

Kerteminde Vandværk

Organisk stof - mængde, sammensætning og vækstpotentiale

Vibeke Ernstsén, Christian Nyrop Albers & Anders Risbjerg Johnsen

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
KLIMA-, ENERGI- OG BYGNINGSMINISTERIET



GEUS

Kerteminde Vandværk

Organisk stof - mængde, sammensætning og vækstpotentiale

Vibeke Ernsten, Christian Nyrop Albers & Anders Risbjerg Johnsen

Indholdsfortegnelse

Hovedkonklusioner	5
1. Sammen drag	6
2. Indledning	8
3. Aktive indvindingsboringer	9
4. Geologi	10
4.1 Overfladegeologi - GEUS's jordarter	10
4.2 Dybere geologi	10
4.3 Filtersætning i indvindingsboringer og geologiske forhold.....	12
5. Feltarbejde - indsamling af vandprøver	15
6. Analysemetoder	16
7. Indvindingsvandets alder og sammensætning	17
7.1 Vandets alder	17
7.2 Vandets kemiske sammensætning	17
7.2.1 Temperatur, ledningsevne og pH.....	18
7.2.2 Alkalinitet, calcium, magnesium, natrium og kalium.....	20
7.2.3 Sulfat, chlorid, iodid, bromid og fluor	21
7.2.4 Redoxfølsomme parametre inkl. jern og mangan.....	23
7.2.5 Kulstof – methan og opløst organisk stof (NVOC)	24
7.3 Multivariat statistik på kemiske parametre i indvindingsboringer	27
7.4 Konklusion og perspektiver.....	28
8. Oprensning og karakterisering af humusstoffer	29
8.1 Baggrund - hvad er humusstoffer?	29
8.2 Spektrofotometriske bestemmelser på ubehandlede prøver	31
8.3 Kvantificering og karakterisering af total humusstof.....	33
8.4 Resultater – kvantitativ bestemmelse af humusstoffer.....	33
8.5 Resultater – kvalitative karakteristika af humusstoffer og resterende organisk materiale	35

8.6	Konklusion og perspektiver på humus-undersøgelserne.....	38
9.	Kimtællingsmetoden	39
9.1	Introduktion til metode.....	39
9.2	Kimtal.....	39
9.3	Konklusion og perspektiver	44
10.	Referencer	45
	Bilag 1. Projektbeskrivelse	46
	Bilag 2. Feltarbejde og indsamling af vandprøver	47
	Bilag 3. Kemiske vandanalyser – inkl. Jupiter databasen	50
	Bilag 4. Analysemetoder til bestemmelse af organiske forbindelser	53
	Bilag 5. Protokol til måling af kimtalsudvikling i drikkevandsprøver	56
	Bilag 6. Borebeskrivelser	58
	Bilag 7. Vandkemi over tid i indvindingsboringer	74
	Bilag 8. Mechlorprop over tid i indvindingsboringer	79
	Bilag 9. Pejledata i indvindingsboringer	84

Hovedkonklusioner

- Indvindingsboringerne er ikke filtersat i et og samme sammenhængende sand- og gruslag.
- Indvindingsvandet indeholder typisk mellem 3 og 5 mg/L NVOC. Koncentrationen af NVOC i de enkelte indvindingsboringer er nogenlunde konstant over tid, når der ses bort fra fejlanalyser /indskrivningsfejl.
- Indvindingsvandets indhold af jern og mangan fjernes effektivt under vandbehandlingen på vandværket.
- Indvindingsvandets farve i de i projektet undersøgte otte indvindingsboringer skyldes derfor ikke jern og mangan men humusstof, der domineres af fulvosyre. Humusstofferne er ikke sundhedsskadelige.
- Antallet af bakterier (kim) afhæng ikke af vandets indhold af organisk stof (NVOC).
- Kun en meget lille del af vandets indhold af NVOC omsættes af bakterierne.
- Såvel farvetal, indhold af humusstof og NVOC er højest i boringer tæt på vandværket og det anbefales, at indvinde mest muligt fra de sydligste boringer (felt 3).

På denne baggrund burde det ikke være et problem for Kerteminde Vandværk at få tilladelse fra Kerteminde Kommune til at have forhøjede farvetal, da humusstof er hovedårsagen hertil. Den tidligere bekendtgørelse nr. 871 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg fra 2001 gav mulighed for afgangsvand med højere farvetal når det skyldtes humusstoffer. Det skal dog bemærkes at bekendtgørelse nr. 1024 fra 2011 ikke giver samme mulighed for forhøjede farvetal ved forhøjede indhold af humusstoffer. Årsagen hertil kendes p.t. ikke.

1. Sammendrag

Projektet

Kerteminde Forsyning A/S – Vand har gennem en årrække haft problemer med at overholde kravene til farvetal og indhold af NVOC for det vand der distribueres til brugerne. En række detaljerede undersøgelser af farvetallet er gennemført af Kenneth Nikolajsen og beskrevet i rapporten *Farvetalsprojekt* (Nikolajsen, 2010), der blev afsluttet i 2010.

Kerteminde Forsyning A/S – Vand har ønsket *Farvetalsprojektet* suppleret med en undersøgelse og beskrivelse af vandets indhold af organisk stof i indvindingsvandet, herunder en beskrivelse af vandets kemiske sammensætning, sammensætningen af det organisk stof samt potentialet for mikrobiologisk vækst i vand fra de borer, der i dag benyttes af Kerteminde Forsyning – Vand. Desuden undersøges prøver af indgangsvand samt det behandlede vand (afgangsvand), der distribueres til forbrugerne.

Geologiske forhold

Borebeskrivelserne for de otte indvindingsboringer viser at de sand- og gruslag hvorfra der sker indvinding af vand ligger i forskellig kote og fremstår med meget forskellig mægtighed. I de to nordligste borer ligger sandlagene ret tynde (< 5 meter) mens sand/gruslaget er noget tykkere i de resterende seks borer. I to af borerne er sand/gruslaget antruffet i højere liggende kote end for de resterende 6 indvindingsboringer. Den eksisterende tolkning af de geologiske forhold i indvindingsområdet beskriver at alle otte borer, der ligger langs en ca. 2,5 km lang og NØ-SV-lig orienteret linje, indvinder vand fra et sammenhængende sand- og gruslag med varierende mægtighed. Resultaterne af de kemiske analyser tyder på at indvindingen ikke sker fra samme geologiske lag, hvor tre nordligste borer (felt 1) tættest på vandværket udviser et vis slægtskab med de to sydligere beliggende borer (felt 2). Borerne i felt 1 og 2 er adskilt fra de sydligste borer ved et bånd af sammenhængende ler og borerne her (felt 3) udgør et mindre og separat indvindingsområde.

Generel vandkemi

Vandet fra de otte indvindingsboringer fremstår med pH på lidt over 7. Vandet er reduceret og jern- (3-4 mg/L) og manganholdigt (ca. 0,2 mg/L). Såvel jern som mangan fjernes effektivt i forbindelse med vandbehandlingen på vandværket. Vandet er nitratfrit men indeholder lidt ammonium (ca. 0,5 mg/L), der i forbindelse med vandbehandlingen vil kunne iltes til nitrat med en slutkoncentration svarende til ca. 3 gange koncentrationen af ammonium. Ledningsevnen falder fra felt 1 til felt 2 og ledningsevnen aftager yderligere i det sydligste område, felt 3. Vandet har et forvittringsindex på 1,3-1,6, antagelig som følge af pyrit oxidation. Den typiske koncentration af calcium (omkring 150 mg/L) er stadig vel over de ca. 50 mg/L, der menes at være

kritisk for destabilisering af organiske stof. Koncentrationen af natrium er nogenlunde ens i vand fra felt 1 og felt 2, i det dog boring 137.971 er karakteriseret ved et højere indhold af natrium end de øvrige boringer. Boring 137.971 er ligeledes karakteriseret ved markant højere indhold af chlorid, iodid og bromid, der tyder på at vandet fra dette forholdsvis tynde og 100 % filtersatte sandlag, i højere grad er præget af marint påvirket vand end tilfældet er for de resterende boringer. En forklaring på disse forhøjede koncentrationer vil kræve en fornyet gennemgang af de geologiske forhold og indvindingsmønsteret for denne boring. Indholdet af opløst organisk stof (NVOC) er højest i felt 1 og den nordligste boring i felt 2 (> 4 mg/L) hvorefter koncentrationen aftager i den sydlige del af felt 2 (< 4 mg/L) og ligeledes lokalt indenfor felt 3 aftager fra 4 mg/L til 2,99 mg/L NVOC.

En statistisk analyse viser da også at det er koncentrationen af NVOC, chlorid og iodid samt ledningsevnen, der forklarer forskellene mellem boringerne.

Sammensætningen af organisk stof

Undersøgelserne af sammensætningen af det organiske stof viser at 1) knap halvdelen af det NVOC der findes i såvel råvand som behandlet vand består af humusstof, 2) at vandets farve hovedsageligt skyldes dets indhold af humusstof, 3) at humusfraktionen domineres af fulvosyre, og hvis der er lidt humussyre til stede, er dette sandsynligvis forsvundet under filtreringsprocessen, således at afgangsvandet ser ud til udelukkende at indeholde fulvosyre og 4) at såvel farve, NVOC som humusstof er mere udpræget i boringerne omkring selve vandværket (i felt 1) end især de tre sydlige boringer (felt 3).

Kimtal og vækstpotentiale

Alle vandprøver, bortset fra afgangsvandet, indeholdt methan. Koncentrationerne var dog lave, og den rest der eventuelt var til stede i vandet efter omrystning i laboratoriet vurderes næppe at have influeret på bakterievæksten i kimtalsforsøget.

Vandprøver fra indvindingsboringerne samt indløbs- og afgangsvand blev testet for fremvækst af kim som beskrevet i DS/EN ISO 6222 (2000). De fleste vandprøver viste et maksimalt kimalt på 10^4 til 10^5 CFU/ml. Der var ingen sammenhæng mellem indvindingsvandets indhold af NVOC og maksimalt kimalt, og boringer med samme kemiske sammensætning gav meget forskellige kimalt. NVOC-forbrug til kimvækst udgjorde kun fra 0,1 til 7 procent af den målte NVOC-fjernelse. Det vil sige at NVOC blev fjernet hovedsageligt ved en rent fysisk-kemisk proces, sandsynligvis ved binding under udfældning af jernoxider under beluftningen. Det meste NVOC var ikke-reaktivt og kunne ikke indgå i bakteriernes stofskifte. Dette forklarer hvorfor der ikke er nogen sammenhæng mellem total NVOC og de maksimale kimalt. Tilsætning af ekstra jern(II) inden beluftningen havde således ingen effekt på fremvæksten af kim.

2. Indledning

Baggrund:

Kerteminde Forsyning A/S – Vand har gennem en årrække haft problemer med at overholde kravene til farvetal og indhold af NVOC for det vand der distribueres til brugerne. En række detaljerede undersøgelser af farvetallet er gennemført af Kenneth Nikolajsen og beskrevet i rapporten *Farvetalsprojekt* (Nikolajsen, 2010), der blev afsluttet i 2010.

Kerteminde Forsyning A/S – Vand har ønsket *Farvetalsprojektet* suppleret med en undersøgelse og beskrivelse af vandets indhold af organisk stof i indvindingsvandet, herunder en beskrivelse af vandets kemiske sammensætning, sammensætningen af organisk stof samt potentialet for mikrobiologisk vækst i vand fra de borer, der i dag benyttes af Kerteminde Forsyning A/S – Vand. Desuden undersøges prøver af indgangsvand samt det behandlede vand (afgangsvand), der distribueres til forbrugerne.

Ifølge den oprindelige projektbeskrivelse er projektet opdelt i følgende aktiviteter:

- Beskrivelse af geologien i de anvendte borer (8-10 stk.) baseret på oplysninger fra Jupiter databasen
- En beskrivelse af vandets kemiske sammensætning i anvendte borer baseret på oplysninger fra Jupiter databasen.
- GEUS indsamler vandprøver fra aktive borer samt indløbs- og udløbsvand til laboratorieundersøgelser.
- Analyser af vandets makrokemiske sammensætning og bl.a. jern og mangan, pH, ledningsevne og NVOC i vand fra anvendte borer samt indløbs- og udløbsvand.
- Undersøgelser af sammensætningen af organiske forbindelser i vand fra aktive borer. Dette vil blive udført dels ved spektrofotometrisk analyse af råvandet, dels ved ekstraktion af humusstoffer og efterfølgende spektrofotometrisk analyse af denne organiske fraktion.
- Undersøgelser af potentialet for vækst i vand fra aktive borer samt indløbs- og udløbsvand. Vandprøverne inkuberes ved 15 °C. Kimtal bestemmes som dybdeudlæg i gærekstraktager ved temperaturer (22 °C og 37 °C) som beskrevet i DS/EN ISO 6222 (2000).
- Resultaterne baseret på dels eksisterende data vedr. geologi og makrokemi (JUPITER databasen) dels indsamlet i forbindelse med nærværende undersøgelsesresultater af vandprøver sammenstilles i en rapport.
- Resultaterne samt undersøgelsens hovedkonklusioner præsenteres på et møde på Kerteminde Forsyning A/S – Vand.

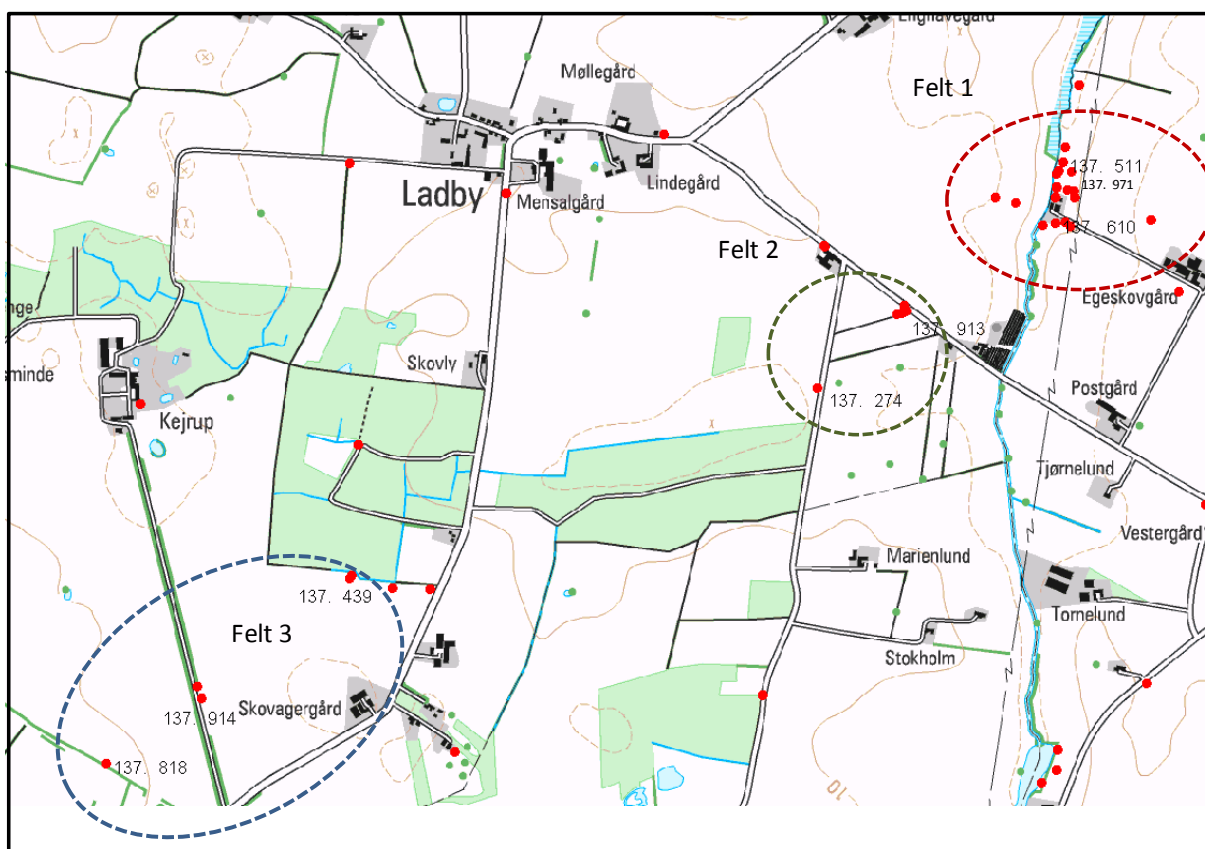
Hele beskrivelsen af projektet fremgår af bilag 1.

Desuden findes, efter henvendelse fra Kerteminde Forsyning A/S – Vand, data fra Jupiter databasen vedrørende mechlorprop og pejladata sammenstillet i henholdsvis bilag 8 og bilag 9.

Disse data er i øvrigt ikke inddraget i projektet.

3. Aktive indvindingsboringer

Denne undersøgelse omfatter otte indvindingsboringer som Kerteminde Forsyning A/S – Vand indvinder vand fra. Boringerne ligger fordelt indenfor tre felter, figur 1. Felt 1 omfatter boringerne DGU arkiv nr. 137.511, 137.610 og 137.971, felt 2 boringerne DGU arkiv nr. 137.274 og 137.913 og felt 3 boringerne 137.439, 137.818 og 137.914. Boringerne ligger langs en ca. 2,5 km lang linje syd-sydvest for Kerteminde vandværk.

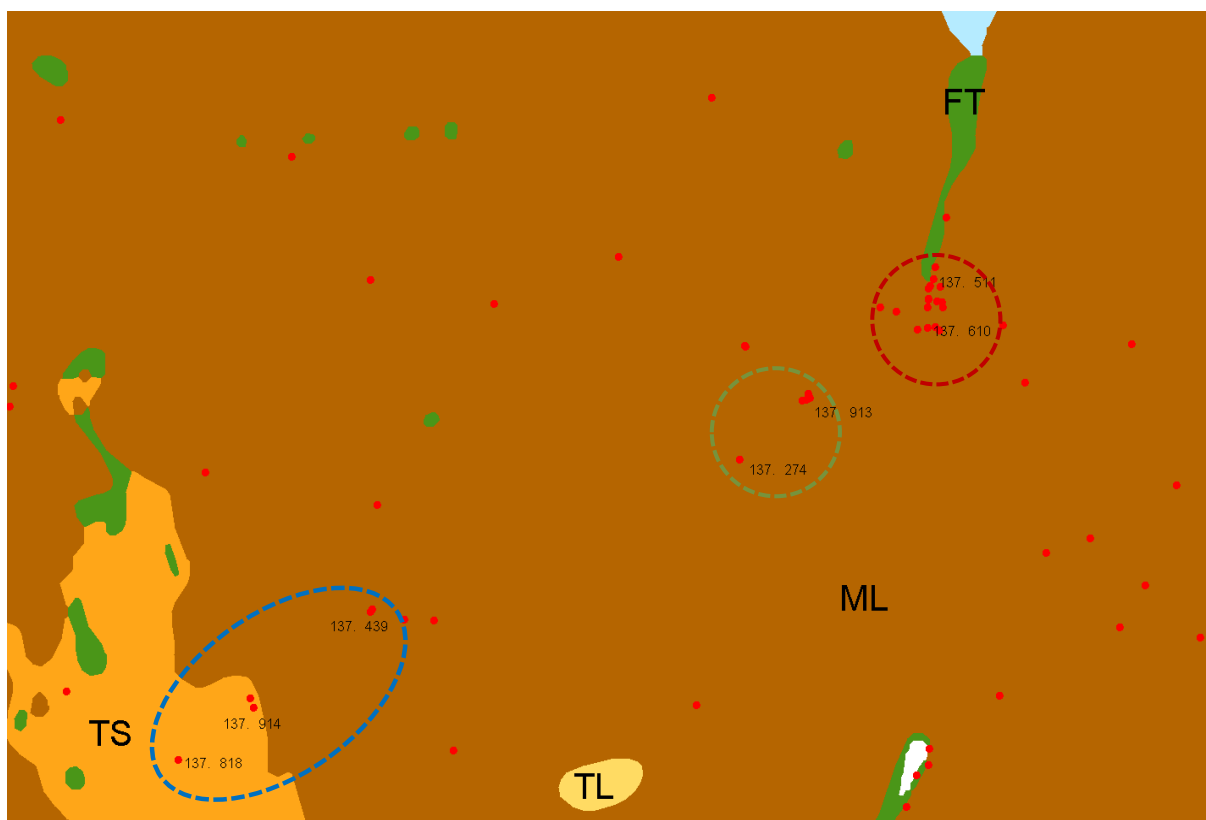


Figur 1. Boringer som Kerteminde Forsyning A/S – Vand indvinder vand fra. Boringerne er opdelt på felt 1 (rød cirkel), felt 2 (olivengrøn cirkel) og felt 3 (blå cirkel).

4. Geologi

4.1 Overfladegeologi - GEUS's jordarter

I følge GEUS's jordartskort findes der nord for felt 1, i lavningen omkring Vejleløb, et område domineret af ferskvandstørv, figur 2. Områderne med felt 1 og felt 2 samt den nordligste boring i felt 3 er domineret af moræneler mens de overfladenære jordarter i den sydlige del af felt 3 er domineret af ferskvandssand.



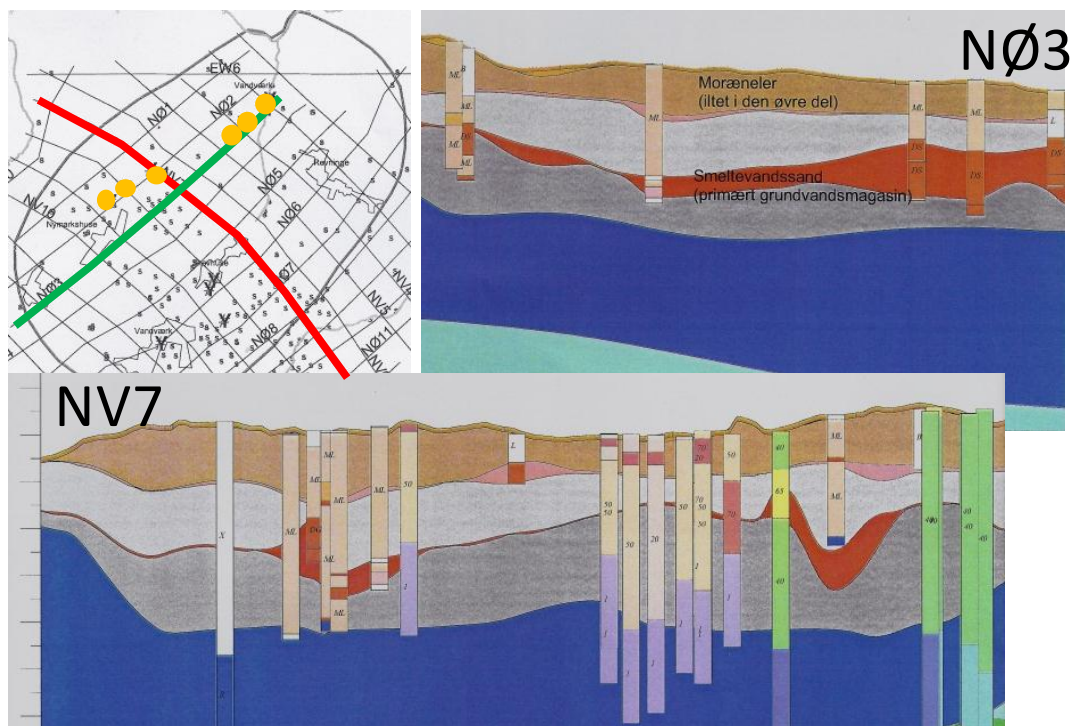
Figur 2. Overfladenære jordarter ifølge GEUS's jordartskort med felt 1 (rød cirkel), felt 2 (olivengrøn cirkel) og felt 3 (blå cirkel). Den grønne farve med FT er ferskvandstørv, den brune farve med ML er moræneler og det orange område med TS er ferskvandssand.

4.2 Dybere geologi

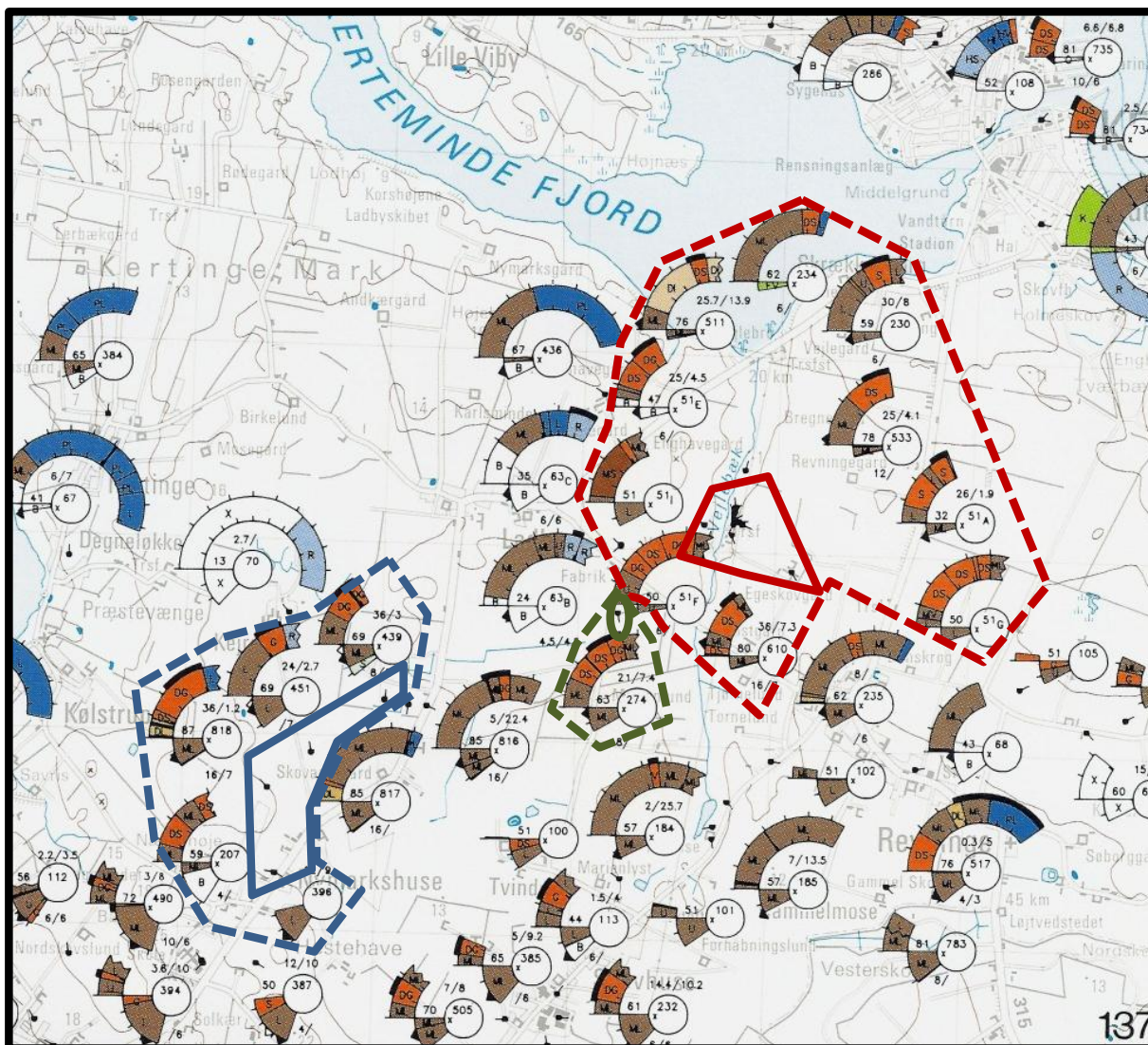
De geologiske forhold i de underliggende, dybere jordlag er indgående beskrevet af Hedeselskabet (2004) i forbindelse med kortlægningen af indsatsområde Kerteminde. Hedeselskabet beskriver den geologiske opbygning i området ved et forholdsvis tykt lag moræneler over et

sand- og gruslag (det primære magasin) hvorfra der indvindes vand, figur 3. Under grundvandsmagasinet følger en kompakt moræneler og dernæst udbredte lag af først kerteminde-mergel og dernæst grøndsandskalk. Den opstillede geologiske model beskriver en god kontakt mellem de enkelte dele af det sandlag hvorfra Kerteminde Forsyning A/S – Vand indvinder vand fra.

De kemiske analyser af vandprøver fra indvindingsboringerne (se afsnit 7) tyder imidlertid på at indvindingen af vand ikke foregår fra et og samme sand- og gruslag. Således viser en gennemgang af det geologiske basisdatakort for området (kortblad 1313 II Kerteminde, 1992) da også at felterne 1 og 2 er adskilt fra felt 3 ved et bånd af sammenhængende ler, figur 4.



Figur 3. To tolkede geologiske profiler fra indsatsområde Kerteminde. På kortet, der er indsat øverst til venstre, ses profil NØ3 som en grøn linje, NV7 som en rød linjekort og boringer som orange cirkler. I profilerne er moræneler vist ved en brun farve, sandet moræneler ved en grå farve, smeltevandssand (det primære magasin) ved rødt farve, kompakt moræneler ved en mørkegrå farve, kerteminde-mergel ved mørkeblå farve og grøndsandskalk ved klorgrøn farve (Hedeselskabet, 2004).



Figur 4. Udsnit af geologisk basisdatakort 1313 II Kerteminde (DGU, 1978) med indvindingsboringer i felt 1 (rød farve), felt 2 (olivengrøn farve) og felt 3 (blå farve). Den massive linje afgrænser boringerne ved deres beliggenhed mens den stiplede linje afgrænser de tilhørende cirkelbeskrivelser.

4.3 Filtersætning i indvindingsboringer og geologiske forhold

Tabel 1 giver oplysninger om bl.a. koter samt dybder for placering og længde af filterne i alle otte indvindingsboringer. Toppen af filteret i seks af indvindingsboringerne er placeret 21-23 meter under terræn, mens det i boring 137.610 er placeret tættere på overfladen (i 16 meter under overfladen) og i boring 137.913 noget dybere (i 31 meter under overfladen).

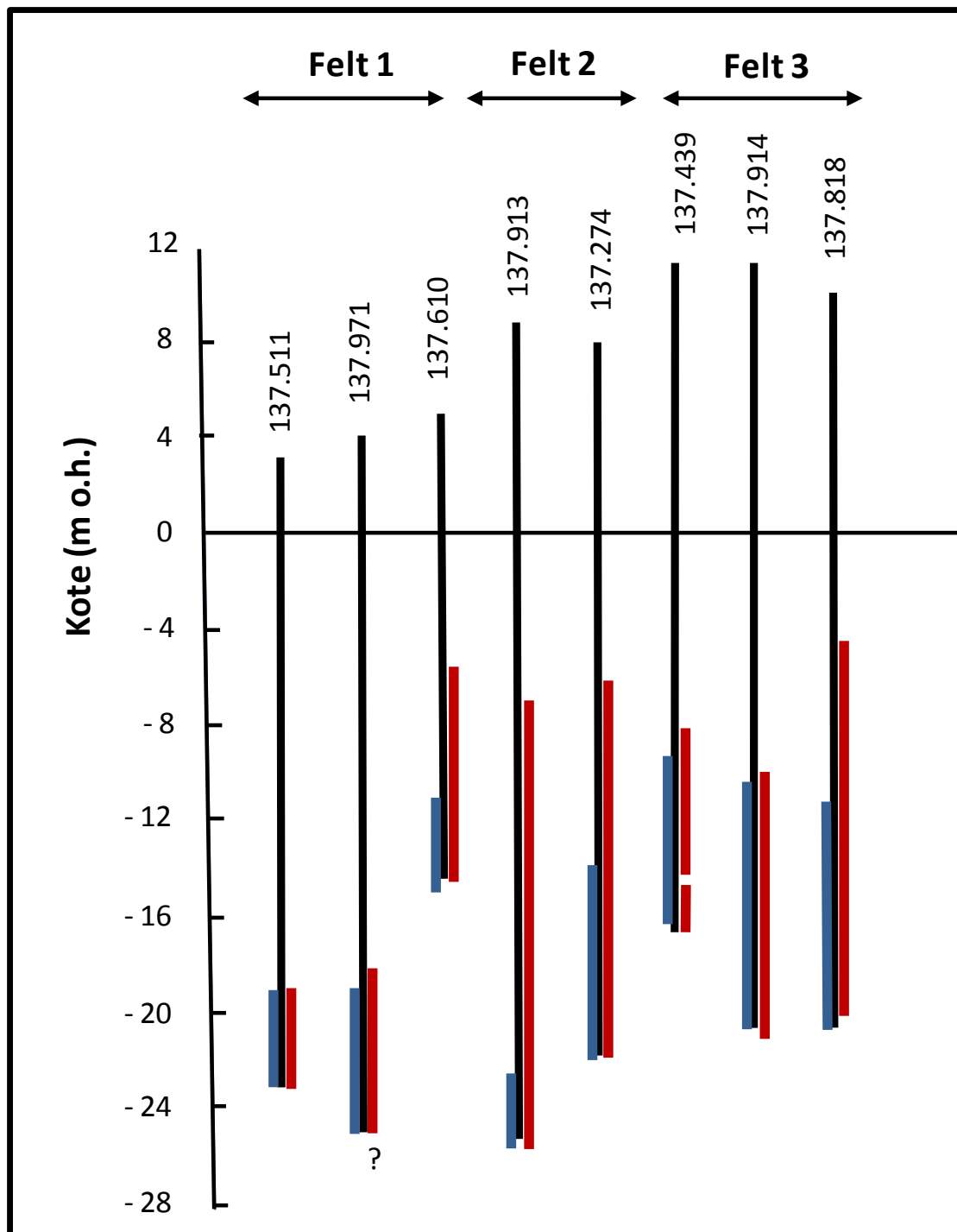
Koten for toppen af filterne, der fremkommer når der tages hensyn til ændringer i terrænkoten, viser at der forekommer en betydelig variation. I felt 1 begynder indvindingen i kote -12

og -19 meter, i felt 2 nogenlunde tilsvarende, kote -14 og - 23 meter, og i felt 3 i kote -10 til -12 meter.

Længden af filtrene i de enkelte indvindingsboringer varierer en del, fra 4 til 10 meter. I nogle indvindingsboringer (137.511, 137.971, 137.439 og 137.914) er det ensbetydende med at hele sand/grus laget er filtersat mens det i resterende boringer blot er en mindre del af sand/grus laget, der er filtersat, figur 5.

Tabel 1. Koter samt placeringen af filtrene i alle otte indvindingsboringer.

Mærkning	Kote m o.h.	Filterdybde m u.t.	Filterlængde M	Filtertop m u.t.	Filtertopkote m o.h.	Filterinterval m o.h.
137.511	3,3	22-26	4	22	-19	-19 til -23
137.971	3,9	23-27 & 27-29	6	23	-19	-19 til -25
137.610	4,5	16-20	4	16	-12	-12 til -16
137.913	8,5	31-34	3	31	-23	-23 til -27
137.274	8	21,5-29,5	8	22	-14	-14 til -22
137.439	11	20,5-27,5	7	21	-10	-10 til -17
137.914	11	21,5-31,5	10	22	-11	-11 til -22
137.818	9,5	21-30	9	21	-12	-12 til -21



Figur 5. De 8 indvindingsboringer med sand- og gruslag (rød farve) og filtre (blå farve). For samtlige boringer, på nær boring 137.971, findes lerholdige sedimenter over og under sand- og gruslaget. De geologiske forhold under det filtersatte lag er ikke beskrevet for boring 137.971, men det må antages at det drejer sig om lerholdige sedimenter, hvorfra der ikke kan udvindes vand.

5. Feltarbejde - indsamling af vandprøver

I forbindelse med planlægningen af projektet fremsendte Kerteminde Forsyning A/S – Vand oplysninger om de borer, der i dag anvendes til indvinding af grundvand. Den 13. februar 2012 blev der indsamlet vandprøver fra disse borer samt indgangs- og afgangsvand på Kerteminde vandværk, figur 6. En detaljeret beskrivelse af feltarbejde inkl. prøvetyper, beskrivelse af feltmålinger, resultater samt billeder findes i bilag 2.



Figur 6. Indsamling af vandprøver den 13. februar 2012. Der blev udtaget vandprøver fra aktive indvindingsboringer samt indgangs- og afgangsvand på vandværket. Flere billeder findes i bilag 2.

6. Analysemetoder

Temperatur, ledningsevne og pH er målt i felten ved brug af WTW instrumenter, der forud for måling blev kalibreret.

Indholdet af methan er bestemt efter at vandprøven var rystet med helium i laboratoriet. Herefter blev en delmængde udtaget til analyse på en gaskromatograf med FID-detektor.

Vandprøvernes indhold af kationer (Ca, Mg, K og Na) og anioner (Cl, NO₃, SO₄, Br og F) er bestemt ved ionchromatografi. Iodid er ligeledes bestemt ved ionchromatografi men med elektrokemisk detektion, Fe og Mn er bestemt ved atomabsorptionsspektrometri (AAS), NH₄ er bestemt ved flow injection analyser og NO₂ og PO₄ er bestemt ved spektrometri. Indholdet af NVOC er bestemt ved brug af instrumentet Total Organic Carbon Analyzer.

Karakterisering af det organiske stof og dets bestanddele er foretaget ved spektrofometrisk analyse samt metode 5510C *XAD metoden* (Eaton et al., 1995). Begge metoder findes beskrevet i bilag 4.

De mikrobiologiske undersøgelser er gennemført i henhold til DS/EN ISO 6222 *Vandundersøgelse. Bestemmelse af antal mikroorganismer i gærestrakagar ved 22° og 36° C*. Undersøgelsesmetoden er desuden beskrevet i bilag 5.

7. Indvindingsvandets alder og sammensætning

7.1 Vandets alder

Når vi nu alligevel var på stedet blev der, som supplement til det aftalte analyseprogram, indsamlet ekstra vandprøver fra indvindingsboringerne til aldersdatering ved CFC metoden. Der var tidligere foretaget aldersdateringer i KERNOXY-projektet og resultaterne herfra viste at vandet fra boringerne var gammelt (>40 år)(Jacobsen et al., 2006). I denne undersøgelse skulle de supplerende CFC-analyser tjene til at bekræfte at det indvundne vand stadig var gammelt, og som det fremgår af tabel 2, er dette tilfældet.

Det skal dog pointeres, at den ved CFC metoden bestemte alder kan anvendes som udtryk for det tidspunkt hvor vandet begyndte at strømme fra jordoverfladen og ned mod grundvandsmagasinet, men samme alder kan også fremkomme ved at gammelt vand opblandes med yngre vand og dermed være udtryk for en form for "gennemsnitsalder". Som eksempel kan en aldersbestemmelse på 50 år være resultatet af at 10 % vand med alder på 10 år blandes med 90 % gammelt vand, der er dannet af nedbør fra før brugen af CFC for alvor tog fart (dvs. mere end 70 år gammelt).

Tabel 2. Indvindingsboringer med alder som bestemt i KERNOXY projektet (Jacobsen et al., 2006) og i denne undersøgelse.

Boring (DGU arkiv nr.)	Alder (år)	
	KERNOXY projektet	Dette projekt
137.511	>65	50-60
137.971	60	50-60
137.610	62	50-60
137.913	63	50-60
137.274	63	50-60
137.439	53	50-60
137.914	46	40-50
137.818	45	40-50

7.2 Vandets kemiske sammensætning

De kemiske analyser af vandprøverne, tabel 3, viser at sammensætningen i de i projektet anvendte vandprøver til brug for de detaljerede studie af organisk stof og mikrobielle forhold.

Resultaterne er sammenstillet med analyseresultater fra Jupiter databasen og viser at de er typiske for de enkelte indvindingsboringer, bilag 3.

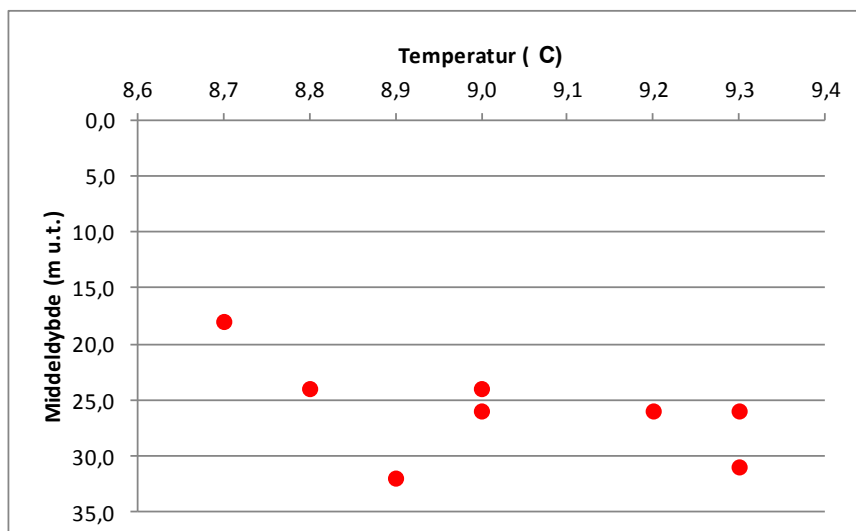
I bilag 7 findes for udvalgte parametre (Ca, Na, Fe, Mn, Cl, SO₄, og NVOC) tidsserier for fem af de otte indvindingsboringer. For de resterende tre boringer, 137.913, 137.914 og 137.971, findes kun resultater fra ganske få prøvetagningsrunder og det har derfor ikke været muligt at vise den tidlige udvikling.

Tabel 3. Analyseresultater for vandprøver udtaget fra indvindingsboringer og på Kerteminde Vandværk (indgang og afgangsvand).

Lab. nr.	Prøve DGU nr.	Temp °C	Ledningsevne µS/cm	pH	DOC mg C/L	Methan mg/L				
120183	Indgang værk	8,8	1021	7,18	4,33	0,03				
120184	Afgang værk	8,0	969	7,53	3,47	0,00				
120185	137.511	9,0	1048	7,14	4,46	0,02				
120186	137.971	9,2	1172	7,20	4,84	0,03				
120187	137.610	8,7	1090	7,14	4,61	0,04				
120188	137.913	8,9	1010	7,15	4,42	0,03				
120189	137.274	9,0	1023	7,10	3,60	0,03				
120190	137.439	8,8	949	7,21	4,01	0,03				
120191	137.914	9,3	963	7,13	3,63	0,02				
120192	137.818	9,3	958	7,18	2,99	0,02				
Lab. nr.	Prøve DGU nr.	Alk meg/L	Cl mg/L	NO3 mg/L	NO2 mg/L	PO4 mg/L	SO4 mg/L	Br mg/L	F mg/L	I µg/L
120183	Indgang værk	5,56	66	0,07	<0,01	0,00	165	0,16	0,32	8,5
120184	Afgang værk	5,63	64	1,13	<0,01	0,00	166	0,17	0,25	0,7
120185	137.511	6,36	74	0,01	<0,01	0,04	196	0,23	0,37	9,8
120186	137.971	6,82	94	0,01	<0,01	0,05	161	0,31	0,36	21,3
120187	137.610	6,24	69	0,01	<0,01	0,00	202	0,23	0,32	12,7
120188	137.913	5,95	63	0,01	<0,01	0,06	159	0,22	0,31	7,8
120189	137.274	6,22	68	0,01	<0,01	0,06	157	0,18	0,33	7,2
120190	137.439	5,39	62	0,01	<0,01	0,06	171	0,18	0,25	7,8
120191	137.914	5,51	61	0,00	<0,01	0,07	175	0,19	0,23	7,6
120192	137.818	5,32	64	0,01	<0,01	0,07	160	0,23	0,21	8,5
Lab. nr.	Prøve DGU nr.	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	NH4 mg/L	Forvittrings- index	
120183	Indgang værk	151	17,1	4,02	51	4,27	0,25	0,47	1,6	
120184	Afgang værk	150	14,5	3,73	47	0,00	0,00	0,00	1,5	
120185	137.511	145	17,1	4,14	62	4,51	0,25	0,50	1,4	
120186	137.971	148	15,5	4,28	87	4,50	0,25	0,54	1,3	
120187	137.610	162	18,1	4,01	53	5,16	0,27	0,49	1,5	
120188	137.913	150	16,6	3,91	49	4,79	0,26	0,46	1,5	
120189	137.274	144	17,7	4,3	54	4,24	0,23	0,47	1,4	
120190	137.439	146	13,6	3,4	40	3,86	0,20	0,50	1,6	
120191	137.914	152	12,9	3,47	40	3,77	0,23	0,42	1,6	
120192	137.818	150	12,2	3,63	43	2,99	0,16	0,29	1,6	

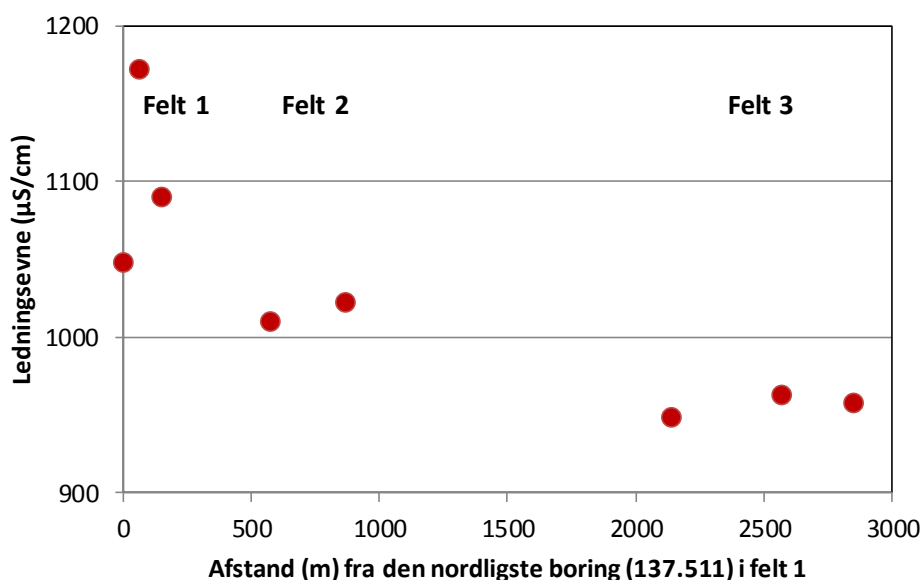
7.2.1 Temperatur, ledningsevne og pH

Temperaturen af vandet fra indvindingsboringerne er omkring 9 °C. Der synes ikke at være nogen sammenhæng mellem temperatur og dybden til filtertop, figur 7.



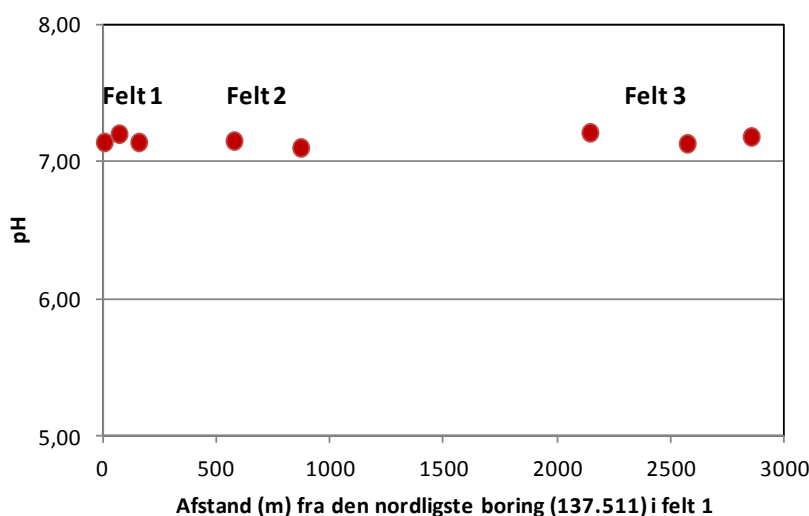
Figur 7. Vandets temperatur og middeldybden for filteret i de otte indvindingsboringer.

De højeste ledningsevner er målt i boringerne fra felt 1 hvor den maximale værdi ($1172 \mu\text{S}/\text{cm}$) er målt i vand fra boring 137.971 med et dybt filterindtag, figur 8. Til sammenligning er ledningsevnen i vand fra de forholdsvis tykke sandlag i felt 2 lavere (1010 og $1023 \mu\text{S}/\text{cm}$) og ledningsevnen falder yderligere i vand fra boringer i felt 3, til omkring $950 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ledningsevnen i indgangs- og afgangsvand, tabel 3, falder indenfor de for indvindingsboringernes målte værdier.



Figur 8. Ledningsevne i indvindingsvand fra boringer i felt 1-3. Til sammenligning er ledningsevnen i indgangs- og afgangsvand henholdsvis 1021 og $969 \mu\text{S}/\text{cm}$.

De målte pH-værdier i indvindingsvand fra de otte boringer varierer meget lidt (7,10-7,21), figur 9.



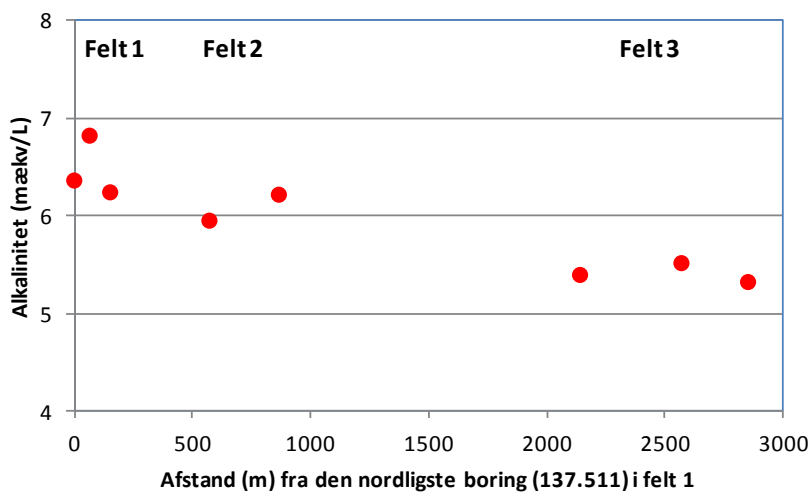
Figur 9. pH-værdier i indvindingsvand fra boringer i felt 1-3.

7.2.2 Alkalinitet, calcium, magnesium, natrium og kalium

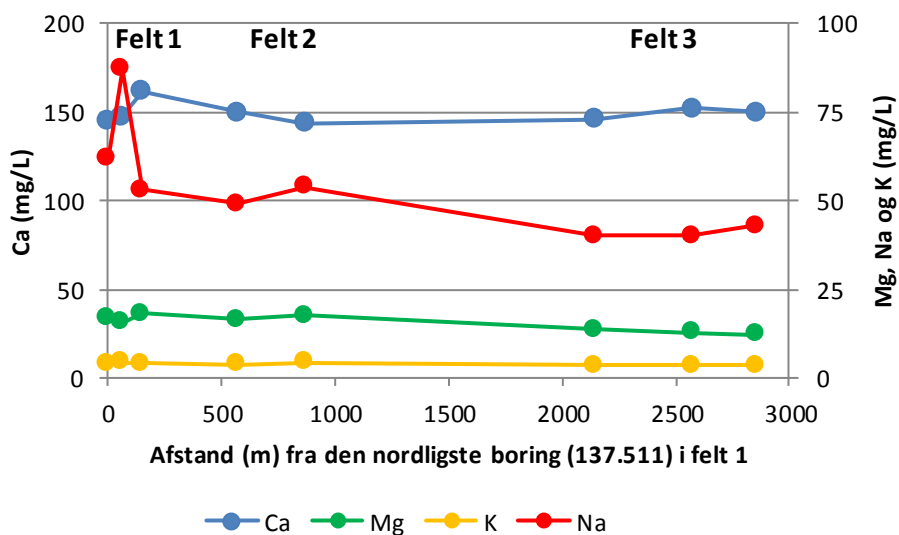
Alkaliniteten i vandet fra felterne 1 og 2 er, med undtagelse af boring 137. 971, på omkring 6 mækv/L. I boringen 137.971 er alkaliniteten tæt på 7. I felt 3 er alkaliniteten lavere end i felt 1 og 2 og ligger på 5.3 til 5.5 mækv./L.

Koncentrationen af kationer (calcium, magnesium, kalium og natrium) er vist i figur 11. Calcium er den dominerende kation og koncentrationen heraf er nogenlunde ens i alle boringer (144-160 mg/L). Natrium er den næst mest almindelige kation (40-87 mg/L) og udviser i modsætning til calcium nogen variation. Boring 137.971, der ligeledes har den højeste ledningsevne og alkalinitet, har en markant højere koncentration af natrium (87 mg/L) end de øvrige boringer. Desuden er koncentrationen af natrium lidt lavere (40-43 mg/L) i boringerne i felt 3 end i de to øvrige felter (49-62 mg/L). Koncentrationen af magnesium varierer mellem 16 og 18 mg/L i boringerne i felt 1 og 2 og er lidt lavere (12-14 mg/L) i felt 3. For kalium er variationen som beskrevet for magnesium, men dog med koncentrationer på 3,9 og 4,3 mg/L i felterne 1 og 2 og lidt lavere (3,4-3,6 mg/L) i felt 3.

Den tidlige udvikling i calcium og natrium er vist i bilag 7 for de fem boringer, hvor der foreligger måleresultater fra gentagne prøverunder og hvor det gav mening at lave tidsserier. Her ses ingen eller kun svage stigninger i indholdet af calcium og natrium over tid.



Figur 10. Alkalinitet i indvindingsvand fra boringer i felt 1-3.



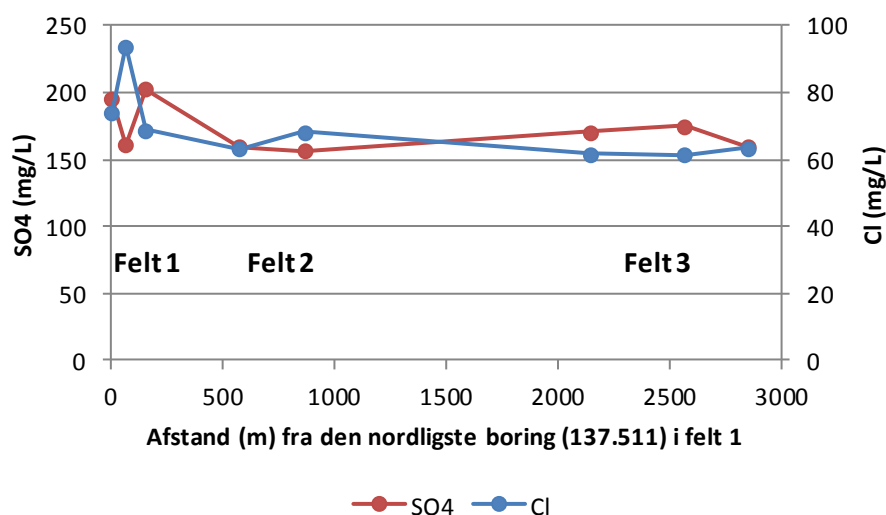
Figur 11. Calcium (Ca), magnesium (Mg), Natrium (Na) og kalium (K) i vand fra indvindingsboringer i felt 1-3. Den tidsmæssige udvikling for calcium og natrium fremgår af bilag 7.

7.2.3 Sulfat, chlorid, iodid, bromid og fluor

Nogle af de forskelle som er beskrevet for ledningsevne og nogle kationer ses også i fordelingen af chlorid og sulfat i vand fra indvindingsboringerne, figur 12. Koncentrationen af chlorid er

således højest i boring 137.971, der også har høje indhold af natrium og forholdsvis høj ledningsevne. I øvrigt er koncentrationen af chlorid lidt højere i felt 1 og 2 (63-74 mg/L) end i felt 3 (61-64 mg/L). I felt 1 er det forhøjede koncentrationer af sulfat (196 og 202 mg/L) der bidrager til de høje ledningsevner her. I de resterende borer er koncentrationen af sulfat nogenlunde ens (169-175 mg/L).

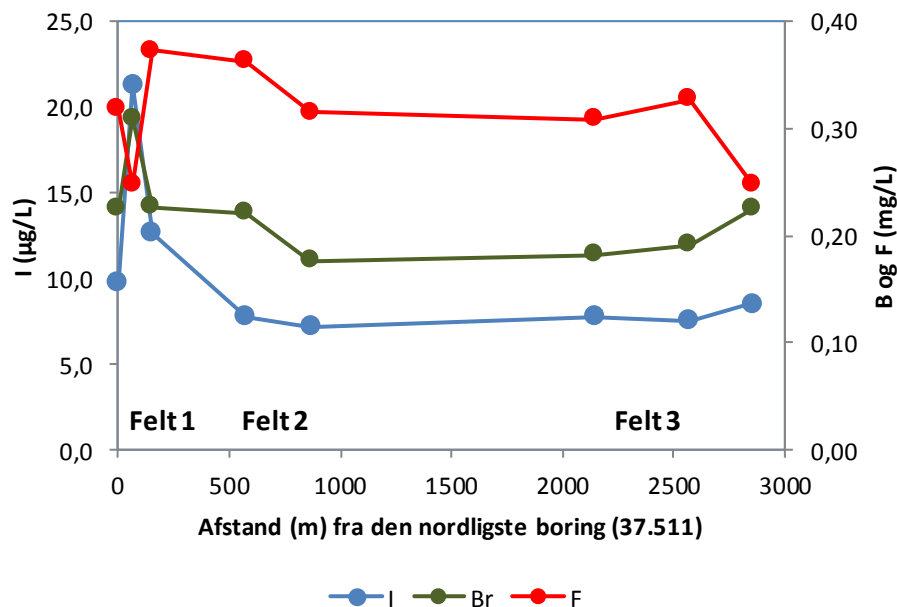
Som supplement til det i figur 12 viste øjeblicsbillede af chlorid og sulfat findes der i bilag 7 figurer, der viser den tidsmæssig udvikling i fem af de undersøgte borer. Heraf fremgår det at indholdet af chlorid har været svagt stigende i boring 137.274, 137.511 og 137.610, mens indholdet af chlorid i boring 137.439 og 137.818 nu er nogenlunde tilbage på det niveau vandet havde inden chlorid indholdet begyndte at stige. Indholdet af sulfat i vand fra boring 137.439 og 137.610 har været stigende over måleperioden, nogenlunde konstant - efter en kortvarig stigning – i vand fra 137.274, kraftig stigende for boring 137.511 og svagt faldende i vand fra boring 137.818.



Figur 12. Sulfat (SO₄) og chlorid (Cl) i indvindingsvand fra borer i felt 1-3. Den tidsmæssige udvikling af sulfat og chlorid fremgår af bilag 7.

Som supplement til de almindelige analyser af sulfat og chlorid, er indholdet af iodid, bromid og fluor ligeledes bestemt for måske derved bedre kunne beskrive og forstå resultaterne fra undersøgelserne af organisk stof og mikrobiologiske forhold. Resultaterne i figur 13 viser at der findes nogen variation i indholdet af iodid, bromid og fluor inden for de tre felter. Således toppes koncentrationerne af både iodid og bromid i boring 137.971, der ligeledes er karakteriseret ved en høj ledningsevne og høje koncentrationer af natrium og chlorid. Bemærkelsesværdigt er det, at koncentrationen af fluor i denne boring er forholdsvis lavt. Desuden er koncentrationen af iodid generelt højere i felt 1 end i felt 2 og 3 og dermed falder i stigende afstand fra

kysten. Med undtagelse af vandet i boring 137.971 og 137.818, så er forløbet for bromid og fluor nogenlunde ens og viser generelt aftagende koncentrationer i felt 2 og 3. Indholdet af fluor aftager yderligere i boring 137.818, hvor koncentrationen af bromid til gengæld ses at stige.

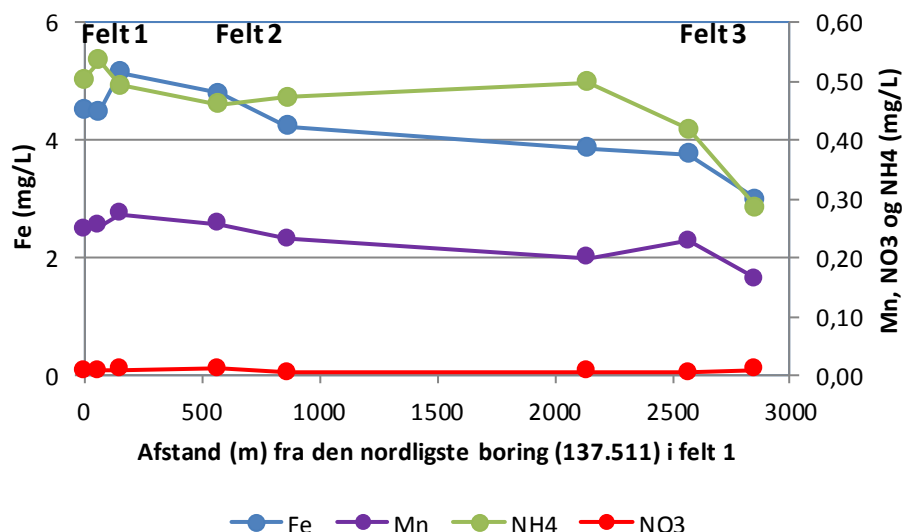


Figur 13. Iodid (I), bromid (Br) og fluor (F) i vand fra indvindingsboringer i felt 1- 3.

7.2.4 Redoxfølsomme parametre inkl. jern og mangan

Vandprøvernes indhold af nitrat, ammonium, jern og mangan er vist i figur 14 og tabel 3. Det fremgår heraf at vandet i alle tre felter ikke indeholder nitrat men lave indhold af ammonium (< 0,5 mg/L), der i forbindelse med beluftningen på vandværket kan omdannes til nitrat. Dette er i god overensstemmelse med resultaterne i tabel 3, der viser at indgangsvandet er nitratfrit men indeholder ammonium mens afgangsvandet ikke indeholder ammonium, men har et lavt indhold af nitrat. Indholdet af opløst jern og mangan er begge komponenter, der kan påvirke farvetallet, men en effektiv beluftning på vandværket kan reducere indholdet af begge disse stoffer. Således viser resultaterne i tabel 3 at afgangsvandet ikke indeholder jern og mangan i målbare koncentrationer, selvom indgangsvandet indeholdt henholdsvis 4,27 mg/L jern og 0,25 mg/L mangan. Som det fremgår af figur 14 er disse koncentrationsniveauer for både jern og mangan karakteristiske for vand fra samtlige indvindingsboringer. De laveste koncentrationer af jern og mangan er målt i boring 137.818, der ligeledes fremstod forskellig fra de øvrige boringer, ved bl.a. indholdet fluor og bromid. Udviklingen i jern og mangan over tid fremgår af bilag 7. Her ses koncentrationen over tid at være nogenlunde konstant for såvel jern som man-

gan med undtagelse af boring 137.610, hvor der anes en gentagne stigende og faldende koncentrationer af jern i perioden 1979-2012.

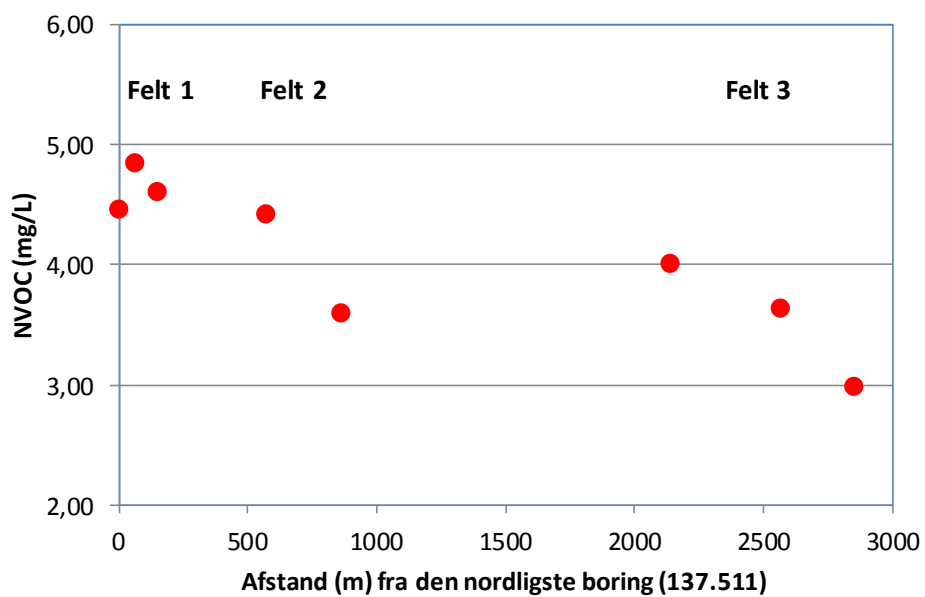


Figur 14. Redoxfølsomme komponenter - jern (Fe), Mangan (Mn), ammonium (NH₄) og nitrat (NO₃) i indvindingsvand fra borer i felt 1-3.

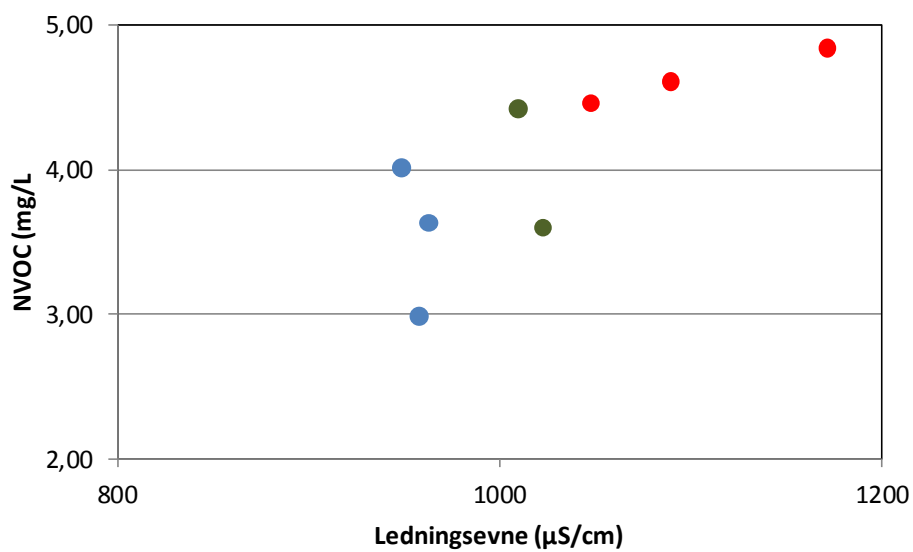
7.2.5 Kulstof – metan og opløst organisk stof (NVOC)

Methan dannes under iltfrie forhold og findes i vandet fra de otte indvindingsboringer i nogenlunde ens og lave koncentrationer (0,02-0,04 mg/L), tabel 3. Methan i indgangsvandet blev fjernet i forbindelse med iltningen på vandværket og kunne ikke måles i afgangsvandet, tabel 3.

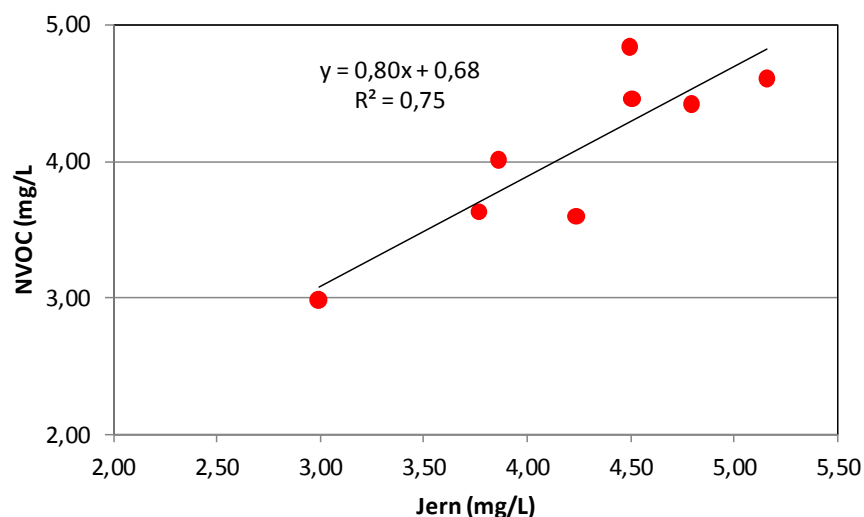
Til sammenligning var indholdet af organisk stof (NVOC) betydelig højere og varierer i indvindingsboringerne, mellem 2,99 mg/L og 4,84 mg/L, figur 15. Det højeste indhold er målt i boring 137.971 (der også har forholdsvis høj ledningsevne og høje koncentrationer af bl.a. chlorid, bromid, iodid og natrium) i felt 1, hvor de andre to borer ligeledes har forholdsvis høje koncentrationer (> 4 mg/L). I felt 2 falder indholdet af NVOC og der ses yderligere fald i koncentrationen af NVOC indenfor felt 3, hvor den sydligste boring (137.818) har den laveste koncentration med 2,99 mg/L. Den fundne fordeling kan ikke forklares ved forskelle i vandets pH-værdier da alle indvindingsboringer har vand med pH på omkring 7.2 og dermed under pH 7.5, der er den værdi hvor en begyndende mobilisering af organisk stof kan erkendes. Ligeledes synes der ikke at være en sammenhæng mellem vandets ledningsevne og indholdet af NVOC, figur 16. Fordelingen af NVOC viser dog en vis sammenhæng ($r^2=0,75$) med indholdet af opløst jern (ferrojern) i indvindingsvandet, figur 17.



Figur 15. Koncentrationen af NVOC i vand fra indvindingsboringer i felt 1- 3.

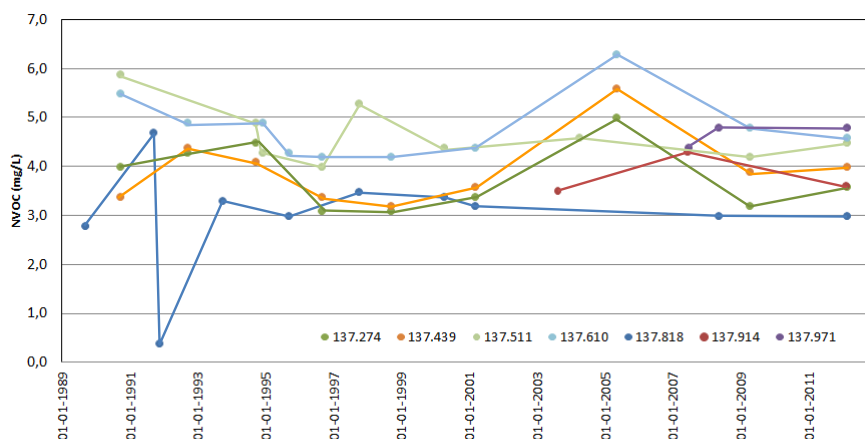


Figur 16. NVOC og ledningsevne i indvindingsvand fra boringer i felt 1 (røde cirkler), felt 2 (olivengrønne cirkler) og felt 3 (blå cirkler).



Figur 17. Sammenhæng mellem NVOC og jern i vandprøver fra indvindingsboringer i felt 1-3.

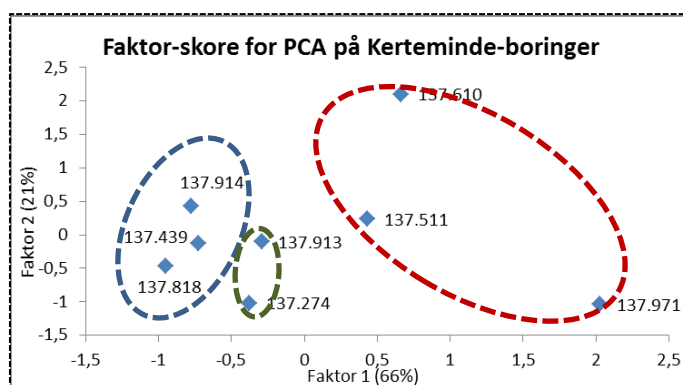
Da indvindingsvandets indhold af NVOC er en central parameter for såvel farvetal som vandets mikrobiologiske egenskaber udviklingen i NVOC over tid i de enkelte indvindingsboringer beskrevet på baggrund af data fra Jupiter databasen. Når der ses bort fra nogle få måle/skrive fejl i datamaterialet (137.818 den 13. november 1991 samt 137. 274, 137.610 og 137.971 den 4. maj 2005) så viser den tidsmæssige udvikling i NVOC indholdet for de fleste indvindings et rimeligt stabilt forløb. For boring 137.511 er koncentrationen af NVOC endog lavere i dag end den var i september 1990. Det samme gælder for 137.610, men her har koncentrationen været svagt stigende siden slutningen af 1998.



Figur 18. Udviklingen i koncentrationen af NVOC over tid for syv ud af otte indvindingsboringer (boring 137.913 mangler da der kun foreligger en enkelt måling).

7.3 Multivariat statistik på kemiske parametre i indvindingsboringer

Som det fremgår af beskrivelsen af de mange kemiske analyser findes der for nogle parametre en tydelig forskel mellem de undersøgte borer mens der for andre enten ikke findes nogen nævneværdig eller systematisk forskelle mellem borerne. Derfor blev der på baggrund af de forskellige kemiske analyser gennemført en principal komponent analyse (PCA) på analyser fra alle otte indvindingsboringer. Formålet var at give et bedre overblik over sammenhænge i datasættet. Fordelen ved multivariat statistik er, at en række parametre samles til to eller tre betydende faktorer, og det således er lettere at overskue data og se, hvilke cases (i dette tilfælde borer) der grupperer og således minder mest om hinanden. Der blev udvalgt 8 analyseparametre (NVOC, humusstof, ledningsevne, Cl, SO₄, I, Ca og Na) til PCA-analysen som alle indeholdt en vis variation. Resultatet af PCA-analysen fremgår af figur 19.



Figur 19. Resultat af PCA-analysen. Bemærk at faktor 1 er den dominerende faktor, og den beskriver den største variation i datasættet langs denne akse. Spredning langs y-aksen er altså en mindre betydende variation, men kan give idéer om, hvilke borer der har noget til fælles med hensyn til f.eks. sulfat, der ikke bidrager væsentligt til faktor 1 (se "factor-loadings" i tabel 4).

Den statistiske analyse bekræfter nogle af de sammenhænge, der allerede er beskrevet i forbindelse med gennemgangen af de enkelte parametre. Således viser analysen, at de tre sydlige borer fra felt 3 er meget ens, især mht. den dominerende faktor 1, der indeholder variation i især NVOC, Cl, I, ledningsevne og humus. De to borer fra felt 2 er også meget ens mht. denne faktor, mens mere variation ses fra de tre borer omkring vandværket, hvor især 137.971 som ovenfor beskrevet skiller sig ud, sandsynligvis pga. denne vandprøves høje ledningsevne samt indhold af chlorid, bromid, iodid og natrium.

Tabel 4. Oversigt over, hvad de enkelte faktorer er sammensat af. Høje værdier indikerer stor betydning for denne parameter i forhold til faktoren. Det ses, at faktor 1 forklarer 66 % af variationen i datasættet og faktor 2 yderligere 21 %.

	Faktor 1	Faktor 2
NVOC	0,816	0,270
Humusstof	0,986	0,131
Ledningsevne	0,981	0,012
Chlorid (Cl)	0,935	-0,308
Sulfat (SO ₄)	0,223	0,846
Iodid (I)	0,933	-0,094
Calcium (Ca)	0,134	0,840
Natrium (Na)	0,944	-0,305
Variation forklaret	5,304	1,709
% af total variation	66,3	21,4

7.4 Konklusion og perspektiver

Resultaterne af de kemiske analyser bestyrker vores antagelse om at indvindingsboringerne ikke er filtersat i et og samme sammenhængende sand- og gruslag. De tre sydligste boringer er filtersat i et mindre, lokalt sandmagasin (felt 3). Desuden tyder resultaterne af den statistiske analyse på at også boringerne fra det nordligste felt (felt 1) og det mellemste felt (felt 2) indvinder vand fra for forskellige magasiner. Inden for felt 1 afviger vandkvaliteten i boring 137.971 på nogle parametre, der antyder at det er langt mere marint påvirket end de øvrige boringer i dette felt.

Resultaterne viser desuden at jern og mangan udfældes effektivt under beluftningen på vandværket og derfor ikke bidrager til farvetallet. Analyseresultaterne for indgang- og afgangsvand fortæller ikke noget om skæbnen af det organiske stof under vandbehandlingen. Resultaterne fra dette projekt og data fra Jupiter databasen viser imidlertid at der findes betydelige forskelle i koncentrationen af NVOC i de forskellige indvindingsboringer. Det lokale magasin med de tre sydligste boringer indeholder vand med maksimalt 4 mg/L og udviklingen i indholdet fremstår ret stabilt over tid. Det samme gælder i øvrigt også den sydligste boring i felt 2, hvor kun ca. halvdelen af det forholdsvis tykke sandlag er filtersat. I boringerne i felt 1 indvindes vand med de højeste indhold af NVOC og over tid med svagt stigende indhold. Strømningsmønstret bør undersøges yderligere og herved klarlægge sammenhængen med det nord for liggende område med sedimenter rige på organisk materiale. Interessant ville det også være at kigge på sammenhængen mellem vandets strømningsmønster og grundvandsspejlets beliggenhed og udviklingen i koncentrationen af bl.a. sulfat. Desuden anbefales det at undersøge om gamle og ikke aktive boringer indvirker på dannelsen af sulfat.

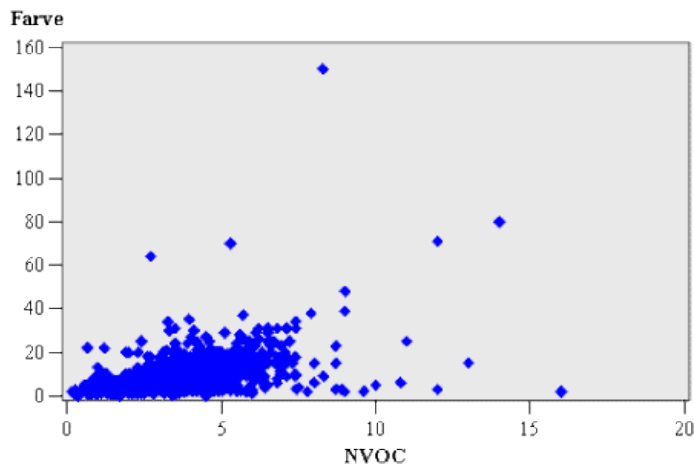
8. Oprensning og karakterisering af humusstoffer

8.1 Baggrund - hvad er humusstoffer?

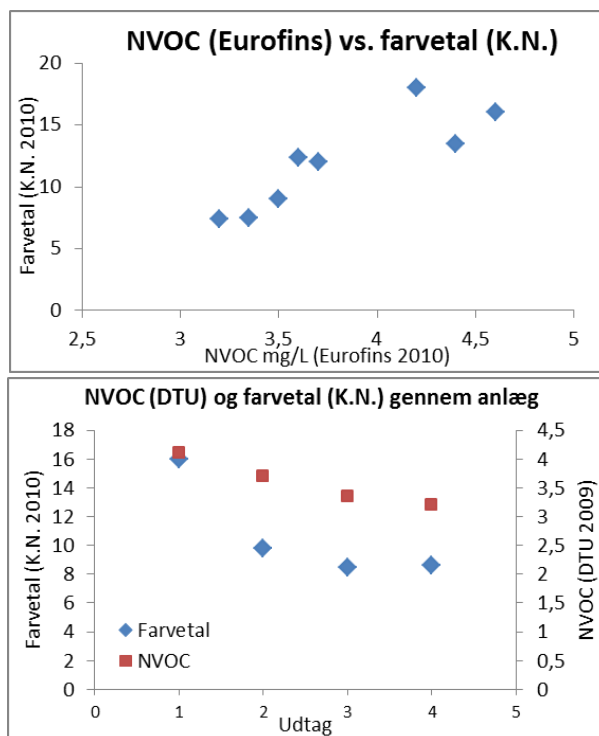
Organisk kulstof i jord er estimeret til at udgøre ca. 15×10^{17} g på Jorden, hvilket kan sammenlignes med levende terrestrisk organisk kulstof, der udgør ca. 5.6×10^{17} g. Det organiske kulstof udgøres af 2-20 % fedt og voks, 5-25 % kulhydrat, 5-20 % protein og 30-75 % humusstoffer. Humusstoffer defineres typisk som mørkt farvede, stærkt omdannede materialer, der ikke tilhører identificerbare klasser af organiske molekyler om end andre definitioner også findes. Hertil kan tilføjes, at de typisk er sure, har høj molekylær vægt og stammer fra den nedbrudte organiske fraktion, dannet ved den proces, der betegnes humificering. Humusstoffer inddeles funktionelt i tre hovedgrupper; fulvosyre, humussyre og humin. Fulvosyre er defineret som den del af humusstofferne, der er opløselig ved alle pH-værdier. Humussyre er opløseligt ved neutral og basisk pH, mens humin slet ikke er opløseligt i vand. I grundvand optræder humin derfor ikke og med mindre grundvandet kommer fra meget organiske lag (f.eks. såkaldt "brunt vand") vil det typisk være fulvosyre, der dominerer humusfraktionen i grundvandet. Humusstoffer er typisk svært nedbrydelige for mikroorganismer og kan have en meget lang levetid (adskillige tusinde år). De kan derfor findes i ganske gammelt grundvand og i ældre grundvand vil de typisk udgøre en stor del af den samlede parameter der kaldes NVOC (Non Volatile Organic Carbon) som indgår i den obligatoriske analysepakke for vandværkssvand.

Humusstoffer er som nævnt farvede, og hvor fulvosyre er gulligt (a'la "urinfarve") er humussyre mere brunligt (a'la "kaffefarve"). Begge absorberer dog lys i hele det synlige spektrum og kan derfor bidrage til farvetallet, der måles i det violette område af farvespektret (410 nm). Selvom farvetal i grundvand altså kan være styret af humusindhold kan andre parametre som f.eks. jern og mangan dog også spille ind, og da der samtidig er forskel på humustypen findes ingen direkte sammenhæng mellem farvetal og humusstof. Det er af Ernstsens et al. (2005) undersøgt, om der findes en sammenhæng mellem organisk stof (NVOC-indhold) og øvrige parametre målt i de danske grundvandsmagasiner. Den eneste parameter, hvor en vis sammenhæng kan ses, er faktisk sammenhængen med farvetallet, figur 20. Som det ses, er spredningen på data dog meget stor, hvilket altså både kan skyldes at NVOC ikke nødvendigvis består af humusstoffer eller andre farvede komponenter og dels at ikke-organiske parametre kan influere på farvetallet.

Det blev i Kenneth Nikolajsens *Farvetalsprojekt* fra 2010 foreslået, at problemerne med forhøjede farvetal på Kerteminde Vandværk skyldes indhold af humusstoffer. Dette blev begrundet i en vis sammenhæng mellem NVOC og farvetal i borerne, figur 21 A, at NVOC og farvetal begge mindskedes samme sted i vandbehandlingen, figur 21 B, og endelig at jern og mangan blev fjernet fuldstændig i filtreringsprocessen og derfor ikke kunne bidrage til farven.



Figur 20. Sammenhæng mellem farvetal og NVOC (mg/L) i dansk grundvand (Ernstsen et al., 2005).



Figur 21. A) Sammenhæng mellem NVOC og farvetal i de otte indvindingsboringer. Data aflæst fra grafer i Nikolajsen (2010). B) Farvetal (aflæst i Nikolajsen, 2010) og NVOC (aflæst i Ferguson, 2009) gennem vandværket. Udtag 1 er råvand, udtag 2 er vand efter beluftning og reaktionsbassin, udtag 3 er vand efter forfiltrene og udtag 4 er vand efter efterfiltrene.

Det er en vigtig oplysning om farvetallet skyldes humusstoffer, da grænseværdien i afgangsvand (5 mg Pt/L) kan hæves til 10 mg Pt/L, hvis farven skyldes humus. **Dette er kun muligvis**

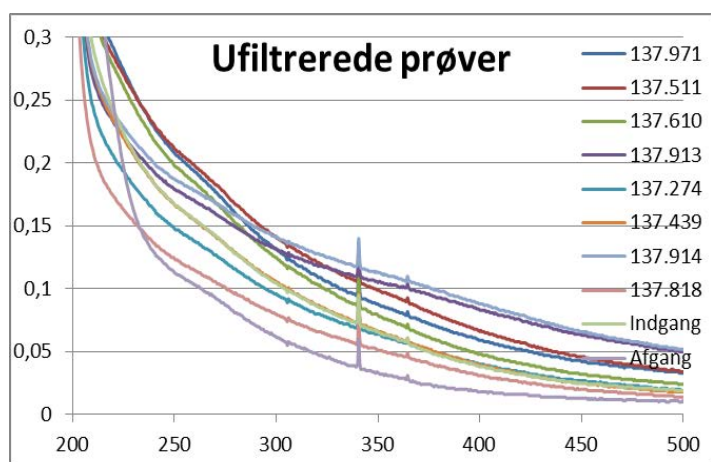
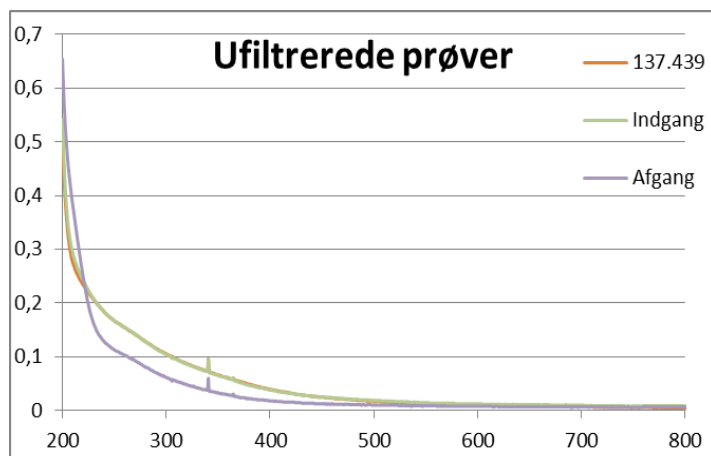
korrekt. Det står nævnt på hjemmesiderne for diverse analyselaboratorier og vandforsyninger, men det står ikke i den nyeste bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg fra 2011 (Miljøministeriet, 2011), men kun i den tidligere bekendtgørelse fra 2001 (Miljø- og Energiministeriet, 2001). Gunver Heidemann fra Naturstyrelsen undrede sig og Anne Marie Madsen, ligeledes Naturstyrelsen, undersøger om dette kriterium er røget ud ved en fejl. Desuden gælder at farvetallet ved forbrugers taphane ikke må overstige 15 mg Pt/L.

Hvis man ønsker at tilsætte et fældningsmiddel (f.eks. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) for at mindske farvetallet, er det ligeledes vigtigt at kende baggrunden for farven, da en sådan ansøgning ellers kan blive afvist (MST, 2007). I dette projekt er der foretaget grundige undersøgelser af hvor stor en del af NVOC der kan betegnes humusstof, og om det er humus, der er årsag til det forhøjede farvetal. Dette blev dels gjort ved at se på de spektrofotometriske (farve-) egenskaber af råvand og behandlet vand og dels ved efterfølgende at oprense, kvantificere og til dels karakterisere humusstof fra råvand og behandlet vand (se metoder i bilag 4).

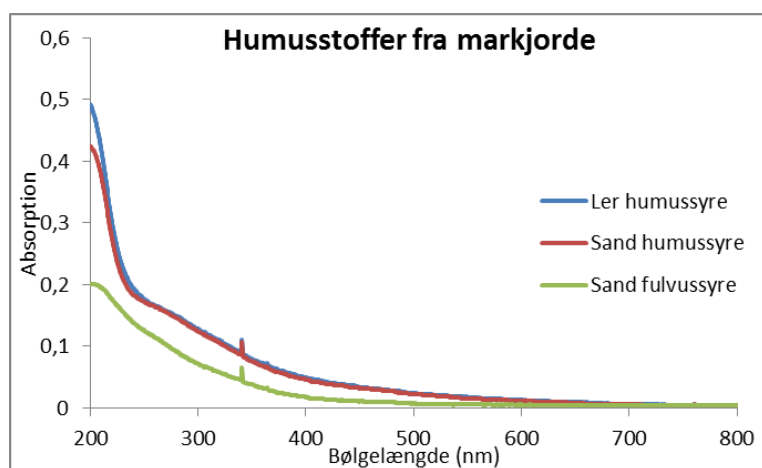
8.2 Spektrofotometriske bestemmelser på ubehandlede prøver

I figur 22 ses eksempler på de spektrofotometriske (UV-VIS-) kurver for ubehandlede og ufiltrerede prøver. Der er ingen tydelige toppe i spektrene, hvilket viser, at dét organiske stof, der er i prøverne består af en række forskellige stoffer, eller stoffer indeholdende mange forskellige strukturelementer som f.eks. humusstoffer. Der er en vis variation mellem boringerne men formen på kurverne er nogenlunde ens og boringen 137.439 er nærmest identisk med indgangsvandet, hvilket indikerer at vandet i denne boring enten er en "gennemsnitstype" for de aktive boringer eller at det næsten udelukkende er fra denne boring at der indvindes på prøvetagningstidspunktet. Eneste kurve der skiller sig ud er afgangsvandet, der har lavere absorption ned til 220 nm, men højere absorption herunder. Kurven for de enkelte boringer og indgangsvandet minder til dels om dét man kan se i de vandopløselige humusstoffer (fulvosyrer, se figur 23), mens prøven for afgangsvandet har en lidt anden form.

Den specifikke absorption (SUVA_{254}) indikerer, at dele af det organiske stof i råvandet kan være humusstof, mens SUVA -værdien for det behandlede vand er så lav, at det næppe er humusstof (i hvert fald ikke det mere aromatiske humussyre), der dominerer i dette (se evt. data i tabel B4-1 i bilag 4).



Figur 22. Eksempler på UV-VIS kurver for ubehandlede prøver. Toppen ved 340 nm skyldes pæreskift.



Figur 23. Eksempler på UV-VIS kurver for humusstoffer ekstraheret fra lerede og sandede danske markjorde. Koncentrationen var 4 mg/L svarende til ca. 2 mg/L NVOC.

8.3 Kvantificering og karakterisering af total humusstof

Humusstoffer blev oprenset efter en modificeret standardmetode for bestemmelse af akvatiske humusstoffer efter Metode 5510C i *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (Eaton et al., 1995). Metoden går grundlæggende ud på, at surgjorte vandprøver føres gennem et hydrofobt materiale (DAX8-resin) som tilbageholder humusstoffer så længe pH er lav, men frigør disse fuldstændigt når pH hæves til over 10, figur 24. Mængden af humusstoffer kan så beregnes som forskellen mellem NVOC i vandprøven før og efter filtrering. Som tillæg til denne bestemmelse har vi dog kvantificeret den mængde humusstof, der rent faktisk blev frigjort fra DAX8-materialet ved høj pH, da der kan være en fraktion af NVOC (kaldet "hydrophobic neutrals") som tilbageholdes på DAX8-materialet men ikke frigøres ved højt pH. For en mere detaljeret metode beskrivelse henvises til bilag 4.



Figur 24. Til venstre: 2L-prøver filtreres gennem kolonner med 30 mL DAX8-resin. Humusstoffer samt hydrofobe uladete molekyler tilbageholdes i kolonnerne. Til højre: Alle opkoncentrerede humusopløsninger inden frysetørring. Tydelig farveforskel fra de tre boreriger omkring vandværket (til venstre) og de tre sydlige boreriger (til højre i billedet). Flere billeder fra oprensningen kan ses i bilag 4.

8.4 Resultater – kvantitativ bestemmelse af humusstoffer

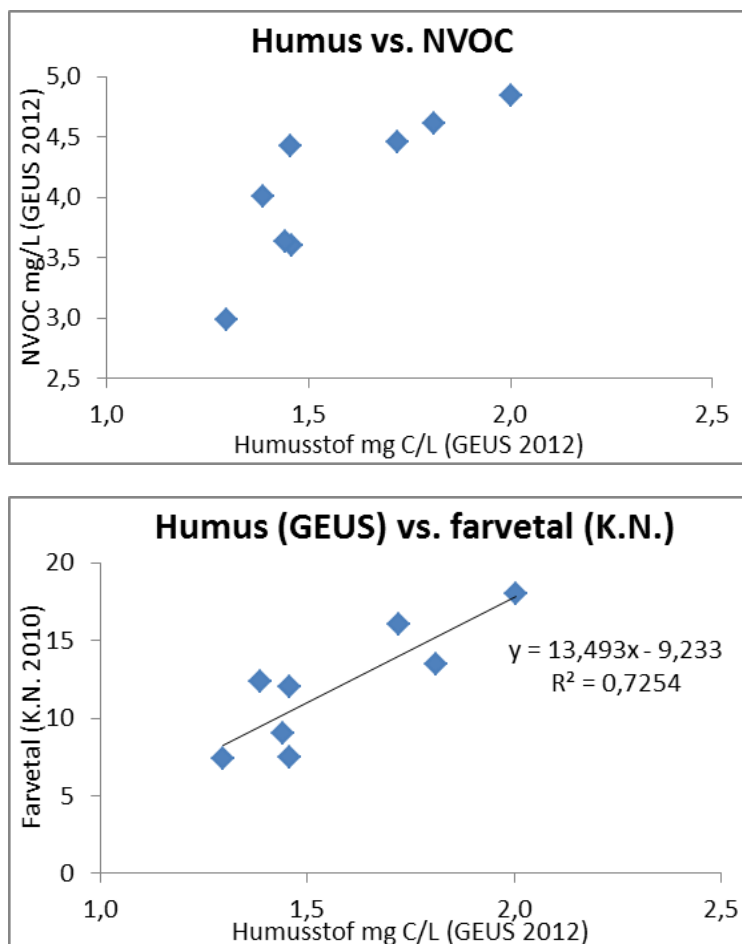
Circa 50 % af det opløste organiske stof blev fjernet ved filtrering gennem DAX8-resin, tabel 5. Det ses at stort set alt (66-105 %) af disse ca. 50 % kunne elueres og genfindes som humusstof. Dermed kan det konkluderes at ca. 40 % af NVOC består af humusstoffer – dette gælder både råvand og behandlet vand. Derimod udgør den funktionelle fraktion "hydrophobic neutrals" altså en meget begrænset del af NVOC.

Variationen mellem de enkelte boreriger er begrænset, men de tre boreriger ved vandværket (137.511, 137.971 og 137.610) skiller sig ud med både lidt højere NVOC-indhold, men især lidt højere indhold af humusstof end de øvrige boreriger. Boring 137.818 skiller sig ud fra de øvrige

med lidt lavere indhold af både NVOC og humusstof. Selvom variationen mellem borer er begrænset, er der en nogenlunde positiv sammenhæng mellem NVOC og mængden af humusstof i de otte indvindingsboringer, figur 25 A. Sammenhængen mellem farvetal og humusstof er ligeledes positiv med en R^2 -værdi på 0,73, figur 25 B.

Tabel 5. NVOC før og efter filtrering gennem DAX8-materiale samt NVOC-andel som kunne genfindes som humusstof (HS-OC) ved efterfølgende frysetørring og afvejning samt måling af NVOC i eluat (midelværdi af disse angivet). Data er desuden detaljeret beskrevet i bilag 4.

DGU nr.	NVOC før	NVOC efter	Forskel (mg/L)	Fjernet (%)	HS-OC (mg/L)	HS (% af NVOC)
Indgang	4,3	2,1	2,2	53	1,5	36
Afgang	3,5	1,9	1,6	57	1,4	41
137.511	4,5	2,2	2,3	55	1,7	39
137.971	4,8	2,6	2,2	44	2,0	41
137.610	4,6	2,6	2,0	25	1,8	39
137.913	4,4	2,2	2,2	50	1,5	33
137.274	3,6	1,9	1,7	46	1,5	41
137.439	4,0	2,1	1,9	47	1,4	35
137.914	3,6	1,8	1,9	51	1,4	40
137.818	3,0	1,8	1,2	41	1,3	43

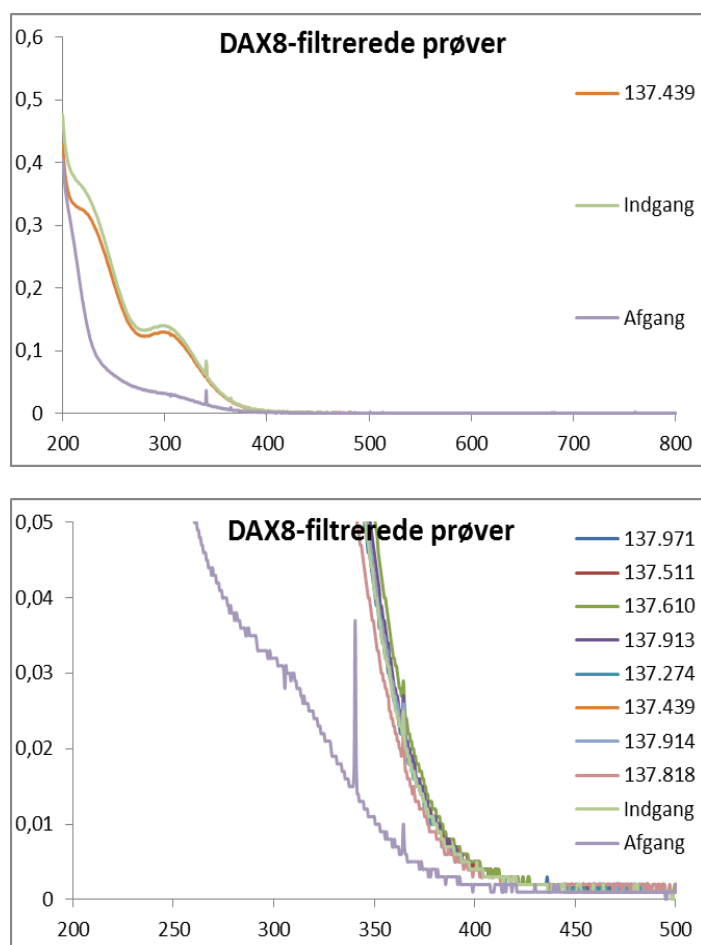


Figur 25. A) Sammenhæng mellem NVOC og humusstof i de otte indvindingsboringer. B) Sammenhæng mellem mængden af humusstof (dette studie) og farvetalet (aflæst i Nikolajsen, 2010) i indvindingsboringerne.

8.5 Resultater – kvalitative karakteristika af humusstoffer og resterende organisk materiale

UV-VIS-spektrene af det vand, der var filtreret igennem DAX8-materiale og dermed havde mistet alle humusstoffer viste flere interessante ting, figur 26. For det første var al målbar absorption over 400 nm (synligt lys) forsvundet. Det betyder at vandet nu var stort set farveløst og at alle farvede komponenter dermed kunne holdes tilbage af DAX8-materialet. For afgangsvandet betød det f.eks. at absorptionen ved 410 nm var mindsket fra 0,017 til 0,002 eller en ca. 90 % reduktion i farvetalet ved filtrering gennem DAX8-materiale. Langt det meste af den farve, der blev tilbageholdt i DAX8 kunne endvidere frigøres med base og kan dermed benævnes humusstof, hvilket stemmer godt overens med de kvantitative overvejelser. Det betyder med

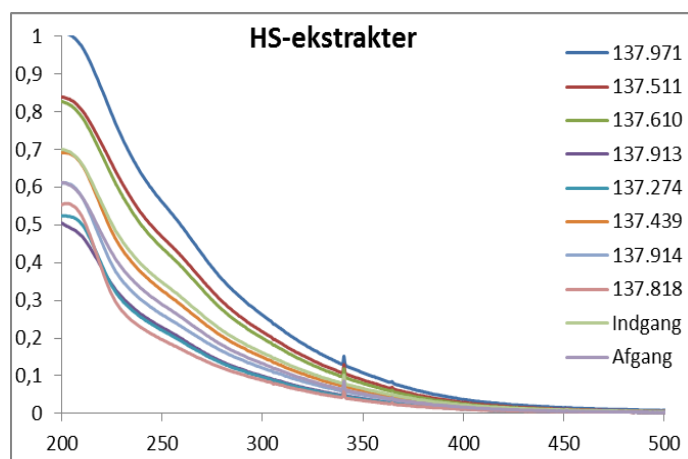
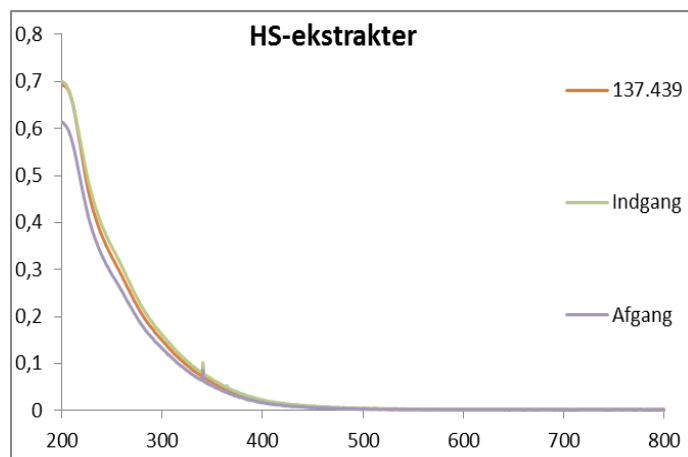
andre ord med stor sandsynlighed, at hovedparten af farven i såvel råvand som behandlet vand skyldes indholdet af humusstoffer.



Figur 26. Eksempler på UV-VIS spektre af DAX8-filtrerede prøver. Bemærk at absorptionen over 400 nm (farve-området) er nærmest nul.

UV-VIS-analyser på det oprensede humusstof viste, at der ingen kvalitativ forskel var mellem de enkelte indvindingsboringer og umiddelbart heller ingen større forskel mellem råvand og behandlet vand, tabel 6. Det er altså den samme type humusstof der findes i vandet før og efter filtrering i sandfiltrene. De forskellige værdier angiver, at fulvosyre udgør en del eller måske alt det tilstedeværende humusstof, mens det ikke kan udelukkes, at der også er humussyre til stede. Udseendet af det frysetørrede humusstof fra boringerne mindede også mere om fulvosyre end om humussyre, figur 27. I afgangsvandet er fulvosyre sandsynligvis det helt dominerende humusstof da A4/6-værdien er på 9 eller evt. højere. Endvidere tyder det ikke på, at humusstoffet har en marin oprindelse, da der ikke er så meget som en antydning af en top ved 407 nm, som det ellers ofte vil ses i marint HS, hvor phaopigmenter fra algeklorofyl findes

inkorporeret. Humusstoffet stammer således sandsynligvis fra almindelige nedbrydningsprocesser i jordmiljøet.



Figur 27. Eksempler på spektrofotometriske undersøgelser af HS-ekstrakter. Forskelle i absorption skyldes hovedsageligt forskelle i humus-koncentration og ikke forskelle i humus-type.



Figur 28. Billeder af frysetørrede oprensede humusstoffer. Til venstre humusstof fra indløbet i Kerteminde Vandværk, i midten humussyre fra markjord og til højre fulvosyre fra markjord.

Tabel 6. UV-VIS og NVOC-analyse af HS-ekstrakter. Ekstrakterne er 5x fortyndet, med mindre andet er angivet. A4/6-værdier på afgangs- og indgangs-vand må betragtes som minimum-værdier, grundet den lave absorption ved 665 nm.

	254	270	407	465	665	SUVA	A4/A6	A270/A407
Indgang	0,33	0,26	0,019	0,008	-	3,2		13,7
Afgang	0,28	0,22	0,014	0,005	-	3,0		15,4
137.511	0,45	0,35	0,025	0,009	-	3,6		14,2
137.971	0,54	0,42	0,032	0,013	-	3,4		13,2
137.610	0,42	0,33	0,022	0,007	-	3,3		15,0
137.913	0,22	0,16	0,011	0,004	-	2,8		14,9
137.274	0,21	0,16	0,01	0,004	-	2,5		16,0
137.439	0,31	0,24	0,017	0,006	-	3,0		14,3
137.914	0,25	0,20	0,014	0,006	-	2,9		14,0
137.818	0,19	0,14	0,01	0,004	-	2,4		14,3
Afgang (ufort.)	1,23	0,95	0,059	0,018	0,002		9,0	16,1
Indgang (ufort.)	1,66	1,29	0,092	0,031	0,005		6,2	14,1

8.6 Konklusion og perspektiver på humus-undersøgelserne

De vigtigste resultater kan sammenfattes som følger:

- Knap halvdelen af NVOC i såvel råvand som behandlet vand består af humusstof
- Vandets farve skyldes hovedsageligt dets indhold af humusstof
- Humusfraktionen domineres af fulvosyre, og hvis der er lidt humussyre til stede, er dette sandsynligvis forsvundet under filtreringsprocessen, således at afgangsvandet ser ud til udelukkende at indeholde fulvosyre.
- Såvel farve, NVOC som humusstof er mere udpræget i borerne omkring selve vandværket (Felt 1) end fra især de tre sydlige borer (Felt 3).

På denne baggrund burde det ikke være et problem for Kerteminde vandværk at få tilladelse fra Kerteminde Kommune til at have forhøjede farvetal, da humusstof er hovedårsagen og der i øvrigt er tale om vand af fin kvalitet. Det skal her pointeres, at humusstoffer ikke er sundhedsskadelige.

9. Kimtællingsmetoden

9.1 Introduktion til metode

Første trin i forsøget var at belufte vandprøverne. Dette foregik ved udrystning i en time hvorved opløst jern blev oxideret og fældede ud. Denne proces er vigtig af fire grunde: I) Da jernfældning indgår i vandbehandlingen på vandværket er den nødvendig for at give et realistisk billede af vækstpotentialet. II) Under jernfældningen vil der sandsynligvis bindes noget organisk stof til jernoxiderne hvorved det bliver utilgængeligt for bakterierne. III) Hvis det opløste jern ikke oxideres vil det i løbet af forsøget bruge ilt i vandet hvorved der blive mindre ilt til bakteriernes vækst på det organiske stof. IV). Ved udrystningen afdampes metan der ellers ville kunne give ophav til fejlagtigt høje kimtal pga. vækst af metanoxiderende bakterier.

Efter beluftning blev vandprøverne inkuberet på rystebord ved 15 grader i 21 dage i forseglede flasker. Det vil sige at det ikke er tilført ekstra ilt i løbet af forsøget, hvilket jo også er situationen når vandet fordeles til vandværkets kunder i rørsystemerne. I løbet af de 21 dage udtog vi prøver til kimtælling.

Ved kimtællingerne brugte vi metoden DS/EN ISO 6222 (2000) hvor kimene tælles som koncentrationen af koloni-dannende enheder (CFU) der kan vokse i et agar-medium ved 22° eller 36° C. Kimtallet bestemt ved 22° viser det totale potentiale for vækst, mens kimtallet bestemt ved 36° giver et billede af de varmetolerante kim, hvoraf nogle under uheldige omstændigheder vil kunne give infektioner. Ofte ser man varmetolerante kim angivet for 37°, men ifølge DS/ISO-standarden skal kimtallet bestemmes ved 36°, sandsynligvis fordi kropstemperaturen på huden og i ekstremiteterne er under 37°.

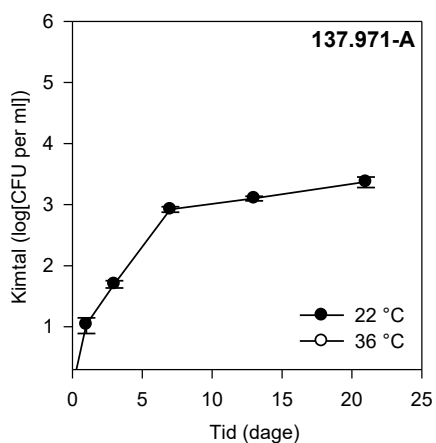
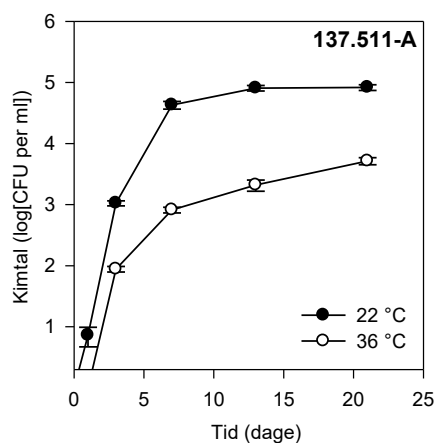
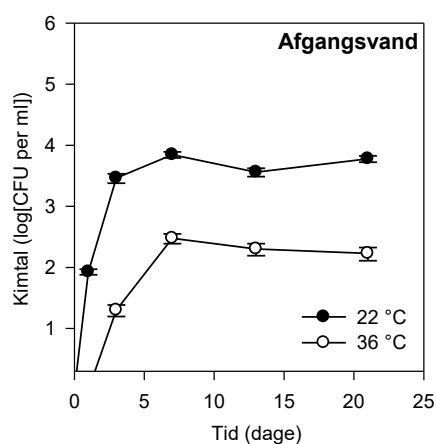
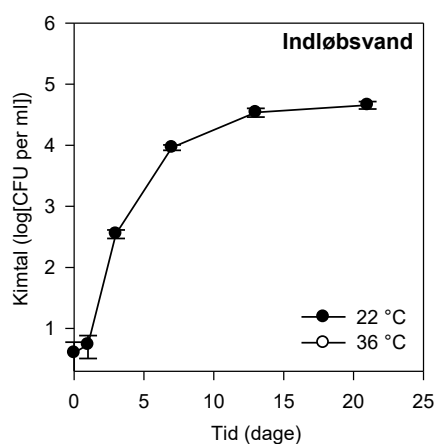
Ved mikrobiologiske forsøg med grundvand er forurening med kulstof ofte et problem, da der skal meget små mængder sæberester eller andet kulstof til for at give en bakterievækst på 10^3 til 10^5 kim/ml. For at undgå denne fejlkilde har vi omhyggeligt rengjort glasvarerne ved syrevask og efterfølgende opvarmning til 300 °C. Som nævnt har vi også inkuberet vandprøverne i forseglede flasker hvilket betyder at der ikke kunne tilføres ekstra kulstof til vandet via organiske dampe fra luften. Vi har desuden testet at flaskernes gummiforsegling ikke har nogen organisk afsmitning til vandet. For yderligere detaljer henvises til bilag 5.

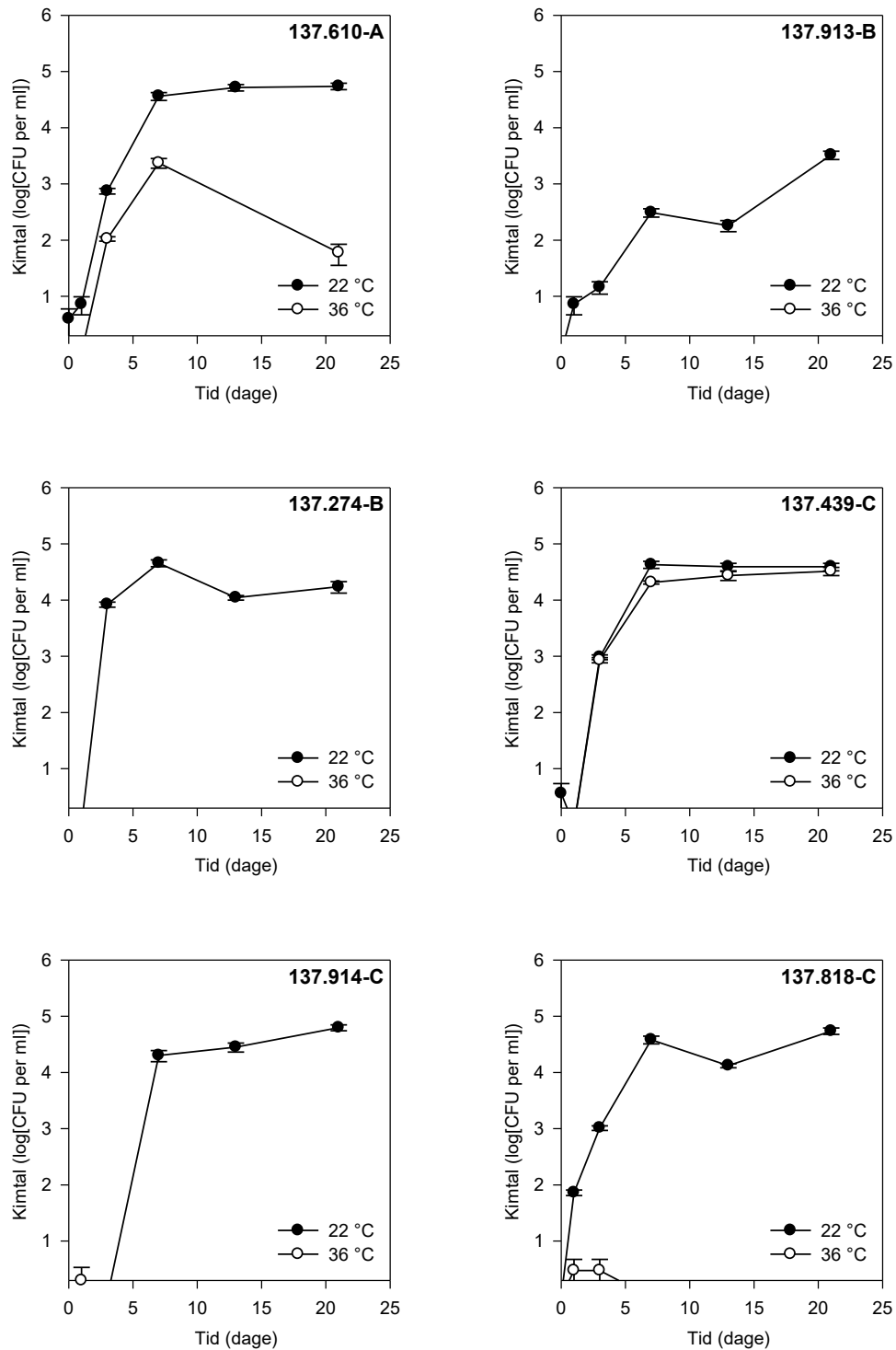
9.2 Kimtal

I de fleste prøver steg kimtallet (22° C) kraftigt i de første 7 dage, figur 29, hvorefter kimtallet stabiliseredes. De fleste prøver nåede et maksimalt kimtal på mellem 10^4 og 10^5 kim/mL, men i vandprøverne fra 137.913 og 137. 971 samt afgangsvandet var bakterievæksten mindre så kimtallet kun nåede op på 10^3 til 10^4 kim/mL.

Det maksimale kintal i afgangsvandet ($7,0 \pm 0,8 \times 10^3$) er lavere end det maksimale kintal i indløbsvand ($4,6 \pm 0,6 \times 10^4$), hvilket viser at vandbehandlingen på vandværket reducerer grundlaget for bakteriel vækst.

I fire ud af de ti vandprøver kunne varmetolerante kim ved 36° ikke påvises, det vil sige at indholdet var mindre end 1 kim/mL. I de resterende prøver varierede de termotolerante fra kun at være kortvarigt detekterbare (137.818 og 137.914) til at udgøre næsten hele bakteriepopulationen (137.439).

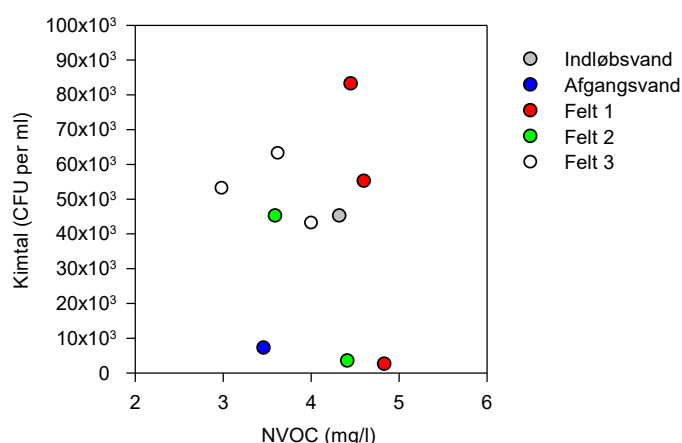




Figur 29. Tidslig udvikling i kimal for grundvandsprøver inkuberet 21 dage ved 15°C. Kimal er opgjort ved både 22° og 36 °C, og angivet logaritisk ± 1 standard afvigelse.

Figur 29 viser at en del af det opløste organiske stof i grundvandsprøverne kunne bruges af bakterierne til vækst. Man kan derfor undre sig over at det organiske stof ikke allerede er omsat af bakterierne nede i magasinet. Den manglende omsætning skyldes sandsynligvis at det organiske stof kun kan omsættes med ilt, og derfor først blev brugt af bakterierne efter at det iltfri grundvand blev beluftet.

I figur 30 er det maksimale kimtal ved 22 °C plottet mod den totale NVOC koncentration. Som det ses er der ingen sammenhæng mellem NVOC og maksimalt kimtal. Det ses også at boreriger der ligner hinanden på de kemiske parametre kan give meget forskellige maksimale kimtal.



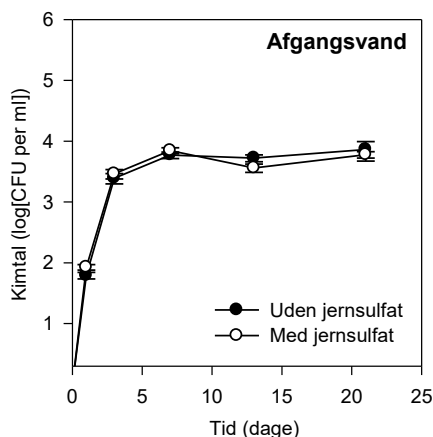
Figur 30. Maksimale kimtal som funktion af opløst organisk stof (NVOC) inden vækst. Vandprøverne er inddelt i grupper (felt 1, felt 2 og felt 3) der ligner hinanden på de kemiske parametre.

Vi har i et tidligere forsøg (upubliceret) bestemt udbyttet af grundvandsbakterier ved vækst på glucose og aminosyren phenylalanin. Vækstudbyttet var på 5×10^9 CFU per mg kulstof. Dette vækstudbytte kan bruges til at beregne hvor meget NVOC der blev forbrugt til kimvækst i flaskerne (beregnet bakteriel NVOC-forbrug). Af tabel 7 fremgår det, at det beregnede kulstof-forbrug varierede fra 0,000 mg/l til 0,017 mg/l, hvilket udgjorde mindre end en halv procent af det organiske kulstof der var i vandet ved forsøgets start. Man må derfor konkludere at det meste NVOC ikke umiddelbart kunne indgå i bakteriernes stofskifte og at det er ikke-reaktivt kulstof (ikke biotilgængeligt). Dette forklarer også hvorfor der ikke er nogen sammenhæng mellem total NVOC og de maksimale kimtal.

Tabel 7. Maksimale kimtal, opløst organisk stof (NVOC), og fjernelse af NVOC for grundvandsprøver inkuberet i 21 dage ved 15 °C.

Prøve	Max kimtal ved 22° C (CFU/ml)	Beregnet bakteriel NVOC-forbrug (mg/L)	NVOC ved start (mg/L)	NVOC ved slut (mg/L)	NVOC fjernelse (mg/L)	Beregnet Bakterielt forbrug (% af NVOC-start)
Indløb	4,5E+04	0,009	4,33	3,41	0,92	0,22
Afgang	7,0E+03	0,001	3,47	3,18	0,29	0,04
137.511-A	8,3E+04	0,017	4,46	3,67	0,79	0,39
137.971-A	2,4E+03	0,000	4,84	4,26	0,58	0,01
137.610-A	5,5E+04	0,011	4,61	4,02	0,59	0,25
137.913-B	3,3E+03	0,001	4,42	3,53	0,89	0,02
137.274-B	4,5E+04	0,009	3,60	3,21	0,39	0,26
137.439-C	4,3E+04	0,009	4,01	3,53	0,48	0,22
137.914-C	6,3E+04	0,013	3,63	2,96	0,67	0,36
137.818-C	5,3E+04	0,011	2,99	2,84	0,15	0,37

Det beregnede NVOC-forbrug til kimvækst udgjorde også kun fra 0,1 til 7 procent af den målte NVOC-fjernelse i løbet af forsøget. Det vil sige at NVOC blev fjernet hovedsageligt ved en rent fysisk-kemisk proces, sandsynligvis ved binding til mangan og jern da disse fældede ud som oxider under beluftningen. Den fysisk-kemiske fjernelse af NVOC antyder at man ville kunne reducere vækspotentialen ved at fælde mere NVOC ved tilsætning af ekstra reduceret jern inden beluftningen. For at teste denne ide tilsatte vi jern(II)sulfat, svarende til 10 mg/l af jern(II), til en prøve af afgangsvandet, som derefter blev beluftet ved udrystning sammen med de andre vandprøver. Det ekstra jern gav en kraftig jernoxid udfældning, men som det fremgår af figur 31 havde det ingen effekt på fremvæksten af kim. Afgangsvandet nåede op på $7,0 \pm 0,8$ CFU/ ml, og afgangsvandet med ekstra jern(II) nåede op på $7,2 \pm 2,6$ CFU/ml. Det vil sige at vi ikke kunne fjerne biotilgængeligt organisk stof ved at tilsætte jern(II).



Figur 31. Effekt af jern(II)sulfat tilsætning på den tidlige udvikling i kimal for grundvandsprøver inkuberet ved 15°C. Kimal er opgjort ved 22° C og angivet logaritmisk ± 1 standard afvigelse.

9.3 Konklusion og perspektiver

Der var ingen sammenhæng mellem NVOC og maksimalt kimal, og boringer der lignede hinanden på de kemiske parametre gav meget forskellige kimal. NVOC-forbrug til kimvækst udgjorde kun fra 0,1 til 7 procent af den målte NVOC-fjernelse. Det vil sige at NVOC blev fjernet hovedsageligt ved en rent fysisk-kemisk proces, sandsynligvis ved binding under udfældning af jernoxider under beluftningen. Det meste NVOC var ikke-reaktivt og kunne ikke indgå i bakteriernes stofskifte. Dette forklarer hvorfor der ikke er nogen sammenhæng mellem total NVOC og de maksimale kimal. Tilsætning af ekstra jern(II) inden beluftningen havde ingen effekt på fremvæksten af kim.

De fundne kimal ligger langt over grænseværdierne (22° C: afgangsvand 50 CFU/mL, ledningsvand 200 CFU/mL; 37° C: afgangsvand 5 CFU/ml, ledningsvand 20 CFU/mL), men det er vigtigt at påpege at man ikke skal forvente tilsvarende kraftig vækst i vandforsyningens rørsystemer. I rørsystemerne gror bakterier oftest som biofilm som må forventes at opnå en ligevægt, hvor vandets organiske stof hovedsageligt forbruges til biofilm-cellerne basalrespiration. Hovedparten af det organiske stof i rørsystemerne må derfor forventes ikke at føre til de kraftige stigninger i kimal, som er observeret i flaskerne, men derimod forbruges til at opretholde en mere eller mindre konstant mængde biofilm i distributionssystemet. Flaskeforsøgene siger derfor noget om de relative forskelle mellem vandprøverne, men ikke noget om de absolutte kimal i drikkevandet.

10. Referencer

DGU. 1992. Geologisk basisdatakort 1313 II Kerteminde. Tolket af P.R. Jakobsen i 1992 og kortlagt af K. Binzer i 1978.

DS/EN ISO 6887-1. 1999. Mikrobiologisk undersøgelse af fødevarer og foderstoffer. Fremstilling af prøvemateriale, suspensioner og fortyndinger til mikrobiologisk undersøgelse. Del 1: Generelle regler for fremstilling af suspensioner og fortyndinger.

DS/EN ISO 6222. 2000. Vandundersøgelse. Bestemmelse af antal mikroorganismer i gæreks-traktagar ved 22 °C og 36 °C.

Eaton, A.D., L.S.Clesceri og A.E.Greenberg. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA og WEF.

Ernstsen, V. og A. R. Johnsen. 2008. NVOC og kimtal i drikkevand. Naturstyrelsen, Miljøministeriet.

Ernstsen, V., C. L. Larsen og L. Tougaard. 2005. NVOC krav til drikkevand. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 18, miljøstyrelsen, Miljøministeriet.

Ferguson, C., Corfitzen, C. B., Albrechtsen, H-J., Arvin, E., 2009; Undersøgelse af pesticidfjernelsen i Kerteminde Vandværk med henblik på procesoptimering, DTU 2009.

Hedeselskabet. 2004. Fyns Amt. Indsatsområde Kerteminde. Geologisk model, fase 3.

Jacobsen, O.s., T. Laier og R.K. Juhler. 2006. KERNOXY Hovedrapport. Pesticidforeninger i grundvandet ved Kerteminde Vandværk – et afklaringsprojekt.

Miljøstyrelsen. 2007. Erfaringsopsamling inden for tilladelser til videregående vandbehandling, Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 2 2007.

Miljø- og Energiministeriet. 2001. Bekendtgørelse nr.871 af 21. september 2001. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

Miljøministeriet. 2011. Bekendtgørelse nr.1024 af 31. oktober 2011. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

Nikolajsen, K. 2010. Farvetalsprojekt. Kerteminde Forsyning.

Bilag 1. Projektbeskrivelse

Baggrund:

Kerteminde Forsyning A/S – Vand har gennem en årrække haft problemer med at overholde kravene til farvetal og indhold af NVOC for det vand der distribueres til brugerne. En detaljeret undersøgelse af farvetallet er gennemført af Kenneth Nikolajsen og beskrevet i rapporten *Farvetalsprojekt*, der blev afrapporteret i 2010.

Denne undersøgelse ønskes suppleret med undersøgelse og beskrivelse af vandets indhold af organisk stof karakteriseret ved vandets generelle kemiske sammensætning, sammensætningen af organisk stof samt potentialet for mikrobiologisk vækst i vand fra borer, der i dag benyttes af Kerteminde Forsyning A/S – Vand samt det behandlede vand, der sendes ud til forbrugerne.

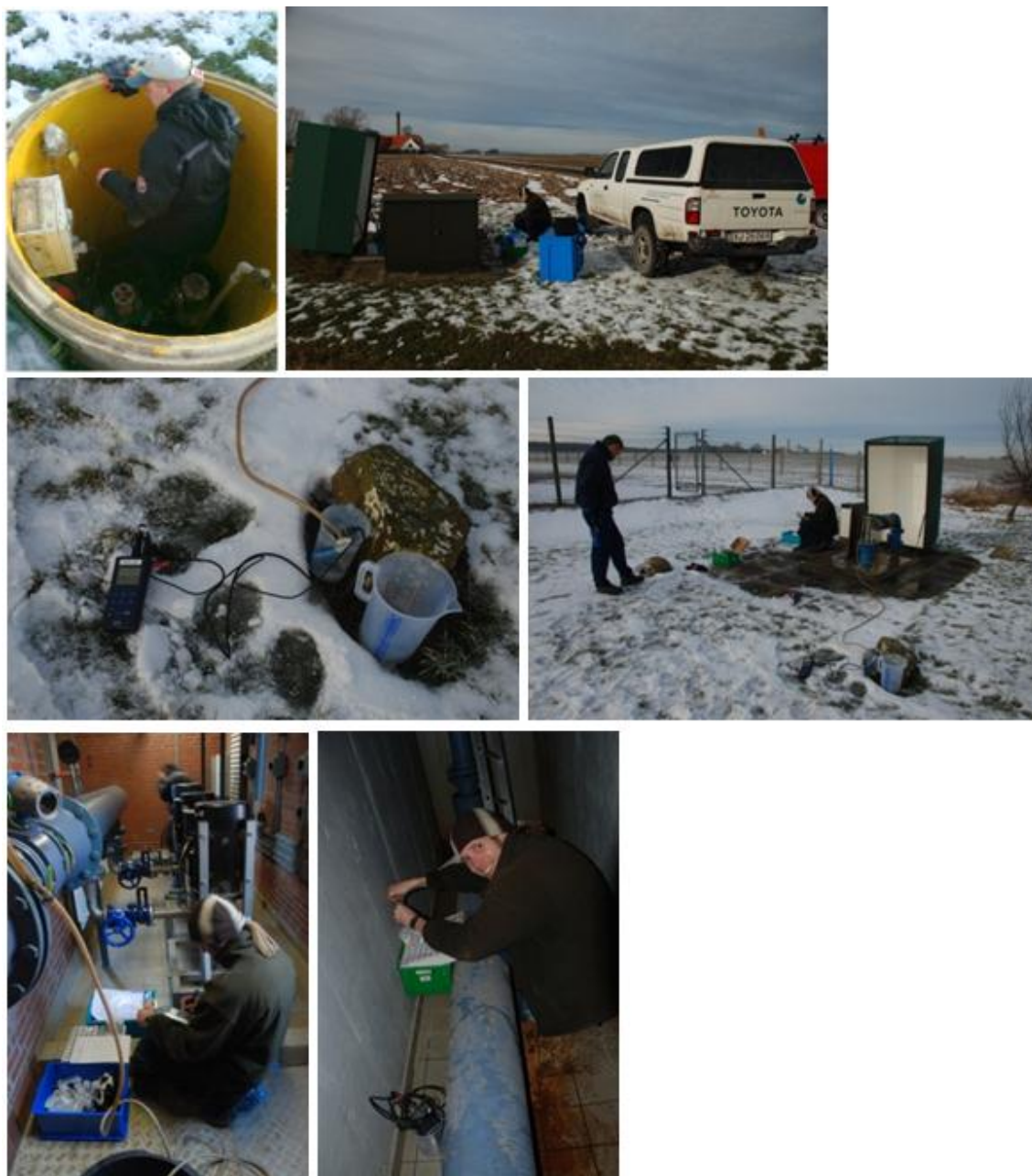
Projektbeskrivelse:

Projektet er opdelt i følgende aktiviteter:

- Beskrivelse af geologien i de anvendte borer (8-10 stk.) baseret på oplysninger fra JUPITER databasen
- En beskrivelse af vandets kemiske sammensætning i anvendte borer baseret på oplysninger fra Jupiter databasen.
- GEUS indsamler vandprøver fra aktive borer samt indløbs- og udløbsvand til laboratorieundersøgelser.
- Analyser af vandets makrokemiske sammensætning inkl. jern og mangan, pH, ledningsevne, farvetal og NVOC i vand fra anvendte borer samt indløbs- og udløbsvand.
- Undersøgelser af sammensætningen af organiske forbindelser i vand fra aktive borer. Dette vil blive udført dels ved spektrofotometrisk analyse af råvandet, dels ved ekstraktion af humusstoffer og efterfølgende spektrofotometrisk analyse af denne organiske fraktion.
- Undersøgelser af potentialet for vækst i vand fra aktive borer samt indløbs- og udløbsvand. Vandprøverne inkuberes ved 15 °C. Kimtal bestemmes som dybdeudlæg i gærestraktager ved to temperaturer (22 °C og 37 °C) som beskrevet i DS EN ISO 6222-2000.
- Resultaterne baseret på dels eksisterende data vedr. geologi og makrokemi (JUPITER databasen) dels indsamlet i forbindelse med nærværende undersøgelsesresultater af vandprøver sammenstilles i en rapport.
- Resultaterne samt undersøgelsens hovedkonklusioner præsenteres på et møde på Kerteminde Forsyning A/S – Vand.

Bilag 2. Feltarbejde og indsamling af vandprøver

Den 13. februar 2012 blev der indsamlet vandprøver til de planlagte analyser, figur B2-1.



Figur B 2-1 Billeder fra indsamlingen af vandprøver, fra såvel indvindingsboringer som på vandværket.

Fra hver indvindingsboring samt på vandværket (indgang – og afgang) blev der udtaget 12 delprøver som beskrevet i tabel B2-1 og figur B2-2.

Tabel B 2-1. Oversigt over de forskellige vandprøver der er indsamlet for hver indvindingsboring samt på vandværket (ind- og afgangsvand).

Nr.	Prøve	Flasketype	Antal pr. boring	Filtrering	Bemærk
1	Kimtal	1L glas	1*	-	Fyldes hel
2	Humus	2L glas	1	GF/D	Filtreres og hældes tilbage / opdeles
3	UV/VIS	100 mL glas	1	-	Fyldes helt.
4	UV/VIS	20 mL glas-LSC	1	0.45µm	Fyldes helt
5	UV/VIS	20 mL glas-LSC	1	GF/D	Delprøve fra nr. 2. Fyldes helt.
6	Methan	Hætteglas	1 (evt.2)	-	
7	TOC	20 mL glas-LSC	1	GF/D	Delprøve fra nr. 2. Fyldes <u>ikke</u> helt
8	NVOC+farvetal	20 mL glas-LSC	2	0.45µm	Fyldes <u>ikke</u> helt
9	TIC mm.	200 mL glas	1	-	Fyldes helt
10	AAS	100 mL plast	1	0.45µm	
11	IC	50 mL centrifugerør	1	0.45µm	
12	CFC	125 mL glas	1	-	Fyldes helt (fra bunden)

* Fra afgangsvand udtages en ekstra.



Figur B 2-2. Prøveserie fra en enkelt boring. Den kraftige farve i den største flaske skyldes udfældning af jernoxider.

I forbindelse med indsamlingen af vandprøver blev der foretaget målinger af pH, ledningsevne og temperatur og resultaterne er vist i tabel B2-2. Resultaterne er ligeledes skrevet ind i tabel 3 i rapporten.

Tabel B 2-2. Feltmålinger af pH, ledningsevne og temperatur

Prøvested	Udtaget kl.	pH	Ledningsevne ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
137.971	10.00	7,20	1172	9,2
137.511	10.40	7,14	1048	9,0
137.610	11.45	7,14	1090	8,7
Afgang	12.10	7,53	969	8,0
Indgang	12.30	7,18	1021	8,8
137.913	13.45	7,15	1010	8,9
137.274	14.00	7,10	1023	9,0
137.439	14.40	7,21	949	8,8
137.914	15.00	7,13	963	9,3
137.818	15.15	7,18	958	9,3

Bilag 3. Kemiske vandanalyser – inkl. Jupiter databasen

I nedenstående tabeller er undersøgelsen resultater sammenstillet med data fra Jupiter databasen. Som det fremgår af tabellerne er der en generel god overensstemmelse mellem de i projektet målte data og de nyeste målinger i Jupiter databasen. Udvalgte parametre er desuden sammenstillet i bilag 7, der viser udviklingen over tid for fem indvindingsboringer.

Tabel B 3-1. Vandkemiske data fra Jupiter databasen (sort skrift) og denne undersøgelse (rød skrift) for indvindingsboring 137.274 og 137.439.

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 274	28-06-1979	7,30		128	18	5	56	0,00	0,00	133		60	0,40		4,20	0,22	7,87		
137. 274	04-07-1979	7,30	5,93	128	18	5	56	0,00		133	21	60	0,40		4,20	0,22	7,87		
137. 274	28-06-1983	7,20		134	14	5	52	1,80	0,00	125		63	0,25		5,40	0,17	7,84		
137. 274	06-07-1983	7,20		134	14	5	52	1,80		125		63	0,25		5,40		7,84		
137. 274	17-09-1984	7,35		132	14	4	50	4,10	0,01	141	27	58	0,44		3,80	0,21	7,74		
137. 274	20-11-1984	7,19	5,82	129	15	4	51	3,00		132	27	57	0,40		3,75	0,21	7,67		
137. 274	20-11-1984	7,19		129	15	4	51	3,00	<0,01	132	27	57	0,44		3,75	0,21	7,67		
137. 274	15-09-1986	7,19		134	15	4	50	<3	<0,01	149	25	57	0,43		3,38	0,30	7,92		
137. 274	06-09-1988	7,27		135	16	4	50	<3	0,01	164	26	59	0,50		4,15	0,23	8,05		
137. 274	10-09-1990	7,53		138	17	4	51	<3	0,02	130		61	0,49	4,0	4,06	0,23	8,29		
137. 274	07-09-1992	7,20		148	15	4	52	<3	0,02	155		58	0,44	4,3	4,52	0,26	8,58		
137. 274	12-09-1994	7,29		141	16	4	50	<3	0,02	154		67	0,39	4,5	3,73	0,28	8,35		
137. 274	26-08-1996	7,26		154	13	4	48	0,03	<0,02	195		66	0,38	3,1	4,54	0,26	8,75	11,8	11,2
137. 274	07-09-1998	7,04		147	16	4	50	0,03	<0,02	197		78	0,31	3,1	3,97	0,23	8,65	12,1	11,2
137. 274	26-02-2001	7,50		140	17	4	52	<0,05	<0,02	152		70	0,48	3,4	4,50	0,21	8,38		
137. 274	04-05-2005	7,50		150	17	4	48	<0,5	0,01	160		68	0,45	5,0	4,70	0,22	8,88		
137. 274	02-04-2009			130	17	4	60	<0,5	0,05	130		66	0,45	3,2	3,80	0,18	7,89		
137. 274	13-02-2012	7,10	6,22	144	18	4	54	0,01	<0,01	157		68	0,47	3,6	4,24	0,23	8,67	11,4	11,3

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 439	01-04-1969	7,40		99	9			5,00	0,12	99		43	0,40		5,50	0,10	5,66		
137. 439	14-07-1969	7,40	5,51	99	9		69	5,00		99	10	43	0,40		5,50	0,10	5,66		
137. 439	14-07-1969	7,40	5,51	99	9		69	5,00		99	10	43	0,40		5,50	0,10	5,66		
137. 439	28-06-1979	7,45	5,22	144	15	4	36	2,00	0,00	135	21	63	0,50		4,10	0,22	8,42		
137. 439	24-08-1983	7,45		148	14	4	32	0,00	0,00	167		57	0,20		4,10	0,08	8,54		
137. 439	20-11-1984	7,22	5,06	144	13	3	33	<3		158	27	58	<0,5		3,85	0,31	8,26		
137. 439	20-11-1984	7,22		144	13	3	33	<3	<0,01	158	27	58	0,46		3,85	0,31	8,26		
137. 439	15-09-1986	7,17		149	14	3	32	<3	<0,01	185	27	56	<0,01		3,72	0,31	8,59		
137. 439	06-09-1988	7,29		152	14	3	33	<3	0,01	194	27	62	0,48		4,55	0,20	8,74		
137. 439	10-09-1990	7,61		158	14	3	33	<3	0,03	163		66	0,53	3,4	4,72	0,28	9,04		
137. 439	07-09-1992	7,27		163	13	3	34	<3	0,02	175		67	0,48	4,4	4,65	0,25	9,20		
137. 439	12-09-1994	7,28		155	14	3	32	<3	0,02	176		73	0,43	4,1	4,01	0,27	8,89		
137. 439	26-08-1996	7,27		162	15	3	33	<0,02	<0,02	203		77	0,42	3,4	4,54	0,24	9,32	11,6	11,1
137. 439	07-09-1998	7,10		157	14	3	33	0,02	<0,02	176		57	0,28	3,2	3,84	0,23	8,99	10,5	10,7
137. 439	26-02-2001	7,60		160	14	3	36	<0,05	<0,01	167		66	0,51	3,6	4,30	0,19	9,14	10,7	10,4
137. 439	04-05-2005	7,70		150	14	3	38	<0,5	0,01	170		61	0,47	5,6	4,40	0,19	8,64		
137. 439	02-04-2009			140	13	3	37	<0,5	<0,005	170		61	0,46	3,9	3,90	0,16	8,06		
137. 439	13-02-2012	7,21	5,39	146	14	3	40	0,01	<0,01	171		62	0,50	4,0	3,86	0,20	8,40	10,7	10,4

Tabel B 3-2. Vandkemiske data fra Jupiter databasen (sort skrift) og denne undersøgelse (rød skrift) for indvindingsboring 137.511, 137.610 og 137.818.

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 511	22-12-1975	7,20	6,57	112	11		45	3,00		21	23	55	0,30		4,00	0,17	6,49		
137. 511	22-12-1975	7,20	6,57	112	11		45	3,00		21	23	55	0,30		4,00	0,17	6,49		
137. 511	25-07-1979	7,25		110	11	5	55	0,00	0,00	66		49	0,90		6,50	0,30	6,39		
137. 511	01-08-1979	7,35	6,28	109	13	6	63	3,00	0,00	63	20	39	0,80		1,35	0,10	6,51		
137. 511	28-09-1982	7,35		122	12	6	60	0,00	0,00	81		60	0,20		7,00	0,17	7,08		
137. 511	02-01-1984	7,50		175	13	4	49	0,41	0,00	115		63	0,15		3,40	0,17	9,80		
137. 511	20-11-1984	7,17		120	13	4	57	3,00	<0,01	106	27	60	0,45		3,80	0,30	7,06		
137. 511	23-09-1986	7,22		124	13	4	53	5,10	0,03	93	27	58	0,47		3,54	0,25	7,26		
137. 511	06-09-1988	7,30		125	14	4	56	<3	0,01	114	26	63	0,52		4,30	0,21	7,39		
137. 511	10-09-1990	7,51		123	15	4	49	<3	0,03	86		63	0,50	5,9	4,23	0,26	7,37		
137. 511	24-11-1992	7,17		126	14	4	53	<3	0,02	115		61	0,45	4,3	4,19	0,29	7,44		
137. 511	12-09-1994	7,16		131	15	4	58	<3	0,02	131		64	0,41	4,9	3,95	0,27	7,77		
137. 511	26-08-1996	7,24		137	17	4	52	0,03	<0,02	142		68	0,41	4,0	4,60	0,33	8,24	11,0	10,9
137. 511	22-09-1997	7,18		139	11	4	52	0,13	<0,02	135		64	0,48	5,3	4,59	0,22	7,84	10,6	10,5
137. 511	29-03-2000	7,50		130	15	4	56	<0,05	<0,01	135		56	0,52	4,4	4,61	0,20	7,72	10,3	10,3
137. 511	01-04-2004	8,30		150	16	4	60	<0,5	<0,01	150		69	0,43	4,6	4,80	0,23	8,80		
137. 511	02-04-2009			140	16	4	58	<0,5	<0,005	160		66	0,46	4,2	4,50	0,20	8,30		
137. 511	13-02-2012	7,14	6,36	145	17	4	62	0,01	<0,01	196		74	0,50	4,5	4,51	0,25	8,64	12,5	11,6

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 610	28-06-1979	7,20	5,93	138	24	5	56	1,00		135	21	56	0,40		4,20	0,22	8,86		
137. 610	28-06-1979	7,20	5,93	138	24	5	56	1,00		135	21	56	0,40		4,20	0,22	8,86		
137. 610	28-09-1982	7,30		143	13	5	55	0,00	0,00	157		60	0,25		7,00	0,17	8,21		
137. 610	14-05-1984	7,65		143	13	4	43	0,93	0,00	151		64	0,08		5,00	0,20	8,21		
137. 610	20-11-1984	7,15	5,80	139	14	4	51	3,00		154	28	58	<0,5		4,55	0,32	8,09		
137. 610	20-11-1984	7,15		139	14	4	51	3,00	0,01	154	28	58	0,45		4,55	0,32	8,09		
137. 610	23-09-1986	7,22		144	14	4	51	4,30	0,02	172	28	58	0,47		4,20	0,29	8,34		
137. 610	06-09-1988	7,27		145	15	4	49	<3	0,01	174		59	0,54		5,10	0,24	8,47		
137. 610	10-09-1990	7,50		149	15	4	49	<3	0,03	153		62	0,53	5,5	5,23	0,33	8,67		
137. 610	07-09-1992	7,22		156	14	4	56	<3	0,02	173		63	0,47	4,9	5,27	0,31	8,94		
137. 610	12-09-1994	7,18		151	16	4	49	<3	0,02	182		66	0,39	4,9	4,66	0,33	8,85		
137. 610	04-09-1995	7,22		149	15	3	52	0,02	<0,02	190		68	0,40	4,3	4,27	0,28	8,67		
137. 610	26-08-1996	7,23		160	14	4	47	0,03	<0,02	150		80	0,40	4,2		0,40	9,14	11,3	11,6
137. 610	07-09-1998	7,09		156	17	4	50	<0,02	<0,02	178		65	0,30	4,2	4,70	0,16	9,18	11,4	11,7
137. 610	26-02-2001	7,60		160	17	4	48	0,06	<0,01	173		69	0,48	4,4	5,00	0,25	9,38		
137. 610	04-05-2005	8,00		160	17	4	49	<0,5	0,01	180		68	0,46	6,3	5,80	0,25	9,38		
137. 610	02-04-2009			160	18	4	49	<0,5	<0,005	200		66	0,46	4,8	5,60	0,24	9,47		
137. 610	13-02-2012	7,14	6,24	162	18	4	53	0,01	<0,01	202		69	0,49	4,6	5,16	0,27	9,57	12,4	12,2

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 818	09-09-1987	7,20		161	14	4	31	<3	0,01	209	28	69	0,40		1,38	0,21	9,19		
137. 818	04-09-1989	7,35		173	14	3	32	<3	<0,01	178		82	1,10	2,8	3,48	0,26	9,78		
137. 818	03-09-1991	7,37		164	14	4	35	<3	0,02	178		85	0,37	4,7	3,84	0,19	9,34	47688	
137. 818	13-11-1991	7,34		167	14	3	33	<3	<0,01	175		85	0,33	0,4	1,57	0,24	9,49	48288	
137. 818	13-09-1993	7,26		165	14	4	34	<3	<0,01	179		93	0,32	3,3	3,34	0,23	9,39		
137. 818	04-09-1995	7,28		162	13	4	40	<0,02	<0,02	178		88	0,28	3,0	3,25	0,18	9,15		
137. 818	22-09-1997	7,24		166	10	3	35	0,03	<0,02	178		77	0,31	3,5	3,59	0,17	9,07	11	10,9
137. 818	29-03-2000	7,50		160	12	4	41	<0,05	<0,01	178		75	0,34	3,4	3,56	0,14	8,97	10,8	10,8
137. 818	01-04-2004	8,20		160	13	4	42	<0,5	<0,01	180		66	0,27	3,2	3,50	0,16	9,05		
137. 818	30-04-2008			150	12	4	39	<0,5	<0,005	170		65	0,30	3,0	3,30	0,16	8,47		
137. 818	13-02-2012	7,18	5,32	150	12	4	43	0,01	<0,01	160		64	0,29	3,0	2,99	0,16	8,49	10,5	10,6

Tabel B 3-3. Vandkemiske data fra Jupiter databasen (sort skrift) og denne undersøgelse (rød skrift) for indvindingsboring 137.913, 137.914 og 137.971.

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 913	13-02-2012	7,15	5,95	150	17	4	49	0,01	<0,01	159		63	0,46	4,4	4,79	0,26	8,85	11,1	11,3

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 914	13-08-2003	7,50		150	14	3	35	<1	<0,01	167		53	0,46	3,5	5,30	0,27	8,64		
137. 914	12-06-2007	7,50		160	14	3	33	1,00	<0,005	170		59	0,48	4,3	4,80	0,26	9,14		
137. 914	13-02-2012	7,13	5,51	152	13	3	40	<0,01	<0,01	175		61	0,42	3,6	3,77	0,23	8,65	10,9	10,6

DGU nr.	Prøvedato	pH	alk_ mækv/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	Cl mg/l	NH4 mg/l	NVOC mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ca+Mg mækv/l	Anion mækv/l	Kation mækv/l
137. 971	12-06-2007	7,50		150	15	4	57	1,10	<0,005	150		84	0,53	4,4	5,80	0,29	8,72		
137. 971	30-04-2008			150	15	4	65	<0,5	<0,005	160		84	0,52	4,8	5,10	0,25	8,72		
137. 971	13-02-2012	7,20	6,82	148	16	4	87	0,01	<0,01	161		94	0,54	4,8	4,50	0,25	8,66	12,9	12,8

Bilag 4. Analysemetoder til bestemmelse af organiske forbindelser

1. UV-Vis Spektrofotometriske bestemmelser på ubehandlede prøver:

Metode:

- Analysen gennemføres normalt på tre vandprøver; ufiltreret, GF/D-filtreret og 0.45µm (NVOC) –filtreret. I denne undersøgelse kunne kun den ufiltrerede prøve anvendes, da der var en markant udfældning af jernoxider i de filtrerede vandprøver (bortset fra prøven af afgangsvand, der jfr. analyseresultaterne i tabel 2 indeholdt koncentrationer af jern under detektionsgænsen).
- Der optages et spektrum fra 200 til 800 nm gennem en 1 cm-kvartskuvette med MiliQ-vand som baggrund.
Herudfra beregnes:
 - **SUVA** (UV-adsorption ved 254nm i en 1-cm kuvette ganget med 100 og divideret med NVOC i mg/L). Høj SUVA (typisk over 4) indikerer hovedsagligt hydrofobisk organisk materiale med en aromatisk karakter (humus). SUVA mindre end 3 indikerer hovedsageligt hydrofilt materiale (kulhydrater m.m.). Muligheden for at fjerne organisk stof ved koagulering er ofte positivt korreleret med SUVA.
 - **A4/6** (A465nm/A665nm). Hvis humusstoffer er årsagen til vandets farve vil et forhold mellem A4/6 < 5 vise at der hovedsageligt er tale om humussyre (A4/6 < 5) eller fulvosyre (A4/6 > 5).
 - **A270nm/A407nm**. Dette forhold kan bruges til at angive om det organiske stof (OM) er af marin oprindelse, da marint OM har en top ved 407 nm (der skyldes humusbundne phaeopigmenter som fremkommer ved nedbrydning af algeklorofyl). Denne top ved 407 nm ses ikke hos terrestrisk OM. Er forholdet mellem A270nm/A407nm mindre end 2 indikerer det marin oprindelse (jfr. eksempelvis C. Steinberg's bog "Føoken og Liebezeit" fra 2000).

Tabel B 4-1. Data fremkommet ved spektrofotometrisk analyse af ubehandlede vandprøver.

Prøve	SUVA ₂₅₄	A2/A4	A270/A407
Indgang	3,7	5,6	4,0
Afgang	3,1	6,8	5,5
137.511	4,6	4,0	2,9
137.971	4,2	4,1	3,2
137.610	4,2	5,2	3,8
137.913	4,0	2,5	2,0
137.274	4,0	4,8	3,3
137.439	4,0	5,6	3,8
137.914	5,1	2,6	2,0
137.818	4,0	5,4	3,7

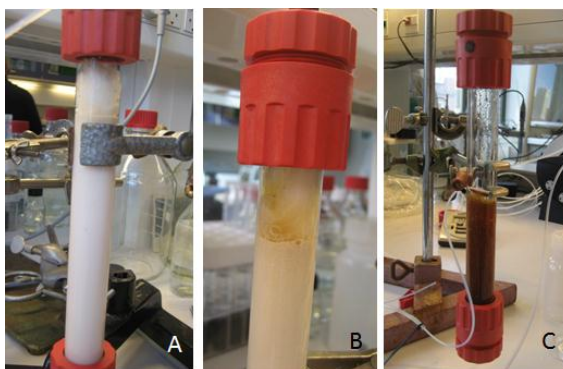
2. Kvantificering og karakterisering af det totale humusstof (HS - "hydrophobic acids") samt "hydrophobic neutrals"

Metode:

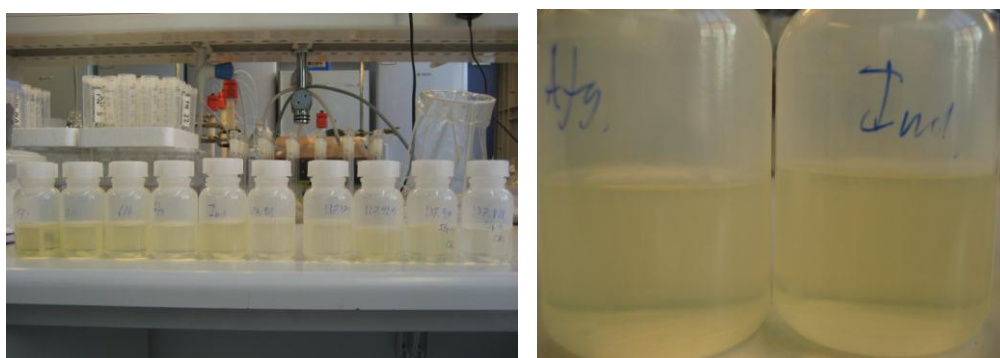
- 2 L vand filtreres gennem GF/D-filter på prøvetagningsdagen. Dagen efter sænkes pH til 2.0 (± 0.2) med 2M svovlsyre (H_2SO_4) og flasken gemmes 3 uger i køleskab til DAX8-filtrering.
- DAX8-filtrering sker under anvendelse af Supelite DAX8 resin, der vaskes grundigt med først methanol (MeOH), dernæst med først 0.1M natriumhydroxid (NaOH), med 0,1 saltsyre (HCl) og til slut MiliQ-vand.
- Den 2 L vandprøve med lav pH skylles gennem en DAX-8-kolonnen ved en flowhastighed på 15 kolonnevolumner pr.time (svarende til ca. 600 mL/t) og effluenten opsamles. Delprøver udtages til analyse af NVOC og scanning på UV-VIS spektrofotometer. Kolonnen påsættes 20 mL vand (H_2O), og "tilbageeluering" (Back elution – omvendt flowretning) med 25 mL 0.1 M NaOH efterfulgt af ca. 25 mL H_2O gennem et H^+ -mættet kationbytttermateriale (15 mL kolonne med Amberlite IR-120 (H^+)) indtil der ikke er mere farve i eluatet fra ionbytterkolonnen. Der udtages delprøver af HS-opløsningen som fortyndes 5 gange til analyse for NVOC samt ved spektrofotometri. Herefter frysetørres resten af det oprensede HS til afvejning. NVOC-fraktionen "Hydrophobic neutrals" kan udregnes som den fraktion der hæfter til DAX8-resinen men som ikke frigives ved høje pH-værdier.



Figur B 4-1. 2L-vandprøver filtreres gennem kolonner med 30 mL DAX8-resin. Humusstoffer samt ikke ladede hydrofobe molekyler tilbageholdes i kolonnerne.



Figur B 4-2. A) DAX8-kolonne med farvet humusstof (HS) siddende i toppen af DAX8-materialet – lige under glasulden. B) HS frigøres ”baglæns” med 0.1M NaOH og ses i glasulden. C) Det frigjorte HS filtreres øjeblikkeligt gennem ionbytter.



Figur B 4-3. A) Alle HS-opløsninger før frysetørring. B) HS-opløsninger fra 2 L afgang- hhv. indgangsvand. Farven var tilsyneladende lidt kraftigere i indgangsvandet hvilket indikerer en højere HS-koncentration.

3. Ekstra resultater fra DAX8-filtrerede prøver.

Tabel B 4-2. Resultater efter DAX8-filtrering. Forholdet mellem A270/A407 er taget med, men resultaterne skal tolkes forsigtigt på grund af meget lave absorptioner ved 407 nm.

DGU nr.	254	270	407	465	665	NVOC	SUVA	A270/A407
Indgang	0,20	0,14	0,003	0,001	0,001	2,1	9,6	47
Afgang	0,057	0,043	0,002	0,001	0,001	1,9	3,1	22
137.511	0,22	0,15	0,003	0,001	0,001	2,2	9,8	50
137.971	0,21	0,14	0,003	0,001	0,001	2,6	7,9	48
137.610	0,25	0,17	0,003	0,002	0,001	2,6	9,6	57
137.913	0,22	0,15	0,003	0,002	0,001	2,2	10,1	51
137.274	0,20	0,14	0,003	0,001	0,001	1,9	10,4	47
137.439	0,19	0,13	0,003	0,001	0,001	2,1	8,9	44
137.914	0,20	0,14	0,003	0,002	0,001	1,8	11,5	48
137.818	0,17	0,12	0,003	0,002	0,001	1,8	9,4	39

Bilag 5. Protokol til måling af kimtalsudvikling i drikkevandsprøver

Prøvetagning:

Vandprøverne blev udtaget i 1-L blue cap flasker som var syrevasket og efterfølgende opvarmet ved 300 °C i 12 timer.

Ifølge DS/EN ISO 6222:2000 må vandprøverne opbevares ved 2-5°C i højst 12 timer inden analyse. I dette projekt var det ikke praktisk muligt at overholde denne tidsfrist grundet lange transporttider. Vi har derfor måtte fravige DS/EN ISO 6222:2000 forskriften på dette punkt og således har opbevaringstiden været maksimalt 20 timer ved en temperatur under 5°C. Der er analyseret vandprøver fra 8 indvindingsboringer, ind- og afgangsvand udtaget på vandværket samt afgangsvand, der blev tilsat jern.

Forsøgsopstilling:

Der er anvendt følgende glasvarer: 11 stk. 200-mL målecylindre, 11 stk. 1-L Erlenmeyerkolber (baffled) og 22 stk. 120-mL serumflasker. Alle anvendte glasvarer i forsøgsopstillingen var syrevasket og efterfølgende opvarmet til 300 °C i 12 timer. Under opvarmningen var åbningen på glasvarerne dækket med alufolie. Glasvarer til CFU-tælling blev autoklaveret.

Følgende fremgangsmåde blev anvendt for:

- Fra vandprøver fra indvindingsboringer og vandprøven fra indtaget på vandværket blev der hældt ca. 600 ml vand fra hver prøve op i 1-L Erlenmeyer kolber (uden alufolie) og rystet 1 time på rystebord ved 200 rpm. Herefter var vandet fuldtud iltet og det oprindelige indhold af methan frigivet, hvorved methan ikke kunne tjene som kulstofkilde i undersøgelsen af kimtalsudviklingen. Prøven der bestod af afgangsvand med jern fremkom ved at tilsætte 30 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ svarende til en slutkoncentration på 10 mg/L jern.
- Prøven af afgangsvand blev anvendt direkte fra prøvetagningsflasken.
- Herefter blev der udtaget 2 x 110 ml vand til serumflasker, der blev lukket med teflonbelagte låg fra National Scientific Company som var checket for afsmitning.
- Serumflaskerne blev herefter inkuberet vandret liggende på et rystebord ved 15 grader og 150 rpm.
- Ved forsøgets start (dag 0) blev der udtaget 2-mL prøve fra Erlenmeyerkolberne, og efter 1, 3, 7, 13, og 21 dages inkubation rystes serumflaskerne hvorefter der udtages 1 mL fra hver serumflaske (i alt 2 mL) med sprøjter med 0,6 mm kanyler til CFU tællinger. Prøverne fra serumflaskerne (replikaterne) blandes i 10-mL rør.

Fortyndingsrækker i peptone salt opløsning (DS/EN ISO 6887-1:1999)

Peptone salt opløsning fremstilles ved at 1 gram enzymatic digest of casein (tryptone) og 8,5 g natriumchlorid opløses i 1 liter vand. Stofferne opløses, pH indstilles til $7,0 \pm 0,2$ og opløsnin-

gen autoklaveres ved 121°C i 15 min. pH checkes efter autoklavering, når opløsningen er afkølet til stuetemperatur.

Fortyndingsrækker. Der laves 10 x fortyndingsrækker i 10 mL sterile fortyndingsrør. Til hvert rør tilsættes 9 ml peptone salt opløsning. Herefter overføres 1 mL fra fortynding til fortynding efterfulgt af whirly-mixning i 5-10 sekunder. Den højest tilladelige variation på volumenudmålingerne er $\pm 2\%$. Fortyndingsrækkerne må højest henstå 30 min før udpladning. For dagene 0, 1 og 3 bruges fortyndingerne 100 til 10^{-3} , for dag 7 fortyndingerne 100 til 10^{-4} og for senere henstandstider vurderes det ud fra de foreløbige resultater om der skal bruges højere fortyndinger.

Kimtælling ved dybdeudsæd i gærekstraktagar ved 22 og 36 °C (DS/EN ISO 6222:2000)

Til denne agar blandes 6,0 g tryptone (peptone fra casein, pancreatic digest), 3,0 g gæreks-trakt, 15,0 g baktoagar i 1 L vand. pH justeres til $7,2 \pm 0,2$, blandingen autoklaveres ved $121 \pm 3^\circ\text{C}$ i 15 ± 1 minutter i flasker med et volumen op til 500 ml. Når agaren skal bruges smeltes den, afkøles og placeres på vandbad ved $45 \pm 1^\circ\text{C}$ i maksimalt 4 timer. Agarens temperatur kontrolleres før brug. Petriskåle inokuleres ved at tilsætte 1 ml af fortyndingerne. Indenfor maksimalt 15 minutter tilsættes 15-20 ml gærekstraktagar til de inokulerede petriskåle og petri-skålenes indhold blandes ved langsomt roterende bevægelser. Der laves to agarplader for hver fortynding, en til hver temperatur. Det ene sæt plader inkuberes med bunden opad ved $22 \pm 2^\circ\text{C}$ i 68 ± 4 timer, det andet sæt med bunden opad ved $36 \pm 2^\circ\text{C}$ i 44 ± 4 timer. Pladerne tælles umiddelbart efter inkubering. Hvis dette ikke er muligt opbevares pladerne i højest 48 timer ved $5 \pm 3^\circ\text{C}$. Der kan maksimalt tælles 250 kolonier per plade. Kimtallet beregnes som cfu per ml.

Den her anvendte ISO-standard DS/EN ISO 6222:2000 afløser to tidligere danske standarder, henholdsvis DS 2254:1983 Vandundersøgelse. Bestemmelse af aerobt kimtal ved 37 grader C og DS 2252:1983 Vandundersøgelse. Bestemmelse af kimtallet og fluorescerende kim ved 21 grader C i Kings agar B, der begge ikke længere er gældende.

Bilag 6. Borebeskrivelser

I dette bilag findes borebeskrivelser for de indvindingsboringer, der er anvendt i projektet. Boreprofilerne er hentet i Jupiter databasen og som det fremgår er de enkelte beskrivelser meget forskellige, hvor der for nogle boringer findes ret detaljerede beskrivelser findes der for andre kun en kopi af en borerapport.



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 274

Borested : KERTEMINDE VANDVÆRK PKT 68
5300 Kerteminde

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 1/12 1963

Boringsdybde : 29.5 meter

Terrænkote : 8 meter o. DNN

Brøndborer :

MOB-nr :

BB-journr :

BB-bomr :

Prøver

- modtaget :

- beskrevet :

af : G

- antal gemt :

Formål :

Kortblad : 1313 IISØ

Datum : ED50

Anvendelse : Vandværksboring

UTM-zone : 32

Koordinatkilde :

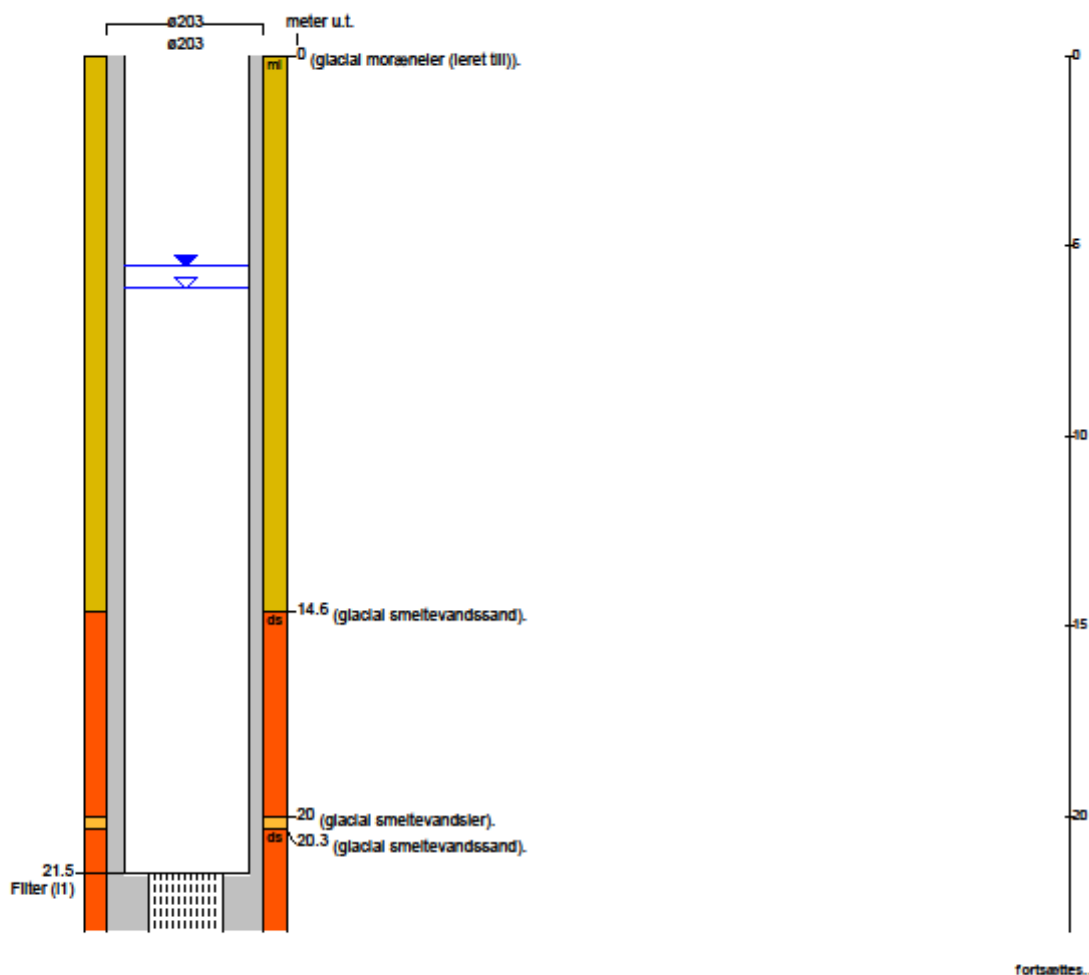
Boremetode :

UTM-koord. : 603151, 6143599

Koordinatmetode : Dig. på koor.bord

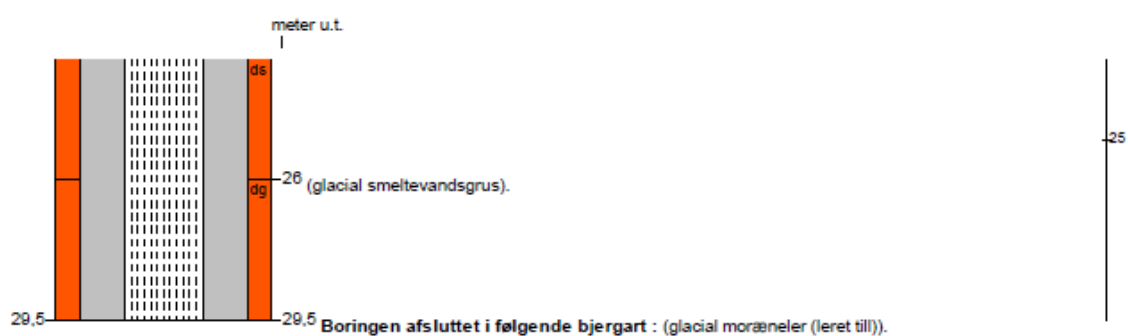
Indtag 1	(seneste) (første)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
		5.5 meter u.t. 6.1 meter u.t.	15/12 2011 1/12 1963			

Notater : Filtermateriale: Messing



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 274



**BORERAPPORT****DGU arkivnr: 137. 439****Borested** : Ladby, Kejrup, pkt.123 S for Kejrup Skov
5300 Kerteminde**Kommune** : Kerteminde
Region : Syddanmark**Boringsdato** : 16/4 1989**Boringsdybde** : 28 meter**Terrænkote** : 11 meter o. DNN**Brøndbore** : Neptun, Nyborg**MOB-nr** :**BB-journr** :**BB-bomr** :**Prøver**

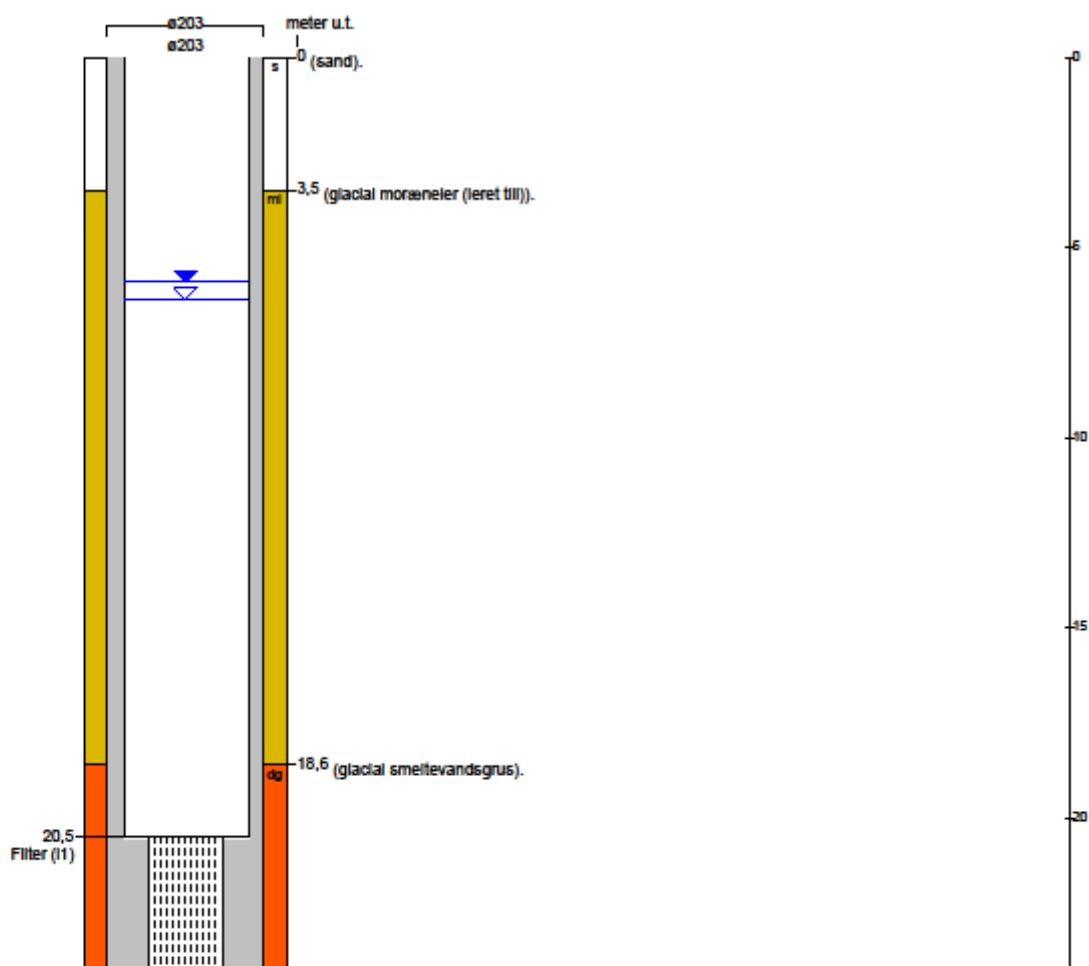
- modtaget :

- beskrevet : 9/4 1970 af : G

- antal gemt :

Formål : Vandforsyningsboring**Kortblad** : 1313 IISØ**Datum** : ED50**Anvendelse** : Vandværksboring**UTM-zone** : 32**Koordinatkilde** :**Boremetode** : Tørboring/slagboring**UTM-koord.** : 601997, 6143128**Koordinatmetode** : Dig. på koor.bord

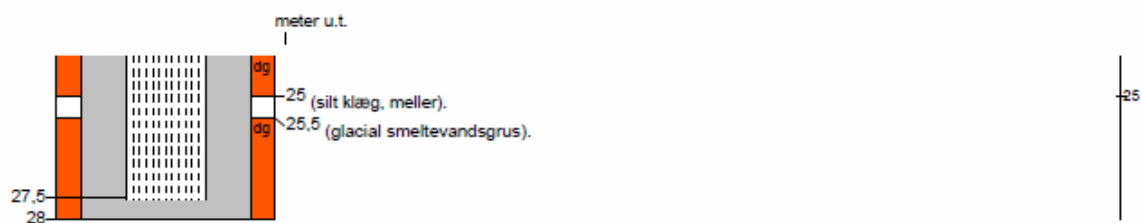
Indtag 1	(seneste) (første)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
		5,9 meter u.t. 6,35 meter u.t.	15/12 2011 16/4 1989			



fortsættes...

BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 439





BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 511

Borested : Vejleløk, Revninge, Kerteminde Vv.
5300 Kerteminde

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 13/1 1976

Boringsdybde : 26.2 meter

Terrænkote : 3.3 meter o. DNN

Brøndborer : A. & J. Rasmussen, Årup

MOB-nr :

BB-journr :

BB-bomr :

Prøver

- modtaget :

- beskrevet : 23/10 1980 af : G

- antal gemt :

Formål : Vandforsyningsboring

Kortblad : 1313 IISØ

Datum : ED50

Anvendelse : Vandværksboring

UTM-zone : 32

Koordinatkilde :

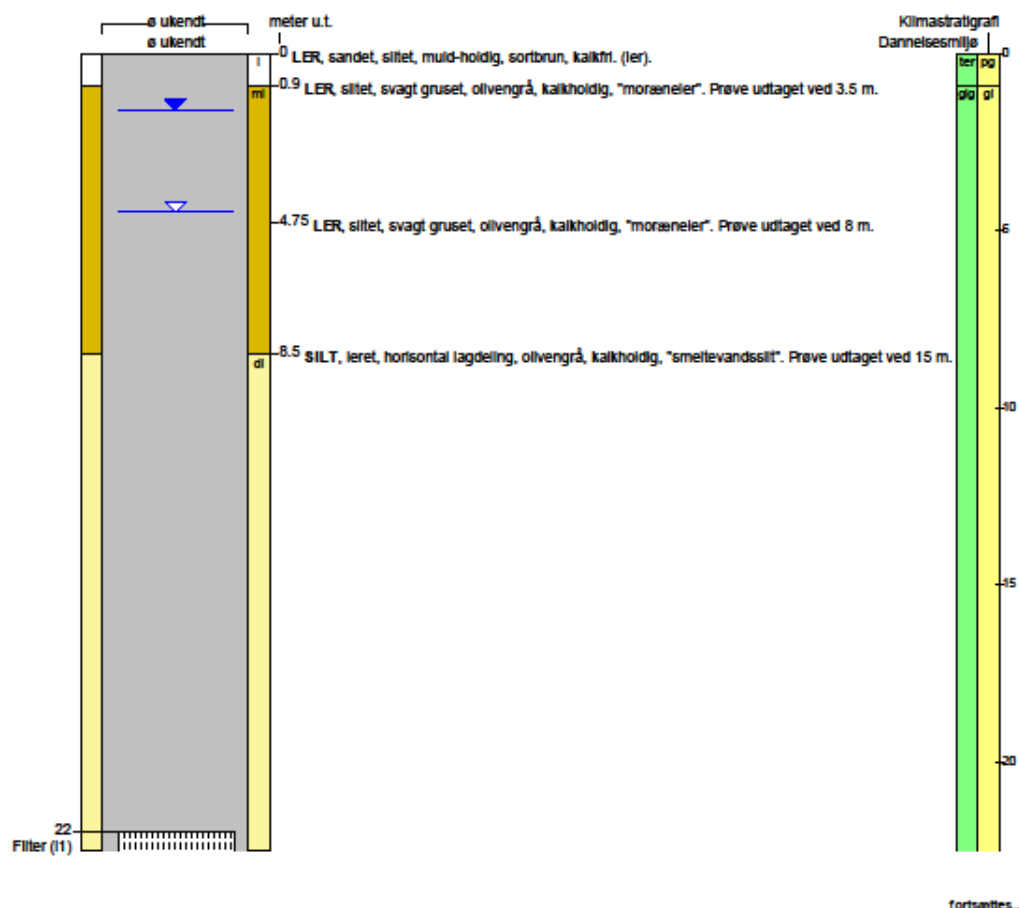
Boremetode :

UTM-koord. : 603755, 6144159

Koordinatmetode : Dig. på koor.bord

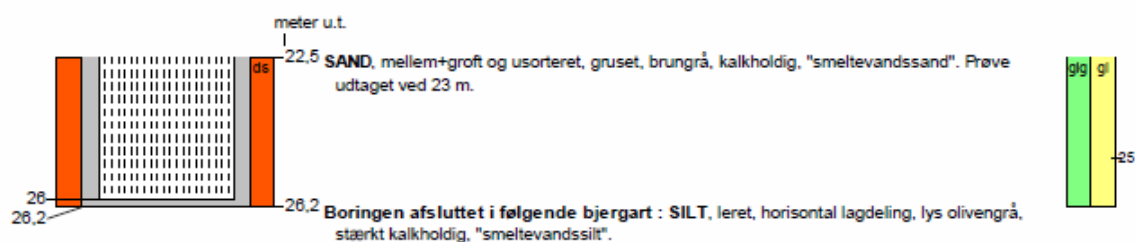
Indtag 1	(seneste) (første)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse 25.7 m ³ /t	Sænkning 13.9 meter	Pumpetid 72 time(r)
		1.6 meter u.t. 4.5 meter u.t.	15/12 2011 13/1 1976			

Notater : kaldet bor. 2 på lok.skema for 137.533



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 511



Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.

0 - 0,9 terrigen - postglacial
0,9 - 26,2 glacigen - glacial



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 610

Borested : Vejleløk, Revninge, Kerteminde Vv.
5300 Kerteminde

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 25/8 1980

Boringsdybde : 21 meter

Terrænkote : 4.5 meter o. DNN

Brøndborer : A. & J. Rasmussen, Årup
MOB-nr :
BB-journr :
BB-bomr :

Prøver
- modtaget : 30/9 1980 antal : 9
- beskrevet : 21/10 1983 af : CS
- antal gemt : 0

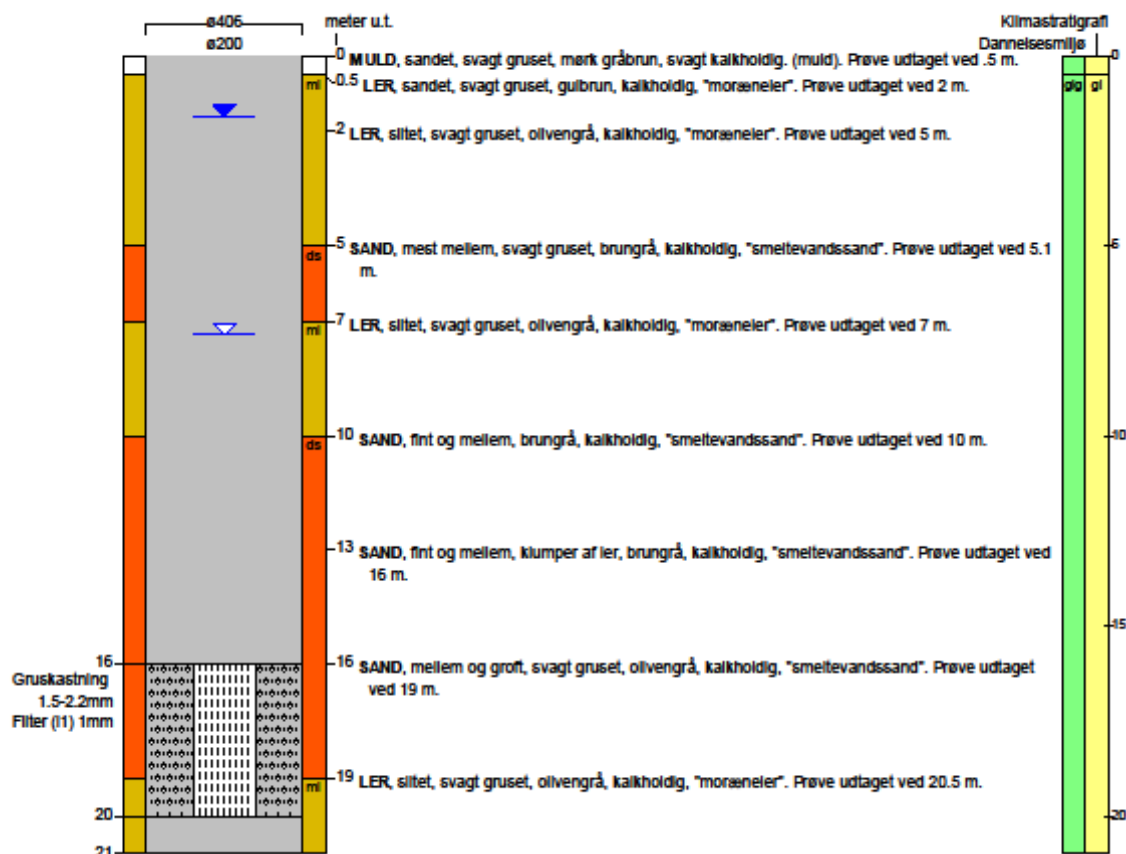
Formål : Vandforsyningsboring
Anvendelse : Vandværksboring
Boremetode : Skylløboring

Kortblad : 1313 IISØ
UTM-zone : 32
UTM-koord. : 603737, 6144008

Datum : ED50
Koordinatkilde :
Koordinatmetode : Dig. på koor.bord

Indtag 1	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
(seneste)	1.6 meter u.t.	15/12 2011	36 m³/t	7.3 meter	120 time(r)
(første)	7.35 meter u.t.	25/8 1980			

Notater : kaldet bor. 3 på lok.skema for 137.533



fortsættes...



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 610

Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.

0 - 0,5 terrigen - postglacial

0,5 - 21 glacigen - glacial



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 818

Borested : Nymarkshuse, Kerteminde Vv.
5300 Kerteminde
bor. "87"

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 15/9 1987

Boringsdybde : 30 meter

Terraenkote : 9.5 meter o. DNN

Brøndborer : A. & J. Rasmussen, Årup
MOB-nr : 2861
BB-journr :
BB-bomr :

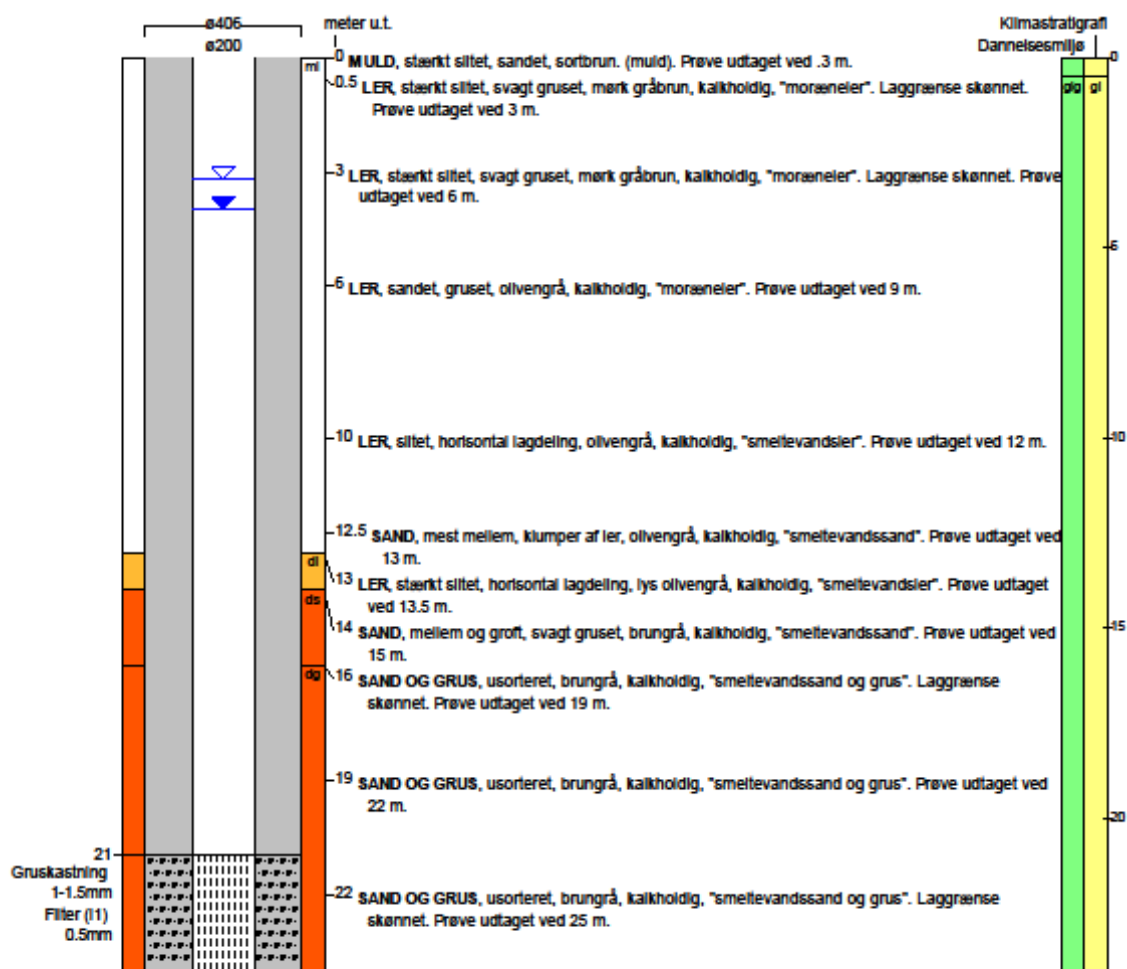
Prøver
- modtaget : 7/10 1987 antal : 13
- beskrevet : 12/2 1992 af : PJ
- antal gemt :

Formål : Vandforsyningsboring
Anvendelse : Vandværksboring
Boremetode : Lufthæve

Kortblad : 1313 IISØ
UTM-zone : 32
UTM-koord. : 601396, 6142672

Datum : ED50
Koordinatkilde :
Koordinatmetode : Dig. på koor.bord

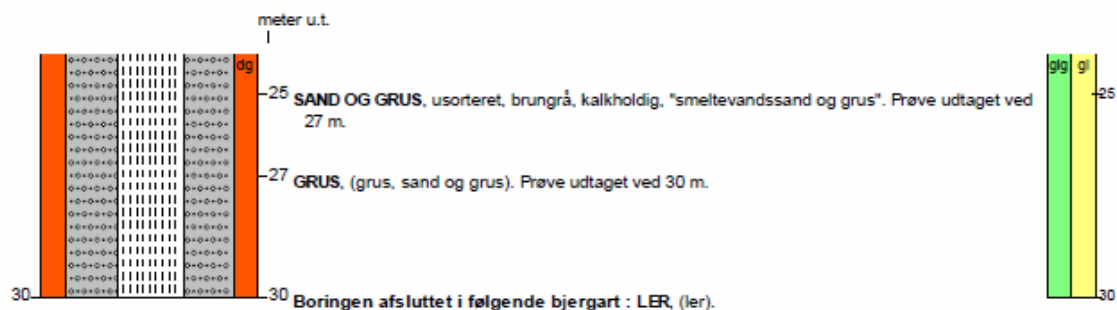
Indtag 1	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
(seneste)	3.98 meter u.t.	15/12 2011	36 m³/t	1.2 meter	72 time(r)
(første)	3.17 meter u.t.	15/9 1987			



fortsættes...

BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 818



Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.

0 - 0,5 terrigen - postglacial
0,5 - 30 glacigen - glacial

Borings- og Installationsrapport

-5 JAN. 2005

GRUNDVANDSKONTORET
IMPORT

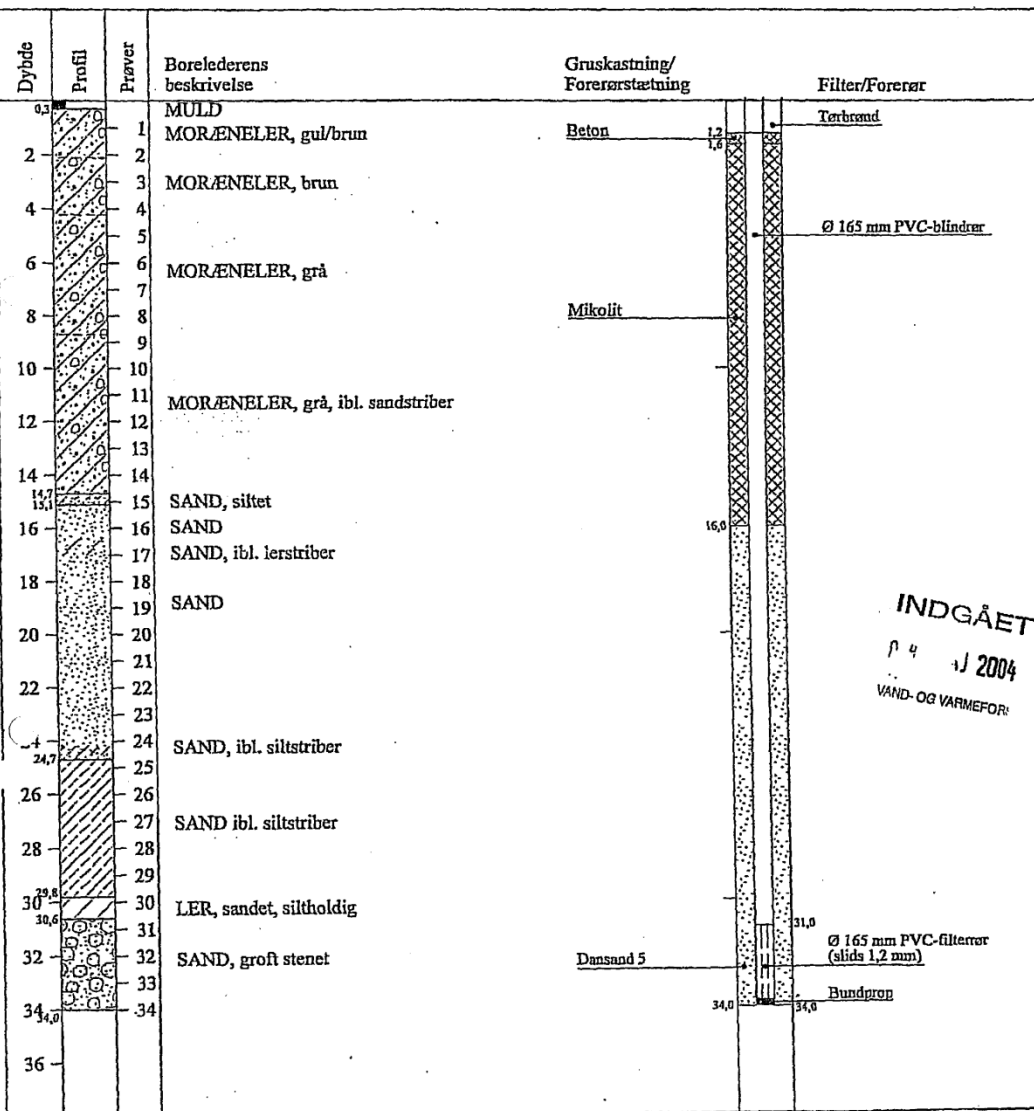
-2 JUNI 2004

137.913

Filterboring: B 63

DGU-nummer: 137.913

Borediameter	: 10"	Kote top forerør (ROK)	: 8,6
Filterdiameter	: 165 mm	Terrænkote	: 8,50
Boring udført af	: KUM	X koordinat	: 603364
Dato: 2002-10-30 til: 2002-10-31		Y koordinat	: 6143802



INDGÅET

14 JUN 2004
VAND- OG VARMEFOR

GEO

Projekt: 03852 Kerteminde vandværk

Udført	: LTE	Dato: 2004-04-22	Emne: Boreprofil	
Kontrolleret	:	Dato:		Side 1/1
Godkendt	:	Dato:	Rapport 1	Bilag 1
				Rev. 0



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 914

Borested : Kerteminde Vandværk, Kejrup Alle
5300 Kerteminde
Erstat. for 137.451

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 30/1 2003

Boringsdybde : 32 meter

Terrænkote : 11 meter o. DNN

Brøndbore : GEO

MOB-nr :

BB-journr : 03852

BB-bomr : B 125 A

Prøver

- modtaget : 3/9 2003 antal : 32

- beskrevet : 22/7 2005 af : TC

- antal gemt : 0

Formål : Vandværksboring

Kortblad : 1313 IISØ

Datum : ED50

Anvendelse : Vandværksboring

UTM-zone : 32

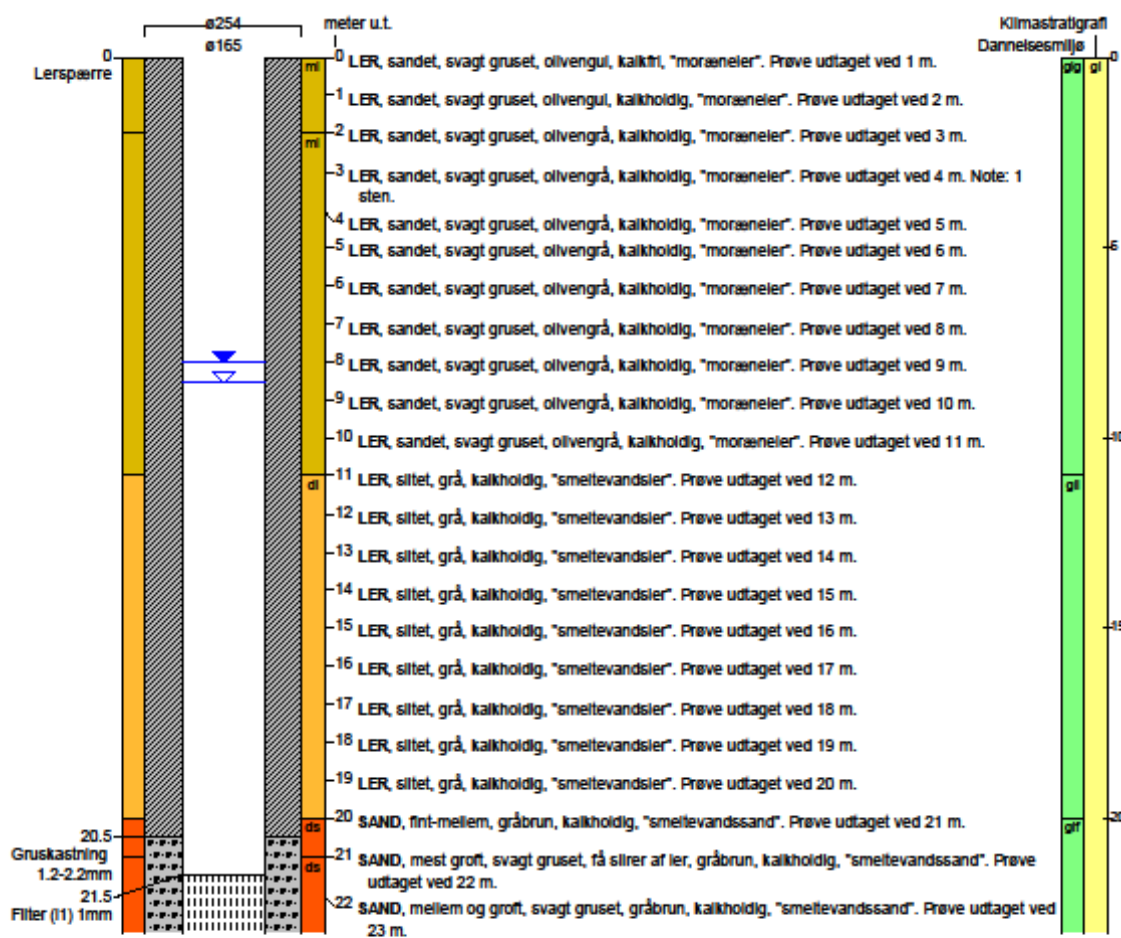
Koordinatkilde : Amt

Boremethode :

UTM-koord. : 601632, 6142832

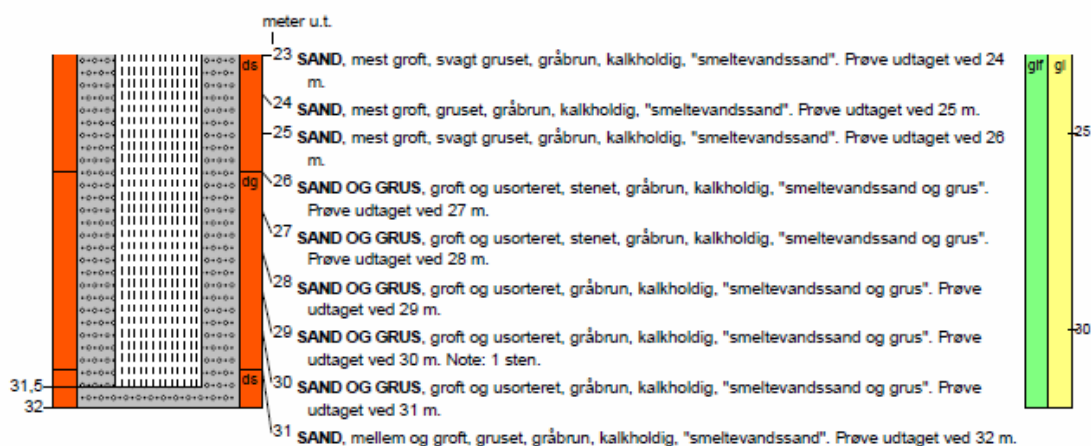
Koordinatmethode : GPS

Indtag 1	(seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	(første)	8.03 meter u.t.	15/12 2011			
		8.52 meter u.t.	6/7 2004			



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 914



Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.		
0	- 11	glacigen - glacial
11	- 20	glaciolakustrin - glacial
20	- 32	glaciofluvial - glacial

BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 971

Borested : Kerteminde Vandværk, Vandværksvej, Vejleløb Revninge
5300 Kerteminde

Kommune : Kerteminde
Region : Syddanmark

Boringsdato : 5/2 2004

Boringsdybde : 29 meter

Terrænkote : 3,85 meter o. DNN

Brøndborer : GEO

MOB-nr :

BB-journr : 03852

BB-bornr : 533

Prøver

- modtaget :

- beskrevet :

- antal gemt : 0

Formål : Vandværksboring

Kortblad : 1313 IISØ

Datum : ED50

Anvendelse : Vandværksboring

UTM-zone : 32

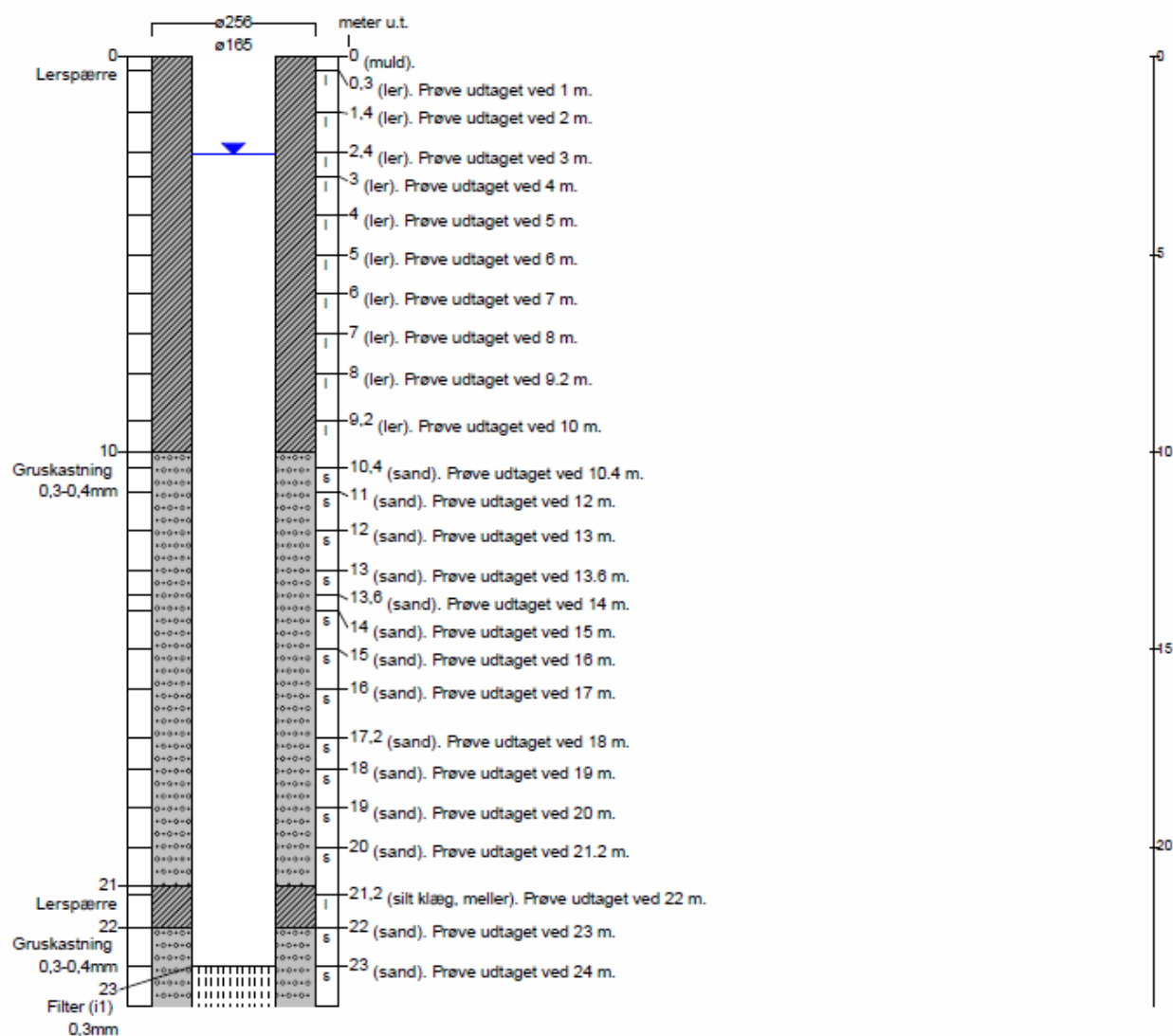
Koordinatkilde : Amt

Boremethode : Tørboring/slagboring

UTM-koord. : 603740, 6144093

Koordinatmetode : GPS

Indtag 1	(seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	(første)	-1,18 meter u.t.	15/12 2011			
		2,44 meter u.t.	6/7 2004			



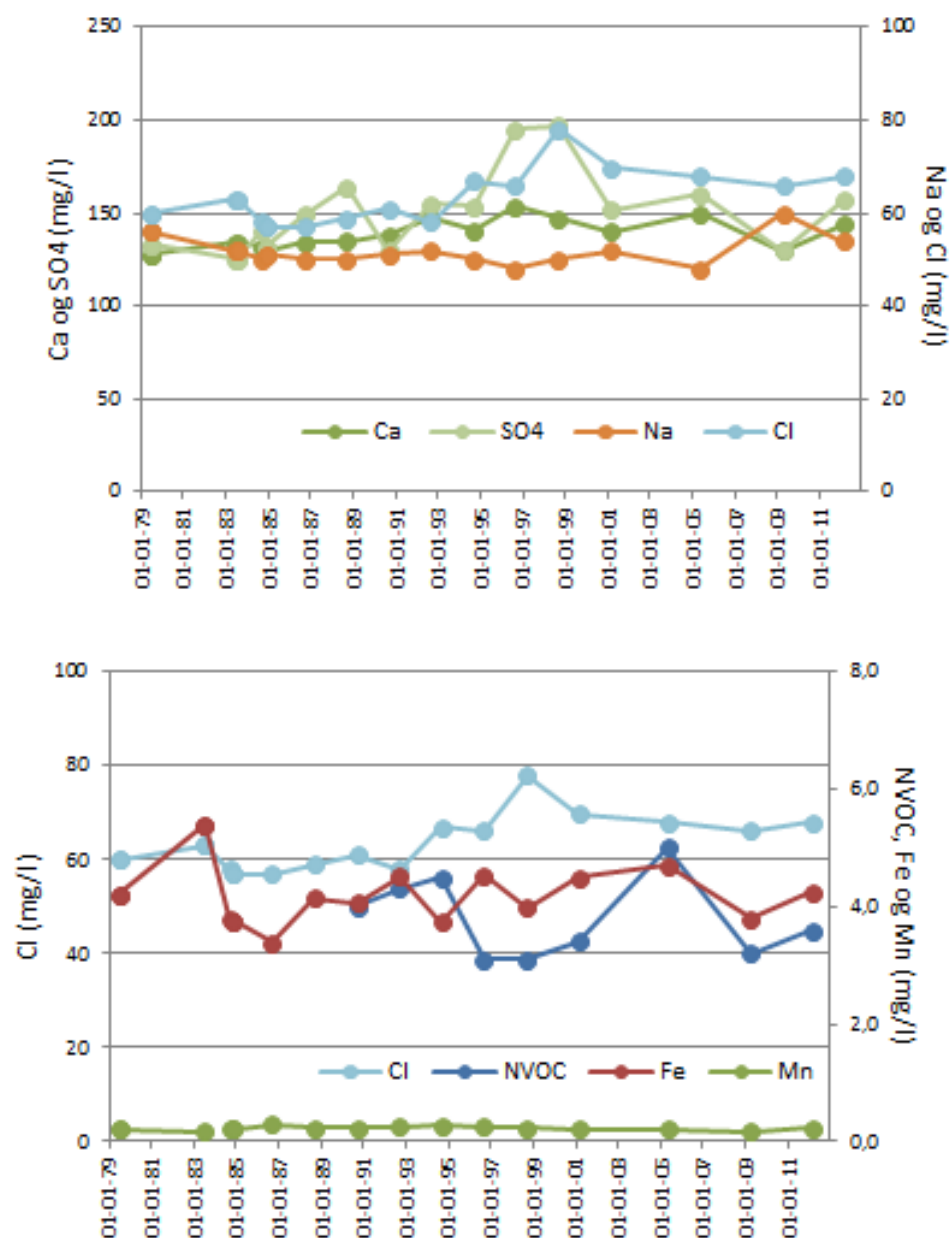
BORERAPPORT

DGU arkivnr: 137. 971

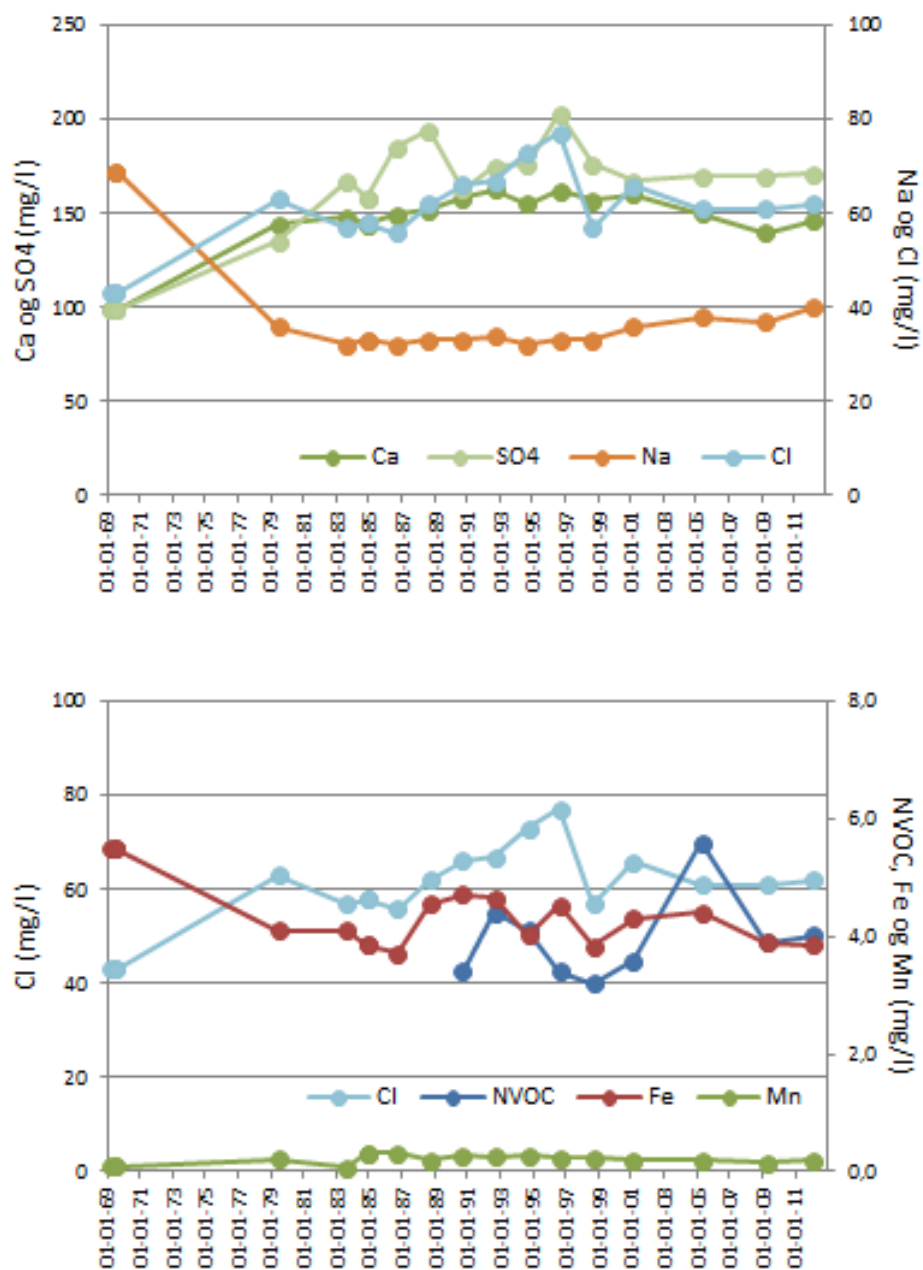


Bilag 7. Vandkemi over tid i indvindingsboringer

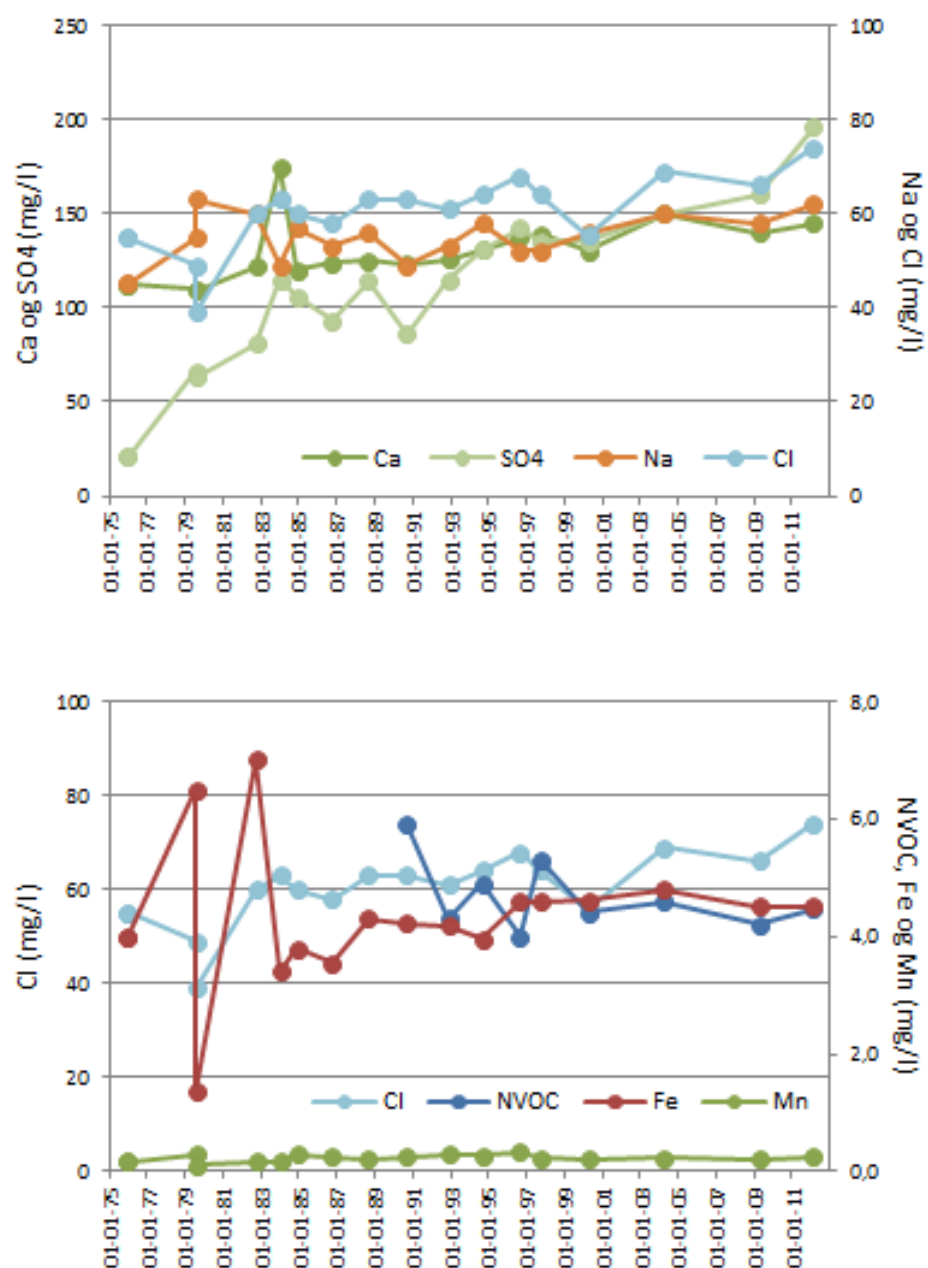
Udviklingen i vandets kemiske sammensætning er illustreret nedenfor for udvalgte parametre for fem af de otte indvindingsboringer. For de resterende tre boringer, 137.913, 137.914 og 137.971, findes ganske få oplysninger om vandets kemiske sammensætning og derfor har det ikke har været muligt at vise vandets sammensætning over tid.



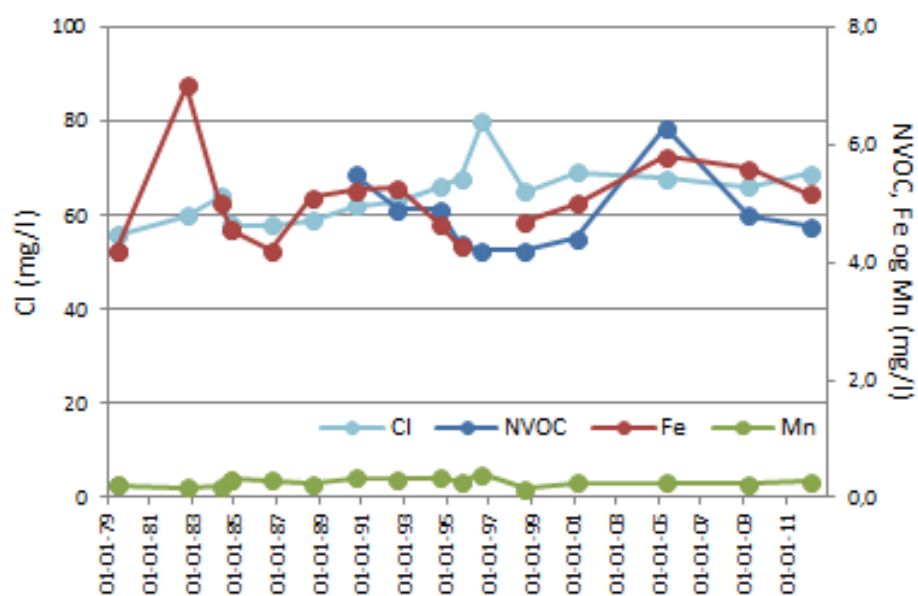
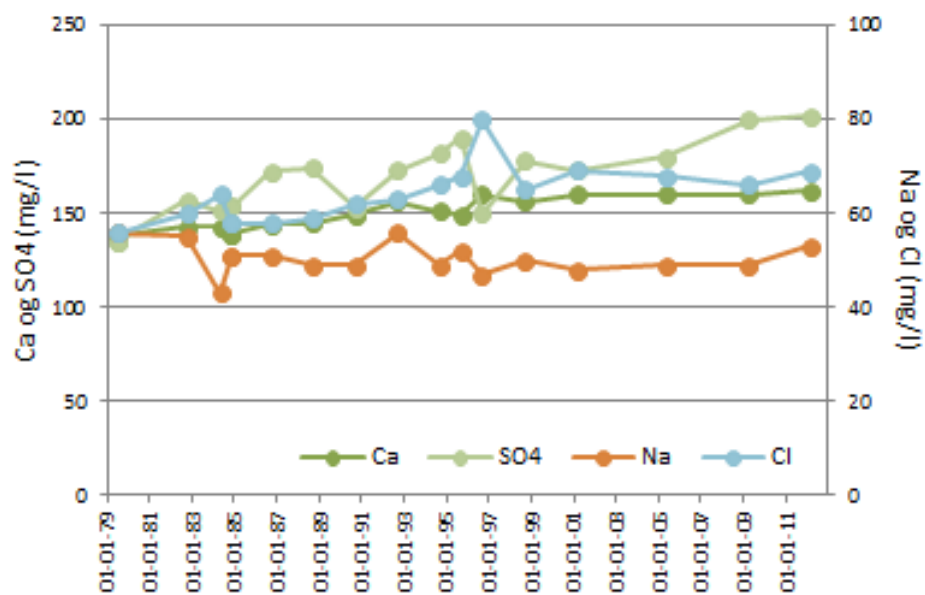
Figur B 7-1. Udviklingen i vandkemi i indvindingsboring 137.274 (felt 2).



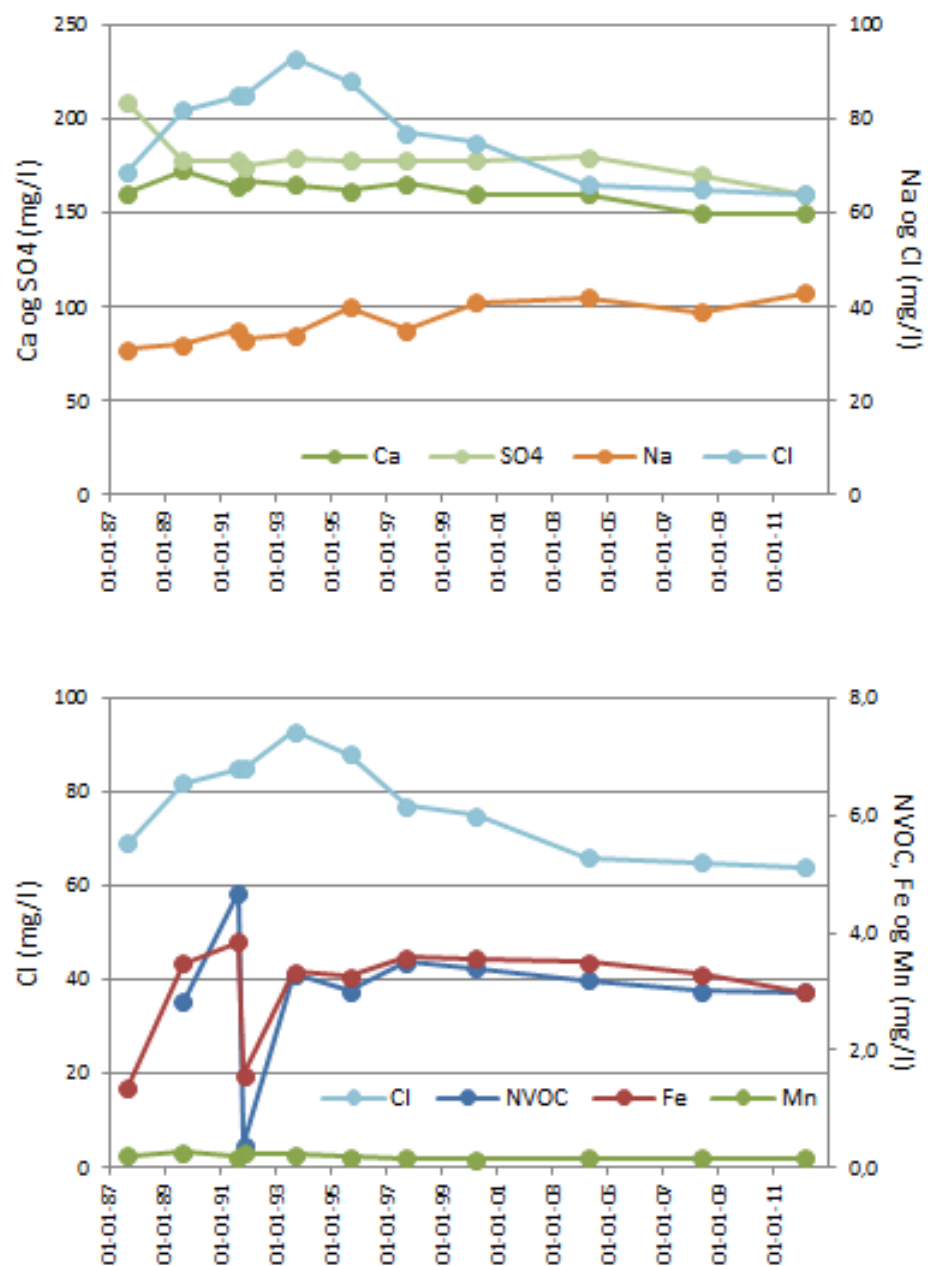
Figur B 7-2. Udviklingen i vandkemi i indvindingsboring 137.439 (felt 3).



Figur B 7-3. Udviklingen i vandkemi i indvindingsboring 137.511 (felt 1).



Figur B 7-4. Udviklingen i vandkemi i indvindingsboring 137.610 (felt 1).

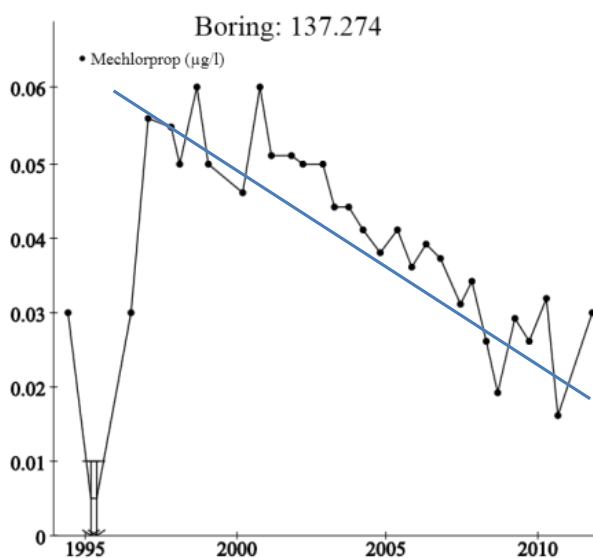


Figur B 7-5. Udviklingen i vandkemi i indvindingsboring 137.818 (felt 3).

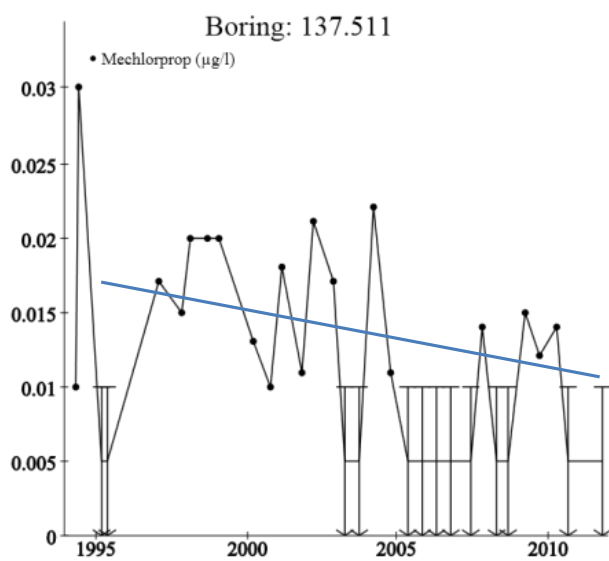
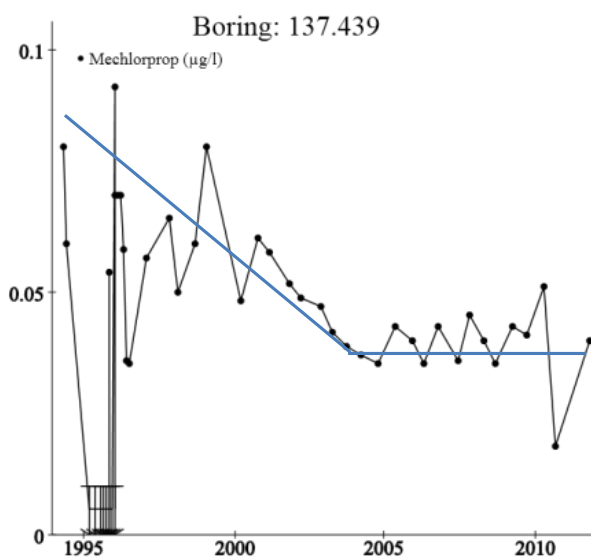
Bilag 8. Mechlorprop over tid i indvindingsboringer

Årsagerne til fundene af pesticider i indvindingsvand til Kerteminde Forsyning A/S – Vand er tidligere blevet undersøgt i bl.a. KERNOXY projektet (Jacobsen et al. 2005) og var derfor ikke oprindeligt tænkt ind i dette projekt. En efterfølgende henvendelse fra Kerteminde Forsyning A/S – Vand betyder at der nu er foretaget en søgning i Jupiter databasen og monitoreringen af mechlorprop er gengivet nedenfor i figur B 8-1 til B 8-5.

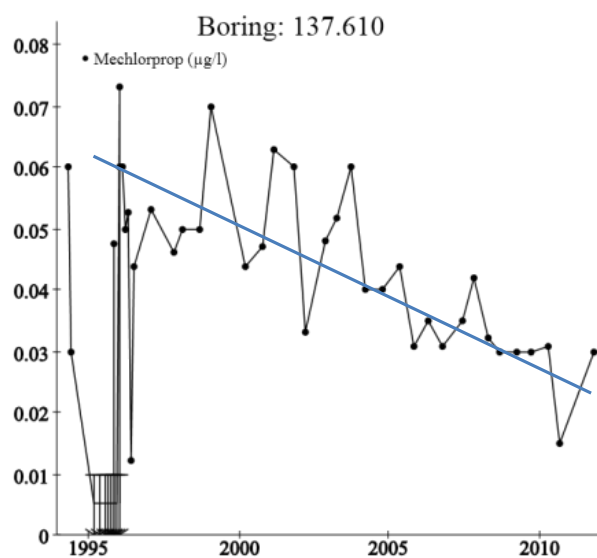
Heraf fremgår det at koncentrationen af mechlorprop været generelt aftagende i måleperioden for indvindingsboringerne 137.511, 137.971, 137.610, 137.913, 137.274 og 137.818. I indvindingsboringen 137.449 har koncentrationen af mechlorprop været aftagende frem til 2005 hvorefter koncentrationen har været stort set konstant frem til 2011. Kun i indvindingsboring 137.914 har koncentrationen af mechlorprop været støt stigende frem til 2011 i det der dog ses et enkelt markant fald i 8. september 2010. Da der optræder et tidsmæssigt sammenfald med aftagende koncentrationer i stort set alle indvindingsboringer må dette fald i koncentrationen højst sandsynlig tilskrives analysetekniske problemer i forbindelse med denne prøverunde. I boring 137.511 er koncentrationen af mechlorprop lavere end de andre boringer og for nærværende omkring detektionsgrænsen. For de øvrige boringer er koncentrationen på omkring 0,03 µg/L. Inden for det nuværende projekt har det ikke været intentionen at beskrive svingningerne i koncentrationen af mechlorprop sammenholdt med indvundne vandmængder og vandspejlets placering (pejlinger). Tilgængelige pejledata fra Jupiter databasen er gengivet i bilag 9



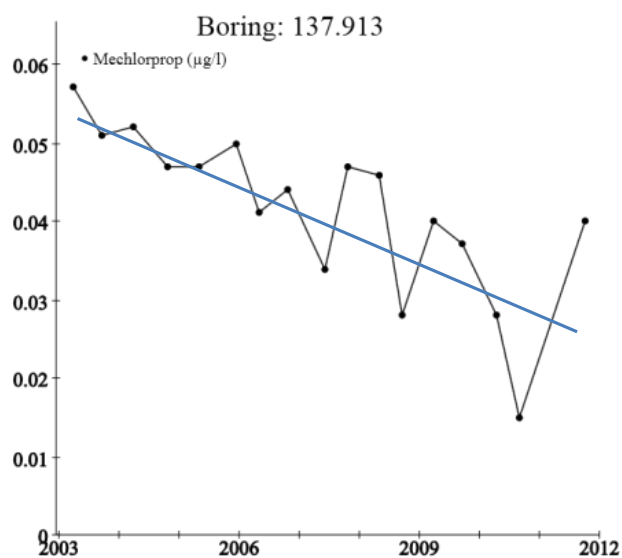
Figur B 8-1. Udviklingen i indholdet af mechlorprop i indvindingsboring 137.274. Data stammer fra Jupiter databasen.



Figur B 8-2. Udviklingen i indholdet af mechlorprop i indvindingsboring 137.439 og 137.511. Data stammer fra Jupiter databasen.



Figur B 8-3. Udviklingen i indholdet af mechlorprop i indvindingsboring 137.610 og 137.818. Data stammer fra Jupiter databasen.



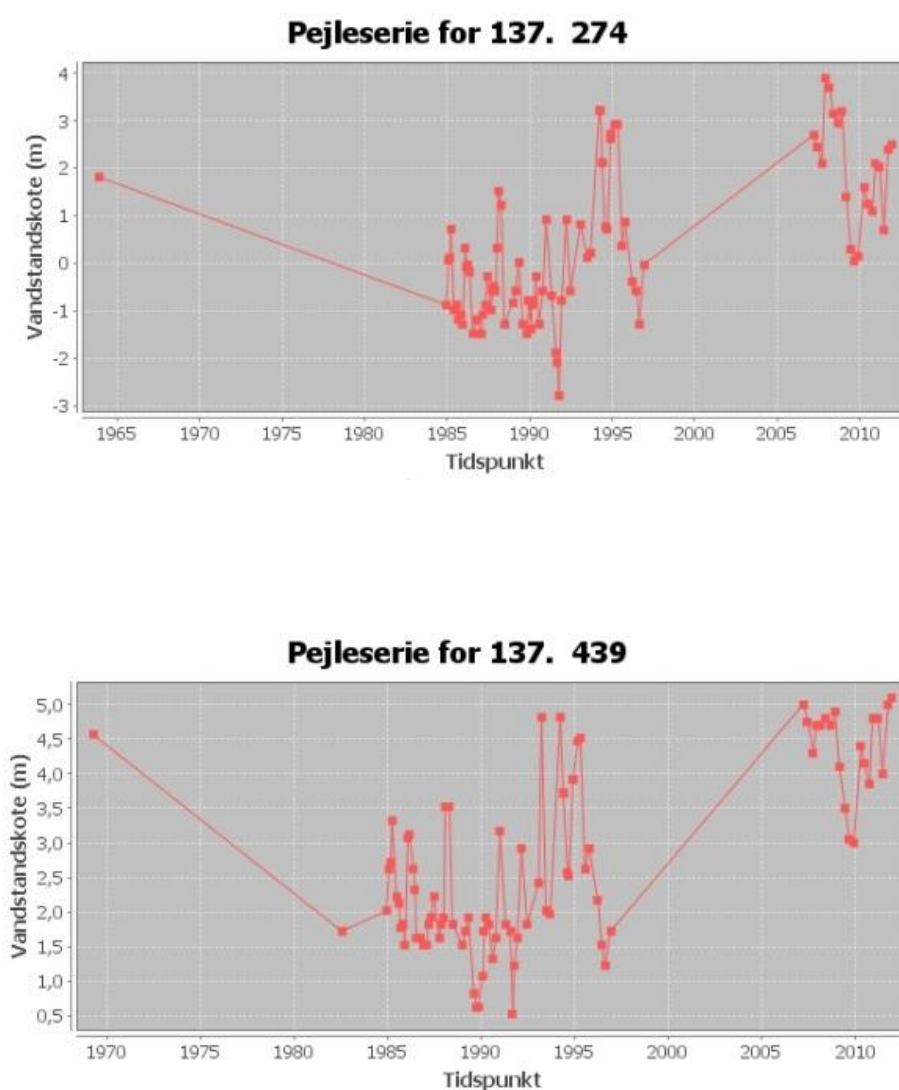
Figur B 8-4. Udviklingen i indholdet af mechlorprop i indvindingsboring 137.913 og 137.914. Data stammer fra Jupiter databasen.



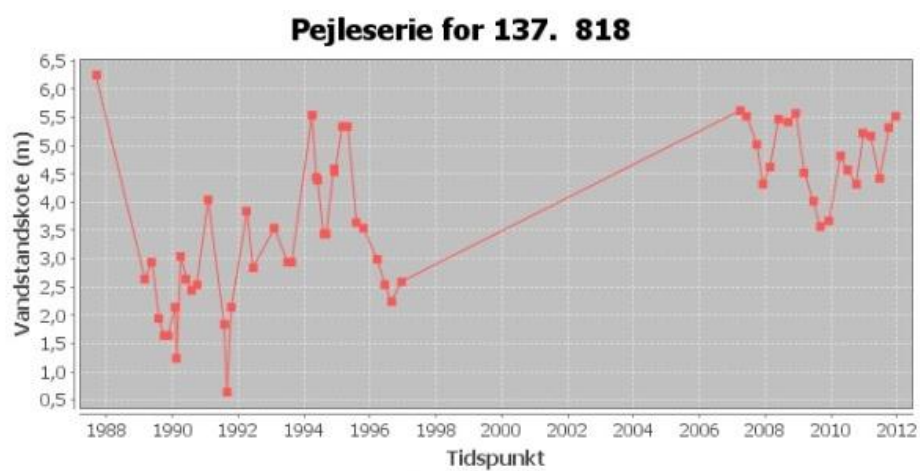
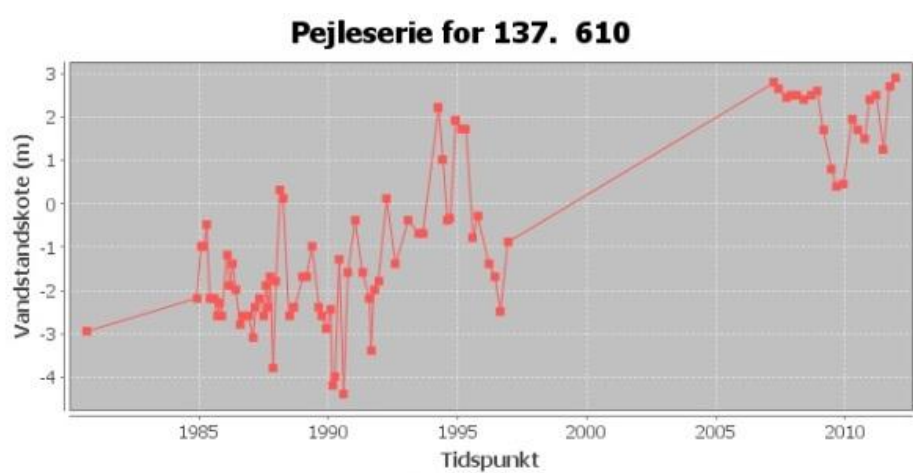
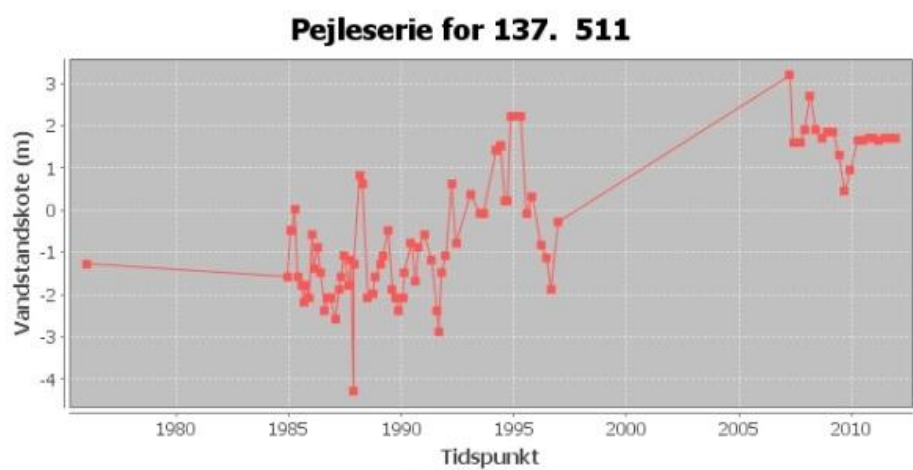
Figur B 8-5. Udviklingen i indholdet af mechlorprop i indvindingsboring 137.971. Data stammer fra Jupiter databasen.

Bilag 9. Pejledata i indvindingsboringer

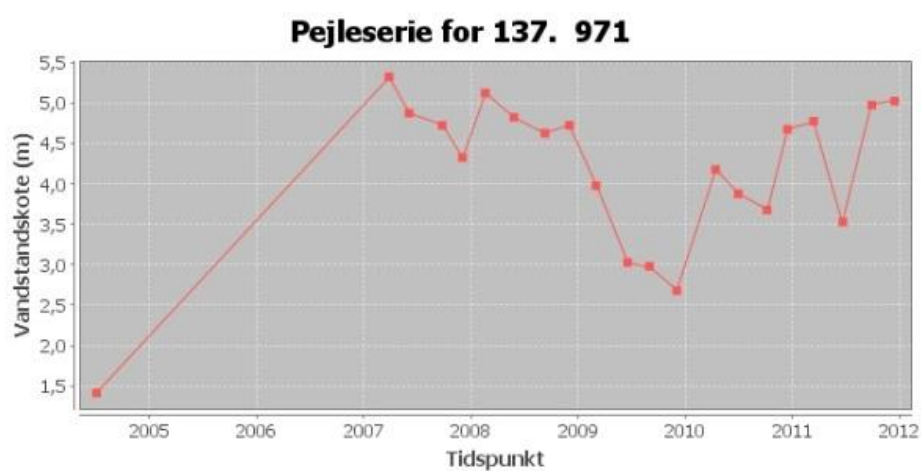
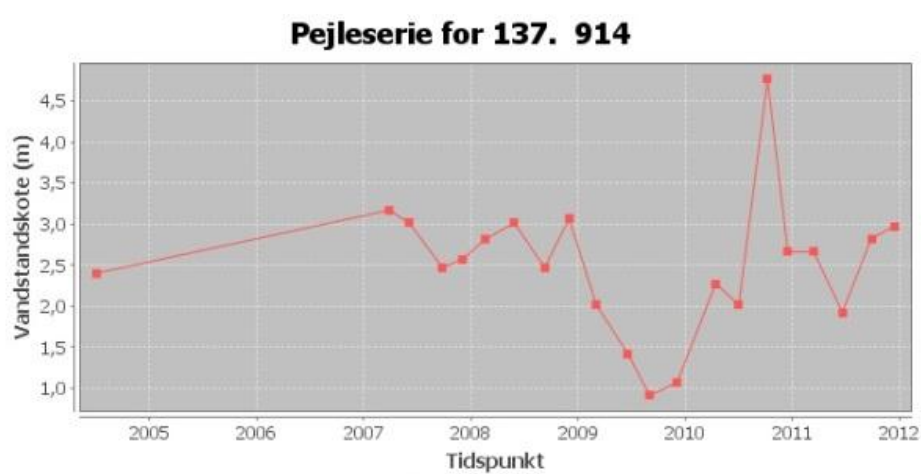
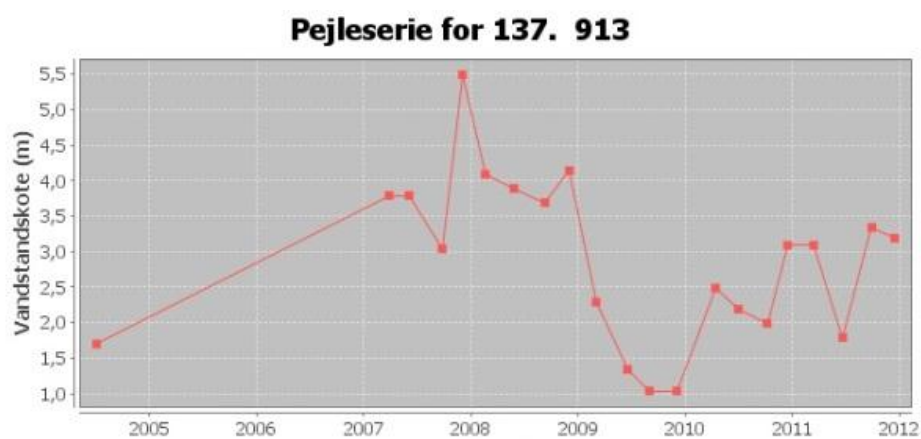
Dette bilag indeholder udtræk fra Jupiter databasen vedrørende vandspejlets beliggenhed. Disse data kan alene eller sammen med indvundne vandmængder indgå i en vurdering i den tidsmæssige udvikling af pesticider eller andre af grundvandets komponenter. Sidstnævnte ligger dog uden for nærværende projekt.



Figur B 9-1. Pejledata fra Jupiter databasen for indvindingsboring 137.274 og 137.439.



Figur B 9-2. Pejledata fra Jupiter databasen for indvindingsboring 137.511, 137.610 og 137.818.



Figur B 9-3. Pejledata fra Jupiter databasen for indvindingsboring 137.913, 137.914 og 137.971.