katrinebjerg	1,05	51	-	-
Kildedal	0,24	42 (1979)	-	-
Kilde XI	0,97	41	0,6	1973-2001
Marbjerg	0,52	27	-	-
Solhøj	5,85	43	0,7	1973-2001
Strø	2,68	44 (1997)	-	-
St. Vejleå	1,34	122 (1996)	22,8	1974-1979
Søndersø Øst	3,53	57	-	-
Thorsbro	0,34	45	0,4	1978-2001
Tåstrup-Valby	0,55	55	1,5	1965-1992
Vallensbæk	0,13	74 (1995)	2	1974-1995
Værebros	1,36	103	11,4	1985-1990
Æbelholt	1,07	72	-	-

Ifølge /2/ er dybden af indvindingsboringerne - ligesom højtliggende Skrivekridt - en vigtig faktor for stigende kloridindhold. Der kan imidlertid ikke påvises nogen generel sammenhæng mellem boringsdybden og stigende kloridindhold. Dette skyldes dels, at mange af kildepladserne, som indvinder fra områder med højtliggende Skrivekridt, har relative korte indvindingsboringer, dels at analysen af klorid repræsenterer blandingsvand som dermed er et gennemsnit af mange borer med potentielt meget forskellige kloridindhold.

Etableringen af de dybe borer på Værebros Kildeplads i midten af firserne har tilsyneladende medført en stigning i kloridindholdet. Ligeledes har etableringen af den dybe boring på Karlsruhe Kildeplads i 1998 sandsynligvis medført det lille spring i indholdet af klorid fra 20 til 35 mg/l. Disse kloridstigninger er desuden begge sammenfaldende med stigende fluoridindhold. Det skal i den forbindelse nævnes, at der ved renoveringen af kildepladserne i slutningen af halvfemserne er udført nye dybe indvindingsboringer. Det bliver derfor interessant, at se udviklingen i klorid i disse borer i de kommende år.

## 7 Konklusioner

### Grundvandstyper

I denne del af projektet *Saltvandsgrænsen i kalkmagasiner i Nordøstsjælland* er der etableret et system til klassifikation af grundvandstyper i kalkmagasinerne. I klassifikationen er inddraget grundvandets naturlige komponenter samt vandets koncentration af nitrat.

Det etablerede klassifikationssystem består overordnet af seks grundvandstyper, hvor grundvandstype 1 er en Ca-HCO<sub>3</sub> vandtype, som er dannet som følge af opløsning af karbonatminerale i magasinerne. De andre fem vandtyper kan opfattes som vandtyper, som foruden opløsning af calcit er overpræget af andre processer. I alle grundvandstyper forekommer således en opløsning af karbonatminerale, og denne proces vil derfor ikke i det følgende blive nævnt eksplicit, med mindre der forekommer en forøget opløsning af karbonat.

Grundvandstype 1 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand) er defineret ved et indhold af calcium som typisk er under 100 mg/l, og et indhold af bikarbonat som typisk er under 300 mg/l. Den dominerende proces, som fører til dannelse af denne grundvandstype er opløsning af karbonatminerale ved tilførsel af kuldioxid fra atmosfæren og rodzonen, uden en væsentlig anden syreproduktion i grundvandsmagasinet. Den geografiske udbredelse af grundvandstype 1 er overordnet set begrænset til den nordlige del af projektområdet, hvor kalkmagasinet er artesisk, og hvor indvindingen foregår fra Danienkalken.

Grundvandstype 2 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjet indhold af NaCl) er defineret ved et indhold af natrium over 175 mg/l, og et indhold af klorid som over 250 mg/l. Den dominerende proces i denne vandtype er tilførsel af Na og Cl fra residualt porevand. Kilden til høje koncentrationer af magnesium i denne vandtype er residualt havvand. Den geografiske udbredelse af grundvandstype 2 er hovedsagelig begrænset til områder med Skrivekridt. Skrivekridt udgør den prækvartære overflade langs Køge Bugt, og til dels ved kildepladserne vest og sydvest for København, hvor der oppumpes vand som dels kommer fra Skrivekridt, dels fra Danienkalk. Kilden til klorid må her være residualt saltvand i Skrivekridtet, og mobiliseringen kan lokalt være styret af tilstedeværelsen af sprækker. De høje koncentrationer i pumpevandet i den vestlige del af Roskilde Amt kommer fra kildepladserne Gevninge og Ramsø. Årsagen til de forhøjede koncentrationer er her optrængning af saltvand fra de dybere, vestlige dele af bassinet. Lokalt kan grundvandet tilføres saltvand fra vejsaltning.

Grundvandstype 3 (Na-HCO<sub>3</sub> grundvand) er defineret ved et Na/Ca forhold, som er større end 1, og hvor Cl koncentrationen samtidig er under 50 mg/l. Denne vandtype dannes, hvor der forekommer ionbytning af kationer Na og Ca. Denne grundvandstype indeholder også nogle steder forhøjede koncentrationer af fluorid og strontium. Grundvandstype 3 findes især i Skrivekridt langs Køge Bugt og i Lellinge Grønsand Formationen i Frederiksborg Amt og i Roskilde Amt.

Grundvandstype 4 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjet indhold af fluorid) er defineret ved en koncentration af fluorid som er større end 1,5 mg/l. Denne vandtype dannes som følge af opløsningen af fluorholdige mineraler. Grundvand med forhøjede koncentrationer af fluorid findes i projektområdet, i Skrivekridt langs Køge Bugt, i borer, hvorfra der foregår indvinding fra denne formation umiddelbart vest for København, samt i områder i den vestlige del af Roskilde Amt og Frederiksborg Amt, hvor der forekommer ionbytning af grundvandet.

Grundvandstype 5 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med forhøjede koncentrationer af sulfat og nitrat) er defineret ved en koncentration af sulfat over 100 mg/l. Hvor grundvandet siges også at indeholde nitrat, skal dette forekomme i koncentrationer over 5 mg/l. Derudover indeholder denne grundvandstype koncentrationer af calcium over 100 mg/l. Denne grundvandstype indeholder ofte forhøjede koncentrationer af sporelementer, især nikkel.

Denne grundvandstype dannes hovedsageligt ved opløsning af karbonatmineraler samt ved oxidation af sulfider (pyrit), hvorved grundvandet tilføres yderligere sulfat og calcium. Nikkel i pyrit kan herved tilføres grundvandet.

Denne grundvandstype dannes især i den centrale del af Roskilde Amt, i den sydlige del af Københavns Amt samt i den sydvestlige del af Frederiksborg Amt, hvor der forekommer frit grundvandsspejl i kalken, og hvor mægtigheden af dæklagene nogle steder er relativt beskeden. Dette betyder samlet, at oxidationsmidlerne ilt og nitrat ikke reduceres fuldstændig i dæklagene, men transporteres ned i kalkmagasinerne, hvor der forekomme kemisk reduktion primært ved oxidation af sulfider, især pyrit.

I residualt porevand forekommer sulfat også i forhøjede koncentrationer (op til 2.730 mg/l). Grundvand som er påvirket af havvand og/eller saltholdigt grundvand indeholder imidlertid også forhøjede koncentrationer af natrium og klorid. Denne vandtype er behandlet under grundvandstype 2.

Grundvandstype 6 (Ca-HCO<sub>3</sub> grundvand med metan og lave koncentrationer af sulfat) er karakteriseret ved et indhold af metan (CH<sub>4</sub>) over 3 mg/l, og en koncentration af sulfat under 10 mg/l. Denne grundvandstype dannes, hvor der foregår nedbrydning af reaktivt organisk stof, og følgeprocesser er dannelse af metan og reduktion af sulfat. Sedimenter med disse egenskaber forekommer især i den nordlige del af Frederiksborg Amt, hvorfor grundvandstype 6 har den største udbredelse i dette område. Der forekommer også lave koncentrationer af sulfat i grundvandet i den vestlige del af Roskilde Amt, men her kan de muligvis skyldes forekomsten af organisk materiale i de marine aflejringer i selve Lellinge Grønsand Formationen

Da det benyttede klassifikationssystem er baseret på geokemiske processer, hvoraf flere kan forekomme samtidig i grundvandsmagasinerne, er det tilstræbt at gøre systemet fleksibelt, med hensyn til navngivning. De seks hovedtyper af grundvand kan således kombineres, så nye vandtyper kan beskrives. Eksempelvis forekommer forhøjede koncentrationer af fluorid ofte som en følge af ionbytning, og den derved fremkomne grundvandstype kan betegnes som en Na-HCO<sub>3</sub> grundvandstype med forhøjede koncentrationer af fluorid.

### **Kloridbelastning**

I henseende til kloridbelastning viser København Energis (KE) kildepladser ingen entydig sammenhæng mellem oppumpningsmængden og stigende klorid i pumpevandet. Derimod er kildepladser med stigende klorid ofte kendetegnet ved at ligge i områder med højtliggende Skrivekridt så som Solhøj, Thorsbro, Vallensbæk og St. Vejleå.

Der er dog klare undtagelser til reglen om højtliggende Skrivekridt og stigende/forhøjet kloridindhold. Dette må skyldes lokale forhold som tilstedeværelsen af forkastninger, vejsalting, ændret indvindingsstrategi eller etablering af dybe boringer på kildepladsen.

### **Vandkvalitet**

Grundvandets indhold af uorganiske stoffer medfører at Zone 2 på figur 1-1 generelt har en god vandkvalitet. Kalkmagasinet er her som hovedregel artesisk og derfor bedre beskyttet mod forurening og har samtidigt et mindre indhold af calcium og sulfat end grundvand fra Zone 4 og delvis Zone 3. Grundvand fra Zone 1 og 5 kan have et højt indhold af fluorid og methan og kræver derfor en mere avanceret vandbehandling. Endelig viser et område i den nordlige del af Køge bugt stigende kloridindhold i pumpevandet.

## 8 Litteratur

- /1/ Larsen, F., Jensen, T. F., og Hinsby, K., 2002. **Forslag til projekt om fersk-saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne på Sjælland: Fase A, Skrivekridt og Danienkalk.**
- /2/ Klitten, K., 2006: **Saltvandgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 2. Undersøgelse af saltvandsgrænsen ved hjælp af geofysisk borehulslogging.**
- /3/ Poulsen, L.H., Wittrup, C.S., Klitten, K. og Larsen, F., 2006. **Saltvandgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 3. Kortlægning af saltvandsgrænsen med transiente elektromagnetiske (TEM) sonderinger.**
- /4/ Parkhurst, D.L. og Appelo, C.A. 1999. **Users Guide to PHREEQC (Version 2) – A computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional transport, and Inverse Geochemical Calculations.** U.S. Department of the Interior, Denver, Co 80225.
- /5/ Stenestad, E., 1976. **Københavnsområdets geologi især baseret på citybaneundersøgelserne.** Danm. Geol. Under. 3, 45, 149 sider.
- /6/ Thomsen, E. 1995. **Kalk og kridt i den danske undergrund.** Danmarks geologi fra Øvre Kridt til nu. Århus Universitetsforlag. 1995.
- /7/ Edmunds, W.M, Darling, W.G., Kinningburg, D.G., Dever, L. og Vachier, P., 1992. **Chalk groundwater in England and France: hydrogeochemistry and water quality.** Research report SD/92/2. British Geological Survey.
- /8/ Busenberg, E. og Plummer, L.N., 1989. **Thermodynamics of magnesium calcite solid-solution at 25 °C and 1 atm total pressure.** Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 53, side 1189-1208.
- /9/ Larsen, F., Sonnenborg, T., O., Klitten, K, Madsen, P. Hansen, K., A., **Saltvandgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 6. Saltvandsudvaskning i Danienkalk og Skrivekridt - Detailundersøgelser i Karlslunde værkstedsområde.**
- /10/ Håkansson, E., Bromley, R., og Perch-Nielsen, K., 1974. **Maastrichtian chalk of north-west Europe – a pelagic shelf sediment.** Spec. Publ. int. Ass. Sed. (1974). Vol. 1, side 211-233.
- /11/ Knudsen, C., 1997. **Nikkel og fluor i grundvand.** Danmarks geologiske Undersøgelse Rapport 1997/115.
- /12/ Larsen, G., 1961. **Kvantitativ petrografisk Undersøgelse af nogle sjællandske Danienkalksten.** Danmarks Geologiske Undersøgelse. IV. Række Bd. 4, Nr. 7. v

- /13/ Jensen, T. F., Larsen, F., Kjøller, C. og Larsen, J.W., 2003. **Nikkelfrigivelse ved pyritoxidation forårsaget af barometerånding – pumpning**", Arbejdsrapport nr. 5, Miljøstyrelsen.
- /14/ Chapelle, F. H. og McHahon, P.B., 1991. **Geochemistry of dissolved inorganic carbon in a Coastal plain aquifer. 1. Sulfate from confining beds as an oxidant in microbial CO<sub>2</sub> production**: Journal of Hydrogeology, Vol. 17, side 85-108.
- /15/ Jakobsen, R. og Postma, D, 1994. **In situ rates of sulfate reduction in an aquifer (Rømø, Denmark) and implications or the reactivity of organic matter**. Geology, Vol. 22, side 1103-1106.
- /16/ Mertz, E., L., 1923. **Oversøgt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark**. Danmarks geologiske Undersøgelse. II Række, Nr. 41.
- /17/ Middelburg, J.,J., 1989. **A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments**. Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 53, side 1577-1581.



## **BILAG 1. KE kildepladser**

## **Æbelholt Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 1\_1

### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 15 indvindingsboringer (heraf 14 i drift) med dybden 40 – 120 meter. De fleste boringer indvinder fra intervallet 40 – 60 meters dybde.

### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

De tre dybe boringer på 120 meter påtræffer alle Skrivekridtet i ca. 90 meters dybde.

### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1961

### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Omfattende reovering af kildeplads i 2000 og frem, bl.a. etablering af tre dybe boringer på 120 meter.

### **Udvikling i indvindingsmængde:**

Oppumpningsmængden er faldet jævnt fra 2,3 mio. m<sup>3</sup>/år til lidt over 1 mio. m<sup>3</sup>/år i perioden 1962 til 2001.

### **Udvikling i vandspejlskote:** U 731.

I perioden 1940 til 1955 er vandspejlet omkring kote 15. Fra 1955 til 1960 ses et svagt fald til kote 13. I 1961 falder vandspejlet i størrelsesordenen 8 meter til kote 5 m. Fra 1990 til 2002 ses en svag stigning til kote 7.

### **Grundvandstype:** Grundvandstype 6

Grundvandstypen har ikke ændret sig i perioden 1961 til 2000.

### **Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold har siden 1961 til 2000 ligget konstant omkring 80 mg/l

### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold har siden 1961 til 2000 ligget ret konstant omkring 60 mg/l.

### **Sammenfatning:**

Kildepladsen viser ingen tegn på påvirkning af saltvand i perioden 1961 til 2000. Etablering af de tre dybe boringer i 2002 kan medføre højere kloridindhold i samlevandet.

## **Strø Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 1\_2

### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 30 indvindingsboringer (heraf 29 i drift) med dybden 28 – 100 meter. Langt de fleste boringer er mellem 30 - 40 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk  
Ingen af boringerne når Skrivekridtet.

**Påbegyndelse af oppumpning:**  
1955

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**  
Etableret flere dybe boringer i 1999, bl.a. DGUnr. 192.1074 på 100 meter.

**Udvikling i indvindingsmængde:**  
I perioden 1962 til 1971 ses en nogenlunde konstant indvindingsmængde på 3,6 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter ses et fald i ydelsen til lidt over 2 mio. m<sup>3</sup>/år i 1976 efterfulgt af en stigning til omkring 3 mio. m<sup>3</sup>/år i 1981. Fra 1981 falder indvindingen til et minimum lidt over 2 mio. m<sup>3</sup>/år i 1986, hvorefter den stiger kraftigt til over 3 mio. m<sup>3</sup>/år i 1988. Derefter falder oppumpningen med mindre svingninger til det nuværende niveau omkring 2,6 m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten: U 730.**  
I perioden 1940 til 1954 er vandspejlet konstant omkring kote 13 m. Fra 1954 til 1964 ses et jævnt fald på 13 meter til kote 0. I 1986 ses en top på lidt under kote 6 m. Fra 1991 til 2002 ses større fluktuationer, men generelt stiger vandspejlet til omkring kote 3 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 6  
Grundvandstypen har ændret sig fra grundvandstype 1 til 6 i begyndelsen af indvindingsperioden (1956-1964).

**Udvikling i klorid:**  
Blandingsvandets kloridindhold viser en svag stigning fra omkring 20 til 48 mg/l i 2002. Hovedparten af stigningen sker dog i starten af indvindingsperioden fra 1956 til 1960.

**Udvikling i natrium:**  
Blandingsvandets natriumindhold har siden 1956 til 2002 ligget nogenlunde konstant omkring 20 - 25 mg/l. Natriumindholdet viser lidt større variation i starten af perioden.

**Sammenfatning:**  
Den første stigning i klorid samt fluktuationerne i natrium er sammenfaldende med faldet i vandspejlet på 13 meter i perioden 1956-1964. I dette tidsrum ændres grundvandstypen også fra 1 til 6. Stigningen i klorid skyldes derfor øget indvinding i starten af perioden og dermed ændrede strømningmønstre i det omgivende grundvandsmagasin. Kildepladsen viser, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

## Hørup Kildeplads

**TEM-profil:** Profil 1\_2

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er ni indvindingsboringer (heraf 8 i drift) med dybden 39 – 100 meter. Langt de fleste boringer er mellem 40 - 60 meter dybe. To dybe boringer på 99,5 m (Ø24) og 74 m (S22) blev henholdsvis etableret i 1996 og 1995.

**Type af kalkmagasin: Danienkalk**

Ingen af boringerne når Skrivekridtet.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1955

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Dybe erstatningsboringer etableret i midten af halvfemserne.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1962 til 1985 ses en nogenlunde konstant oppumpning på 3,6 mio. m<sup>3</sup>/år, dog med et kortvarigt fald til 2,5 mio. m<sup>3</sup>/år i 1976. Fra 1992 falder indvindingen til et minimum på omkring 0,3 mio. m<sup>3</sup>/år i 1994, hvorefter den igen stiger til et nuværende niveau på lidt over 2 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten: U 709.**

I perioden 1939 til 1955 er vandspejlet konstant omkring kote 14 m. I 1955 ses et kraftigt fald i vandspejlet til kote 9. Herefter falder vandspejlet jævnt til kote 2 m i 1970. Fra 1991 til 2002 ses større fluktuationer, men med en klar tendens til stigende vandspejl til omkring kote 10 m i 2002.

**Grundvandstype: Grundvandstype 5**

Grundvandstypen har ændret sig fra grundvandstype 1 til 7 i begyndelsen af indvindingsperioden (1955-1971) og har et nuværende sulfatindhold på omkring 140 mg/l.

**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser små fluktuationer i starten af indvindingsperioden og stiger jævnt fra omkring 24 til 40 mg/l i perioden 1975 til 2002. Dette svarer til en stigningsrate på 0,6 mg/l pr. år.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold har siden 1955 til 2002 ligget nogenlunde konstant omkring 15 - 20 mg/l. Natriumindholdet viser lidt større variation i starten af perioden og viser tegn på ionbytning.

**Sammenfatning:**

Grundvandstypens ændring fra 1 til 7 er sammenfaldende med sænkningen af vandspejlet på omkring 12 meter i perioden 1955 til 1970. Stigningen i klorid kan imidlertid ikke henføres til ændringer i vandspejlskoten. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning relateret til øget oppumpning.

## Egholm Kildeplads

**TEM-profil:** Profil 1\_3

### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 6 indvindingsboringer med dybden 70 – 110 meter. De fleste boringer har dybden 90 meter. Alle boringer er etableret i 1998 med Ø13 som den dybeste boring på 110m

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Skrivekridt påtræffes i cirka 95 meters dybde i boring Ø13.

### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1940

### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Kildepladsen er etableret i 1998.

### **Udvikling i indvindingsmængde:**

Fra 1980 -1982 falder oppumpning fra lidt under 2 til en smule over 1 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter stiger indvindingen til omkring 2 mio. m<sup>3</sup>/år i 1984. Fra 1984 falder indvindingen igen, dog med svingninger, til et nuværende niveau på lidt over 1 mio. m<sup>3</sup>/år.

### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 698.

I 1940-42 ses et kraftig fald i vandspejlet fra omkring kote 17 m til kote 12 m. Herefter stiger vandspejlet kortvarigt til størrelsesordenen kote 15 m i 1946, hvorefter det falder igen til omkring kote 11 m i 1949. I slutningen af tresserne stiger vandspejlet igen til omkring kote 13, men falder igen i 1971 til kote 11 m. I 1980 stiger vandspejlet brat til det nuværende niveau på omkring kote 15 m.

### **Grundvandstype:** Grundvandstype 1

Grundvandstypen har ændret sig fra grundvandstype 1 til 7 i begyndelsen af indvindingsperioden (1940-1948). Efter reoveringen af kildepladsen i 1998 er det nuværende sulfatindhold tilbage på 1940-niveau.

### **Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde stabilt niveau på omkring 25 – 32 mg/l. I 1973 stiger kloridindholdet kortvarigt til 46 mg/l.

### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold har ligget nogenlunde konstant omkring 20 mg/l. Natriumindholdet viser større fluktuationer i starten af perioden og har - ligesom kloridindholdet - en top i natriumindholdet på omkring 30 mg/l i 1973.

### **Sammenfatning:**

Grundvandstypen ændring fra 7 til 1 er sammenfaldende med reoveringen af kildepladsen i 1998. Den kortvarige stigning i klorid i 1973 kan ikke henføres til ændringer i vandspejlskoten. Etableringen af de dybe boringer i 1998 har tilsyneladende ikke medført stigende

kloridindhold i samlevandet. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning relateret til øget oppumpning.

## **Bjellekær Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 1\_4

### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 7 indvindingsboringer med dybden 65 -115 meters dybde. Alle boringer er etableret i 1997.

### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne når Skrivekridtet.

### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1927

### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Kildepladsen er renoveret i 1997 med etableringen af flere erstatningsboringer med dybden 65 meter.

### **Udvikling i indvindingsmængde:**

Fra 1962 -1976 ses et generelt fald i oppumpning fra 1,7 til en smule over 1 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter stiger indvindingen til lidt under 2 mio. m<sup>3</sup>/år i 1979. Fra 1979 falder indvindingen jævnt til et minimum tæt på nul i 1998. Derefter er indvindingen igen steget til det nuværende niveau på lidt over 1 mio. m<sup>3</sup>/år.

### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 468.

I 1931 falder vandspejlet fra omkring kote 13 til kote 11 m. Herefter stiger vandspejlet i en kortere periode til størrelsesordenen kote 13 i 1946, hvorefter det falder igen til omkring kote 10 m i 1949. I starten af firserne stiger vandspejlet jævnt til det nuværende niveau på omkring kote 11 m.

### **Grundvandstype:** Grundvandstype 5

Nitratindholdet i blandingsvandet er steget fra 0 til 12 mg/l i perioden 1949 til 1997. Efter 1997 er nitratkoncentrationen faldet til det omkring 6 mg/l i 2001.

### **Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde stabilt niveau på omkring 30 mg/l i perioden 1940 til 1975. Herefter ses en svag stigning i klorid til det nuværende niveau på 43 mg/l. Dette svarer til en stigningsrate på 0,4 mg/l pr. år.

### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold har ligget nogenlunde konstant omkring 20 mg/l. Natriumindholdet viser større fluktuationer i starten af perioden og har en top i natriumindholdet på omkring 50 mg/l i 1961. Desuden viser kildepladsen tegn på ionbytning.

**Sammenfatning:**

Grundvandets indhold af nitrat er faldet siden renoveringen af kildepladsen i 1997. Stigningen i klorid siden 1975 kan ikke korreleres til ændringer i vandspejlet. Der ses ingen markant ændring i hverken klorid- eller natriumindholdet i samlevandet efter renoveringen i 1997. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning relateret til øget oppumpning.

**Kildedal Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 1\_4

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 15 indvindingsboringer (ingen i drift) med dybden 42 – 61 meter. Lang de fleste boringer er omkring 50 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne når tilsyneladende skrivekridtet. Den dybe boring DGUnr. 200. 219k

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1930

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Indvindingen på kildepladsen blev stoppet i 1980. Afværgepumpning fra 1982 og frem.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

I 1980 Indvindes omkring 0,5 mio. m<sup>3</sup>/år. I 1981 er der ingen oppumpning. Fra 1982 afværgepumpes der på kildepladsen med omkring 0,3 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten:** U 296.

I perioden 1913 til 1930 er vandspejlet konstant omkring kote 13 m. Herefter falder vandspejlet til lidt under kote 10 m. Herefter stiger vandspejlet i en kortere periode til størrelsesordenen kote 12 m i 1946, hvorefter det falder igen til omkring kote 9 m i 1949. I starten af firserne stiger vandspejlet jævnt til det nuværende niveau på omkring kote 10 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 6**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser fluktuationer i starten af indvindingsperioden. I 1966 til 1967 ses et minimum kloridindholdet på 22 mg/l. Derefter ses en stigning i klorid til et niveau på 40 mg/l i 1979.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser ligeledes fluktuationer i starten af indvindingsperioden med en maksimal værdi på 41 mg/l i 1954. I 1966 ses et minimum natriumindholdet på omkring 13 mg/l. Herefter stiger natrium svagt til 22 mg/l i 1979.

**Sammenfatning:**

Kildepladsen viser, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

**Katrinebjerg Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 1\_5

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 10 boringer med dybden mellem 30 og 63 meter. Langt de fleste boringer er omkring 30 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen boringer når Skrivekridtet.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1922

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Boringerne er fornyet i 1991-92

**Udvikling i indvindingsmængde:**

Fra 1980 til 1981 stiger oppumpningen fra ca. 1 mio. til 1,2 mio. m<sup>3</sup>/år, hvorefter den falder til 0,5 mio. m<sup>3</sup>/år i 1984. I 1985 stiger oppumpningen til omkring 1 mio. m<sup>3</sup>/år, hvorefter den falder jævnt til omkring 0,2 mio. m<sup>3</sup>/år i 1991. Fra 1991 stiger oppumpningen til omkring 1,7 mio. m<sup>3</sup>/år i 1993. Herefter falder indvindingen – med visse udsving – til et nuværende niveau på 1 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten:** U 293.

I perioden 1913 til 1925 falder vandspejlet fra kote 15 m til lidt over kote 10 m. Herefter ses en stigning til kote 13 m i 1928. Fra 1928 falder vandspejlet til et nogenlunde stabilt niveau på kote 10 m. I starten af firserne stiger vandspejlet igen til omkring kote 14 m. I 1989 ses et brat fald til det nuværende niveau på omkring kote 12 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 6**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et konstant niveau på 40 mg/l i perioden 1941 til 1977. I 1978 ses en stigning til 56 mg/l. Derefter falder kloridindholdet tilbage til 40 mg/l i 1983. Fra 1983-84 ses en brat stigning til det nuværende kloridindhold på 50 mg/l.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større fluktuationer i starten af indvindingsperioden. (En stigning i natriumindholdet til 50 mg/l finder sted i 1959.) I 1978 ses en stigning til 35



mg/l, hvorefter natriumindholdet falder til et minimum på 16 mg/l i 1981. Fra 1981-84 stiger natrium til det nuværende niveau på omkring 25 mg/l.

#### **Sammenfatning:**

Stigningen i klorid i 1983 er sammenfaldende med perioden uden oppumpning og stigende vandspejl. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

### **Værebros Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 4\_1

#### **Boredybder af indvindingsboringer:**

Der er 25 boringer (heraf 24 i drift) med dybden 40 – 78 meter. Langt de fleste boringer indvinder vand fra intervallet 40 - 50 meters dybde.

#### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne når Skrivekridtet.

#### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1950

#### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Der blev i midten af firserne påbegyndt indvinding fra nye dybe boringer filtersat i kalken.

#### **Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 – 89 stiger oppumpningen fra til over 2 til lidt over 3 mio. m<sup>3</sup>/år, hvorefter den falder kraftigt til omkring 0,3 mio. m<sup>3</sup>/år i 2000. Fra 2000 til 2001 stiger oppumpningen igen til omkring 1,4 mio. m<sup>3</sup>/år.

#### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 966.

I 1949 falder vandspejlet stejlt fra kote 4 til kote 0 m. Herefter falder vandspejlet mere jævnt under kote 0 m til kote -4 i 1965. I årene 1966, 1969 og 1980 stiger vandspejlet kortvarigt over kote 0 m. Fra midten af halvfemserne ses en generel stigning i vandspejlet, dog med fluktuationer, til kote 0,5 m i 2001.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

#### **Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser en svag stigning fra omkring 40 mg/l til 55 mg/l i perioden 1951 til 1985. I 1985 begynder kloridindholdet at stige kraftigt og når et maksimum på 112 mg/l i 1990. Dette svarer til en stigningsrate på 11,4 mg/l pr. år i perioden 1985 til 1995. Derefter falder kloridindholdet til 76 mg/l i 1994. Fra 1994-99 stiger klorid igen stejlt til et niveau på 120 mg/l. Herefter falder kloridindholdet til omkring 100 mg/l i 2001.

#### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større fluktuationer i starten af indvindingsperioden, men har generelt et stabilt niveau omkring 30 mg/l indtil 1985. I 1985 begynder natrium at stige kraftigt og når et maksimum på 64 mg/l i 1990. Derefter falder natriumindholdet til 44 mg/l i 1994. Fra 1994-95 stiger natriumindholdet igen stejlt til et niveau på omkring 60 mg/l. I 1999 til 2001 falder natriumindholdet til 52 mg/l.

#### **Sammenfatning:**

Stigningen i klorid i 1985 korrelerer perfekt med stigningen i natrium. Derimod stiger vandspejlet generelt i samme periode. Stigningen i saltholdigheden skyldes driftmæssige ændringer på kildepladsen: I midten af firserne etableres flere nye borerings filtersat i kalken. Danienkalken i dette område er ringe gennemskyllet pga. det overliggende sandlag med højt transmissivitet. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

## **Bogøgård Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 4\_1

#### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 17 borerings (heraf 13 i drift) med dybden 50 – 65 meter. Langt de fleste borerings er lidt over 50 meter dybde. To borerings på 65 meter blev etableret i 1997.

#### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Danienkalken påtræffes i omkring 56 meters dybde. Ingen af borerings når Skrivekridtet.

#### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1925

#### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Kildepladsen blev senest renoveret i 1997 med etableringen af to åbne kalkboringer på 65 meter. I 1986 etableres to borerings på henholdsvis 54 og 59 meter filtersat i kalken. I 1988 er etableret en boring på 57 meter også filtersat i kalken.

#### **Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 – 92 ses en svag stigning fra omkring 2 til 2,3 mio. m<sup>3</sup>/år, hvorefter den falder stejlt til et nuværende niveau på 1,76 mio. m<sup>3</sup>/år.

#### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 354.

I perioden 1916 til 1925 ses et konstant vandspejl omkring kote 10 m. I 1925 falder vandspejlet stejlt til kote 5. Herefter falder vandspejlet med fluktuationer til omkring kote 0,5 m i 1940. I 1940 stiger vandspejlet brat til lidt under kote 10. I 1945 ses et kortvarigt fald til omkring kote 2 m. I 1946 falder vandspejlet omkring 10 m til kote 0 m. Vandspejlet har siden ligget nogenlunde stabilt omkring kote 0 m, dog med en svag tendens til stigning til kote 2 m i 2002.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et svagt fald fra omkring 120 mg/l til 90 mg/l i perioden 1940 til 1973. Herefter viser kloridindholdet et nogenlunde konstant niveau på 90 mg/l frem til i dag, dog med en enkel top på 122 mg/l i 1986.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større fluktuationer i starten af indvindingsperioden, men falder generelt fra 80 mg/l til 60 mg/l i perioden 1940 til 1973. Herefter viser natriumindholdet – ligesom klorid - et nogenlunde konstant niveau på 60 mg/l frem til 2001, dog med en enkel top på 80 mg/l i 1986.

**Sammenfatning:**

Toppen i klorid og natrium i 1986 kan ikke korreleres til ændringer i vandspejlet, men er sammenfaldende med en periode, hvor oppumpningen er større end 2 mio. m<sup>3</sup>/år. Desuden sammenfalder toppen i 1986 med etableringen af to borer filteret i kalken. Toppen i klorid er derfor sandsynligvis et resultat af ændringer i driften på kildepladsen.

## **Søndersø Øst Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 4\_2

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 8 borer med dybden 62 – 120 meters dybde. De fleste borer indvinder i intervallet 50 – 70 meters dybde.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk/Skrivekridt

I den dybe 120 meter boring (DGUnr. 200. 3749) findes Danienkalken i cirka 50 meters dybde, mens Skrivekridtet påtræffes i 80 meters dybde.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1942 (renoveret i år 1995)

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

I 1993 og 1994 etableres i alt 5 dybe borer på omkring 80 til 120 meters dybde. Der er ikke før 1996 udtaget selvstændige råvandsprøver fra Søndersø kildeplads, idet vandet fra Tibberup kildeplads før renoveringen af Søndersø i 1994 løb ind på den tidligere østhævert på Søndersø.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

Fra 1962– 81 falder oppumpningen jævnt fra 5,7 til omkring 5 mio. m<sup>3</sup>/år, dog med to kortvarige, men kraftige fald i 1967 og 1976 til henholdsvis 3,7 og 3,6 mio. m<sup>3</sup>/år. I perioden 1981-82 stiger oppumpningen til næsten 6 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter falder den kraftigt til omkring 1,6 mio. m<sup>3</sup>/år i 1994. Fra 1994 til 1996 stiger oppumpningen igen til omkring 4,5 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter den falder jævnt til et niveau på 3,5 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001.

**Udvikling i vandspejlskote:** U 326.

I perioden 1921 til 1951 ses et konstant vandspejl omkring kote 11 m. Herefter falder vandspejlet gradvist til lidt over kote 5 m i 1978. Derefter stiger vandspejlet jævnt frem til et nuværende niveau på lidt under kote 10 m. I midten af halvfemserne ses en top, med vandspejlskote på 13 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde konstant niveau omkring 50 mg/l. I 1993 ses et lille spring til lidt under 60 mg/l.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større fluktuationer i forhold til kloridindholdet, men har generelt et stabilt niveau omkring 30 mg/l.

**Sammenfatning:**

Den lille kloridstigning i samlevandet i 1993 er sammenfaldende med etableringen af nye dybe borer til Skrivekridtet. Kildepladsen har et nogenlunde konstant kloridindhold i hvert fald indtil 1993 og viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

**Brokilde Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 6\_1

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 15 borer (heraf 14 i drift) med dybden 24 – 60 meter. De fleste borer er mellem 40 til 50 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af borerne når tilsyneladende Skrivekridtet.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1934

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:****Udvikling i indvindingsmængde:**

Indvinding på omkring 2,6 mio m<sup>3</sup>/år i perioden 1962 til 1980. Fra 1980 til 1990 stiger oppumpningen svagt fra 2,6 til 3,2 mio. m<sup>3</sup>/år. Fra 1990 falder indvindingen til under 1 mio. m<sup>3</sup>/år i midten af halvfemserne. Fra 1995 stiger oppumpningen kraftigt til 2,7 mio. m<sup>3</sup>/år i 1997. Fra 1997 falder den til næsten nul i 2000, hvorefter den igen stiger til et nuværende niveau lidt over 2 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten: U 430.**

I perioden 1930 til 1934 ses et konstant vandspejl omkring kote 13 m. I 1934 falder vandspejlet stejlt til omkring kote 5 m. I 1940 stiger vandspejlet brat til kote 10 m. I 1946 falder vandspejlet til omkring kote 5. Herefter falder vandspejlet svagt til et minimum omkring kote 1 m i 1990. Siden starten af halvfemserne har vandspejlet med fluktuationer steget til kote 8 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

**Udvikling i klorid:**

Kloridindholdet i blandingsvandets er konstant omkring 30 mg/l.

**Udvikling i natrium:**

Natriumindholdet i blandingsvandets viser større udsving i starten af indvindingsperioden, men er ellers konstant omkring 20 mg/l.

**Sammenfatning:**

Klorid og natrium viser ingen udvikling på kildepladsen. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

**Marbjerg Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 6\_1

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 14 boringer (heraf 13 i drift), som er mellem 30 til 50 meter dybde. Langt de fleste boringer er 30 – 40 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne når Skrivekridtet.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1934

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:****Udvikling i indvindingsmængde:**

Oppumpningsmængden er generelt faldet – med visse udsving – fra omkring 1 til 0,5 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten: U 580.**

I 1934 falder vandspejlet stejlt fra omkring kote 17 m til kote 9 m. I 1940 stiger vandspejlet brat til kote 14 m. I 1945 falder vandspejlet igen til omkring kote 9 m. Siden starten af halvfemserne er der tendens til stigende vandspejl til et nuværende niveau på kote 12 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

**Udvikling i klorid:**

Kloridindholdet i blandingsvandets er konstant omkring 20 - 25 mg/l.

**Udvikling i natrium:**

Natriumindholdet i blandingsvandets viser større udsving i starten af indvindingsperioden, men er ellers konstant omkring 10 mg/l.

**Sammenfatning:**

Klorid og natrium viser ingen signifikant udvikling på kildepladsen. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

**Solhøj Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 6\_2

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 8 Indvindingsboringer med dybden 15 – 35 meter. De fleste boringer er omkring 20 til 30 meter dybe.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne har tilsyneladende påtruffet Skrivekridt.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1909

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

I 1981 etableres flere nye boringer på omkring 30 meters dybde.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

Indvindingsmængden har generelt svinget mellem 5 til 6 mio. m<sup>3</sup>/år i perioden 1980 til 2001. Niveaueet i 2001 er 5,8 mio. m<sup>3</sup>/år.

**Udvikling i vandspejlskoten:** U 229.

I 1909 falder vandspejlet 2 meter fra omkring kote 23 m til kote 21 m. Herefter viser vandspejlet fluktuationer, men flader generelt til et niveau omkring kote 14 m. Fra slutningen af halvfjerdserne falder vandspejlet i perioder til lidt over kote 12 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5**Udvikling i klorid:**

Kloridindholdet i blandingsvandets er nogenlunde konstant omkring 20 mg/l i perioden 1940 – 1973, dog med en enkel top på 39 mg/l i 1955. Fra 1973 ses en nogenlunde jævn stigning til det nuværende niveau på omkring 40 mg/l. Dette svarer til en stigningsrate på 0,7 mg/l pr. år siden 1973.

### **Udvikling i natrium:**

Natriumindholdet i blandingsvandets viser større udsving sammenlignet med kloridkoncentrationerne, dog med natriumværdier generelt under 20 mg/l. I 1961 ses en top på 71 mg/l. Fra 1973 til 1976 ses en jævn stigning fra 7 til 22 mg/l, efterfulgt af et gradvist fald til et nuværende niveau omkring 16 mg/l. Natrium udviser tegn på ionbytning.

### **Sammenfatning:**

Fra 1973 ses en jævn stigning i klorid. Udviklingen i klorid kan ikke direkte sammenkobles med ændringer i vandspejlet i samme periode. Det er bemærkelsesværdig, at den begyndende stigning i klorid er nogenlunde sammenfaldende med etableringen af borerne i 1981. Stigningen i klorid er dog tilsyneladende begyndt før 1981 og derfor kan etableringen af borerne ikke være hele forklaringen. Natriumudviklingen viser tegn på ionbytning. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

## **Thorsbro Kildeplads**

### **TEM-profil: Profil 6\_2**

#### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 41 borer (heraf 20 i drift) med dybden 16 – 54 meter fordelt på tre hævertledninger (A, C og D). Langt de fleste borer indvinder fra omkring 20 meters dybde.

#### **Type af kalkmagasin: Danienkalk**

Ingen af indvindingsboringerne påtræffer tilsyneladende Skrivekridt. En boring (DGUnr. 207. 3606) i den østligste del af kildepladsen når Skrivekridt i 30 meters dybde. Skrivekridtet påtræffes ret højt et par km syd for kildepladsen.

#### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1908

#### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Både i 1972 og 1990 etableres flere borer på omkring 30 meters dybde på kildepladsen. I oktober 1995 er der i vandet fra kildepladsen konstateret et indhold af pesticidrester over grænseværdien, og hævert A er lukket fra.

#### **Udvikling i indvindingsmængde: (Hævertledning D)**

Indvindingsmængden for Thorsbro D er generelt faldet – med visse udsving – fra lidt over 3 mio. m<sup>3</sup>/år til 0,3 mio. m<sup>3</sup>/år i perioden 1980 til 2001. I årene 1987 – 88 steg indvindingen til knap 4 mio. m<sup>3</sup>/år.

#### **Udvikling i vandspejlskoten: U 233.**

I 1919 falder vandspejlet 7 meter fra omkring kote 10 til kote 3 m. Herefter viser vandspejlet fluktuationer, men stiger generelt til lidt over kote 9 m i 1931. Herefter falder vandspejlet igen til omkring kote 2 m, dog men en enkel top på kote 9 m i 1940. I starten af firserne

stiger vandspejlet til omkring kote 9 m, men falder til lidt under kote 3 m i 1987. Siden 1993 ses en generel stigning til det nuværende niveau på omkring kote 10 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 6

**Udvikling i klorid:**

Kloridindholdet i blandingsvandet er nogenlunde konstant omkring 20 mg/l i perioden 1940 – 1953. Fra 1953 til 1956 ses en stigning til omkring 35 mg/l. Siden 1978 ses en svag stigning til det nuværende niveau på omkring 50 – 55 mg/l. Dette svarer til en stigningsrate på 0,4 mg/l pr. år siden 1978.

**Udvikling i natrium:**

Natriumindholdet i blandingsvandet viser større udsving sammenlignet med kloridkoncentrationerne, dog med natriumværdier generelt omkring 20 mg/l. Natrium udviser tegn på ionbytning.

**Sammenfatning:**

Kloridindholdet er generelt steget fra 20 til 40 mg/l. Udviklingen i klorid kan imidlertid ikke korreleres med ændringer i vandspejlet. Etableringen af borerne i 1972 og 1990 har muligvis haft indflydelse på stigningen i klorid. Natriumudviklingen viser tegn på ionbytning. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende salt-påvirkning pga. øget oppumpning.

## **Ishøj Kildeplads**

**TEM-profil:** Profil 6\_2

**Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 4 Indvindingsboringer med dybden 39 - 67 meter.

**Type af kalkmagasin:** Skrivekridt

Skrivekridtet påtræffes i cirka 30 til 40 meters dybde. Skrivekridtet overlejres typisk af 5 -10 meter Danienkalk.

**Påbegyndelse af oppumpning:**

1914

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Etableret flere dybe borer på 40 – 60 meter i starten af halvfjerdserne.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

I 1981 stiger oppumpningen fra omkring 0,3 til cirka 0,6 mio. m<sup>3</sup>/år. I perioden 1992-1995 er der ingen oppumpning på kildepladsen, hvorefter den gradvist stiger til et niveau på omkring 0,5 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001.

**Udvikling i vandspejlskoten:** U 231.



I 1913 falder vandspejlet 6 meter fra omkring kote 10 til kote 4 m. Herefter viser vandspejlet fluktuationer, men stiger generelt til lidt under kote 9 m i 1917. I 1919 falder vandspejlet igen til omkring kote 4 m. Derefter stiger vandspejlet med fluktuationer til omkring kote 8 m i starten af 1930'erne. Herefter falder vandspejlet til lidt under kote 2 m, dog med en enkel top på kote 8 m i 1940-41. I slutningen af halvårerne falder vandspejlet i to perioder under kote 0 m. Siden 1980 ses en generel stigning til det nuværende niveau på lidt under kote 8 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold falder i 1985 fra 100 mg/l til det nuværende niveau på omkring 80 mg/l.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold falder i 1986 fra 62 mg/l til det nuværende niveau på omkring 35 mg/l.

**Sammenfatning:**

Klorid- og natriumindholdet er begge faldet i 1986. Udviklingen i klorid og natrium kan imidlertid ikke korreleres med ændringer i vandspejlet eller driftmæssige ændringer på kildepladsen. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

## Kildepladser med stigende klorid, og som ikke er beliggende på TEM profiler

### Karlslunde Kildeplads

#### Boreddybder af indvindingsboringer:

Der er 4 Indvindingsboringer med dybden 63 -110 meter. Heraf en enkel åben kalkboring med dybden 110 meter (DGUnr. 207. 3476).

#### Type af kalkmagasin: Danienkalk/Skrivekridt

Skrivekridtet påtræffes i cirka 26 til 40 meters dybde. Skrivekridtet overlejres typisk af 10 - 25 meter Danienkalk. Skrivekridtet findes højtliggende umiddelbart øst for kildepladsen.

#### Påbegyndelse af oppumpning: 1949

#### Driftmæssige ændringer på kildepladsen:

Den dybe 110 meters boring (DGUnr. 207. 3476) blev etableret i 1997

#### Udvikling i indvindingsmængde:

I perioden 1980 til 1984 er oppumpningen nogenlunde konstant omkring 0,2 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter stiger indvindingen til omkring 0,7 mio. m<sup>3</sup>/år i 1986. Derefter aftager indvindingen gradvis til omkring 0,4 mio. m<sup>3</sup>/år i 1991. I årene 1992-93 indvindes næsten intet grundvand. Fra 1993 stiger indvindingen jævnt til omkring 0,4 mio. m<sup>3</sup>/år i 1996. Herefter aftager oppumpningen nogenlunde gradvist til et niveau omkring 0,2 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001.

#### Udvikling i vandspejlskoten: U 956.

I 1949 falder vandspejlet fra omkring kote 20 til kote 12 m. Fra 1949 til midt i tresserne er vandspejlet konstant i kote 11-12 m med nogle fluktuationer. I perioden 1966-68 er vandspejlet beliggende lidt under kote 17 m. Herefter falder vandspejlet til lidt over kote 10 m. I 1980-81 stiger vandspejlet kortvarigt til lidt over kote 15 m, men falder igen til omkring kote 12 m. I 1984 stiger vandspejlet igen omkring kote 15 m, hvorefter vandspejlet året efter falder stejlt til kote 8 m. I den efterfølgende periode ses store udsving i vandspejlet, med et maksimum værdi på lidt under kote 17 m i 1993 og en minimum værdi på lidt under kote 6 m i 2002.

#### Grundvandstype: Grundvandstype 5

#### Udvikling i klorid:

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde konstant niveau omkring 20 mg/l frem til 1998. Herefter ses en stigning til 34 mg/l i 2000, hvorefter kloridindholdet i 2002 falder til 18 mg/l. I 1998 stiger fluoridindholdet tilsvarende fra 0,3 til 0,6 mg/l. Stigningen i klorid skyldes sandsynligvis etableringen af den 110 meter dybe boring i 1997.

#### Udvikling i natrium:

Blandingsvandets natriumindhold viser større udsving sammenlignet med klorid, men har generelt værdier under 20 mg/l.

#### **Sammenfatning:**

Kloridindholdet stiger i 1998, hvilket er sammenfaldende med at vandspejlet falder fra kote 15 m til kote 7 m. Derudover ses dog ingen sammenhæng mellem ændringer i vandspejlet og udviklingen i klorid. Stigningen i klorid og fluorid er sandsynligvis et resultat af etableringen af den 110 meter dybe boring i 1997. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

#### **Kilde XI**

##### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er 10 indvindingsboringer (heraf 4 i drift) med dybden 27 - 120 meter. Gennemsnitsdybden er omkring 60 meter.

##### **Type af kalkmagasin: Danienkalk**

Den dybeste boring (DGUnr. 200. 3871) påtræffer Skrivekridt 60 meter under overfladen.

##### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1926

##### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Der er etableret en boring i 1978 på omkring 35 meters dybde samt etableret to boringer i 1995 på henholdsvis 78 og 44 meters dybde. Endvidere er der i 2002 etableret en boring på 120 meter og en boring på 70 meter.

##### **Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 til 1989 stiger oppumpningen generelt fra 0,6 til 1 mio. m<sup>3</sup>/år. Derefter ses et gradvist fald til 0,4 mio. m<sup>3</sup>/år i 1995. Fra 1995 til 1997 stiger oppumpningen til næsten 1,6 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter flader oppumpningen til et niveau lidt under 1 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001. I perioden 1997 til 2001 er en del af oppumpningen afværgepumpning.

##### **Udvikling i vandspejlskoten: U 436.**

Der ses generelt store udsving i starten af indvindingsperioden, dog ses et fald fra kote 20 m til kote 10 i perioden 1926 til 1935. I 1946-47 er vandspejlet beliggende lidt under kote 17 m. Herefter falder vandspejlet til lidt over kote 10 m. Fra 1970 til 1996 ses en svag stigning til lidt over kote 16 m. I 1996 falder vandspejlet stejlt til omkring kote 15 m, hvorefter vandspejlet igen stiger til et nuværende niveau omkring kote 13 m.

##### **Grundvandstype: Grundvandstype 5**

##### **Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde konstant niveau omkring 24 mg/l frem til 1973. Herefter ses en svag stigning til omkring 40 mg/l i 2001, med en enkel top i 1992 på 56 mg/l. Dette giver en stigningsrate på omkring 0,6 mg/l pr. år fra 1973 til 2001.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større udsving sammenlignet med klorid i starten af indvindingsperioden, men har et nogenlunde konstant niveau på 20 mg/l.

**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:****Sammenfatning:**

Kloridindholdet stiger svagt fra 1978 frem til i dag. Denne udvikling er dog ikke sammenfaldende med udviklingen i vandspejlet i samme periode. Derimod er påbegyndelsen i stigningen i klorid sammenfaldende med etableringen af to nye borer i 1978. Etableringen af den dybe boring i 1995 som påtræffer Skrivekridt påvirker tilsyneladende ikke udviklingen i saltholdigheden. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

**St. Vejleå Kildeplads****Boreddybder af indvindingsboringer:**

Kildepladsen har 8 Indvindingsboringer (heraf ingen i drift) med dybden 12,5 – 16 meter.

**Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af borerne har tilsyneladende gennemboret bryozokalken, men skrivekridtet påtræffes højt beliggende et par km syd for kildepladsen.

**Påbegyndelse af oppumpning:** 1948**Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

I 1956 og 1967 etableres nye borer på henholdsvis 14 og 16 meters dybde. Af disse to borer eksisterer kun boringen fra 1956 i dag.

**Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 til 1982 falder indvindingsmængden gradvist fra 1 til omkring 0,6 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter stiger indvindingen til 1,6 mio. m<sup>3</sup>/år i 1984. Fra 1986 til 1989 falder indvindingen brat til nul. I perioden 1989 til 1992 er indvindingen nul på kildepladsen. Fra 1993 stiger oppumpningen brat til omkring 1,5 mio. m<sup>3</sup>/år i 1995. Derefter ses et svagt fald til 1,3 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001. I perioden 1993 til 2001 foretages kun afværgepumpning på kildepladsen.

**Udvikling i vandspejlskoten:** U 958.

I 1948 falder vandspejlet fra omkring kote 3 m til kote -1 m. I 1948-79 svinger vandspejlet omkring kote 0 m. Herefter siger vandspejlet til et nuværende niveau omkring kote 2 m.

**Grundvandstype:** Grundvandstype 5

Har et generelt højt sulfatindhold på over 200 mg/l

**Udvikling i klorid:**

Blandingsvandets kloridindhold viser et nogenlunde konstant niveau omkring 50 mg/l fra 1951 til 1974. Herefter ses en stejl stigning til 164 mg/l i 1979. Dette svarer til en stigningsrate på 22,8 mg/l/år. Efterfølgende er kloridkoncentrationen faldet til 122 mg/l i 1986.

#### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser store udsving: I perioden 1955-60 stiger natrium fra 25 til 150 mg/l. Hvorefter den falder igen til 20 mg/l i 1965. Fra 1973 til 1983 stiger natriumindholdet til omkring 90 mg/l, men falder igen til størrelsesordenen 60 mg/l i 1986. Natrium udviser tegn på ionbytning.

#### **Sammenfatning:**

Stigningen i klorid i 1974 er ikke sammenfaldende med etableringen af nye boringer. Udviklingen i kloridindholdet afspejler heller ikke udviklingen i vandspejlet. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

### **Tåstrup-Valby Kildeplads**

#### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 15 indvindingsboringer (heraf 7 i drift) på omkring 20 meters dybde.

#### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af boringerne har tilsyneladende gennemboret bryozokalken, men skrivekridtet påtræffes højt beliggende et par km syd for kildepladsen.

#### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1919

#### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

#### **Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 til 1986 er oppumpningen nogenlunde konstant omkring 1,5 mio. m<sup>3</sup>/år. Herefter falder oppumpningen brat til næsten nul i 1992. Fra 1992 stiger oppumpningen brat til omkring 0,8 mio. m<sup>3</sup>/år i 1995. Derefter ses et svagt fald til cirka 0,6 mio. m<sup>3</sup>/år i 2001. I perioden 1992 til 2001 er en del af oppumpningen afværgepumpning.

#### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 259.

Fra 1919 til 1925 falder vandspejlet generelt fra omkring kote 11 til kote 5 m. Herefter stiger vandspejlet til omkring kote 9 m i 1928. Derefter falder vandspejlet igen til et stabilt niveau omkring kote 5 m. Siden 1980 ses en stigning i vandspejlet til et nuværende niveau på lidt under kote 10 m.

#### **Grundvandstype:** Grundvandstype 5

Har udviklet sig fra grundvandstype 6 til 7 i løbet af indvindingsperioden

#### **Udvikling i klorid:**

Fra 1940 til 1965 viser blandingsvandets kloridindhold et nogenlunde konstant niveau omkring 40 mg/l. Herefter ses en generel stigning til omkring 80 mg/l i 1992, dog med et kortvarigt fald til 43 mg/l i 1987. Dette svarer til en gennemsnitlig stigningsrate på 1,5 mg/l pr. år. Fra 1992 er kloridkoncentrationen faldet til et nuværende niveau på 55 mg/l.

#### **Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser store udsving: I perioden 1940-45 falder natrium fra omkring 80 til 10 mg/l. Hvorefter den i 1946 stiger til størrelsesordenen 30 mg/l. I henholdsvis 1961 og 1980 ses toppe i natriumindholdet på 68 og 78 mg/l. Natrium udviser kraftige tegn på ionbytning.

#### **Sammenfatning:**

Udviklingen i kloridindholdet afspejler ikke udviklingen i vandspejlet. Kildepladsen viser derfor, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.

## **Vallensbæk Kildeplads**

#### **Boreddybder af indvindingsboringer:**

Der er i alt 10 indvindingsboringer med dybden 18 - 33 meter.

#### **Type af kalkmagasin:** Danienkalk

Ingen af borerne har tilsyneladende gennemboret Bryozokalken, men Skrivekridtet påtræffes højt beliggende cirka 3 km syd og øst for kildepladsen.

#### **Påbegyndelse af oppumpning:**

1948

#### **Driftmæssige ændringer på kildepladsen:**

Der etableres to boringer på omkring 30 meter i 1964.

#### **Udvikling i indvindingsmængde:**

I perioden 1980 til 1991 er oppumpningen nogenlunde konstant omkring 0,5 mio. m<sup>3</sup>/år. I årene 1992 – 93 er oppumpningen næsten nul. Herefter den til omkring 0,4 mio. m<sup>3</sup>/år i 1994. Fra 1994 ses et fald til et nuværende niveau omkring 0,12 mio. m<sup>3</sup>/år. Fra 1997 er al oppumpning afværgepumpning.

#### **Udvikling i vandspejlskoten:** U 936.

I 1948 falder vandspejlet brat fra omkring kote 6 m til over kote 0 m. I perioden 1966 til 1968 stiger vandspejlet til omkring kote 5 m. Derefter falder vandspejlet igen til et stabilt niveau omkring lidt over kote 0 m. Siden omkring 1980 ses en generel stigning i vandspejlet til et nuværende niveau på lidt under kote 4 m.

#### **Grundvandstype:** Grundvandstype 5

#### **Udvikling i klorid:**

Fra 1951 til 1974 viser blandingsvandets kloridindhold et nogenlunde konstant niveau omkring 30 mg/l. Herefter ses jævn stigning til omkring 74 mg/l i 1995. Dette svarer til en stigningsrate på 2 mg/l pr. år i perioden 1974 til 1995.

**Udvikling i natrium:**

Blandingsvandets natriumindhold viser større udsving sammenlignet med kloridindholdet, men har et nogenlunde stabilt niveau omkring 20 mg/l. Fra omkring 1978 ses et svagt fald til en nuværende værdi på omkring 12 mg/l i 2000. Udviklingen i natrium viser tegn på ionbytning.

**Sammenfatning:**

Udviklingen i Kloridindholdet afspejler ikke udviklingen i vandspejlet. Udviklingen i natrium tyder på ionbytning. Kildepladsen viser, på det foreliggende grundlag, ingen sikre tegn på optrængende saltpåvirkning pga. øget oppumpning.