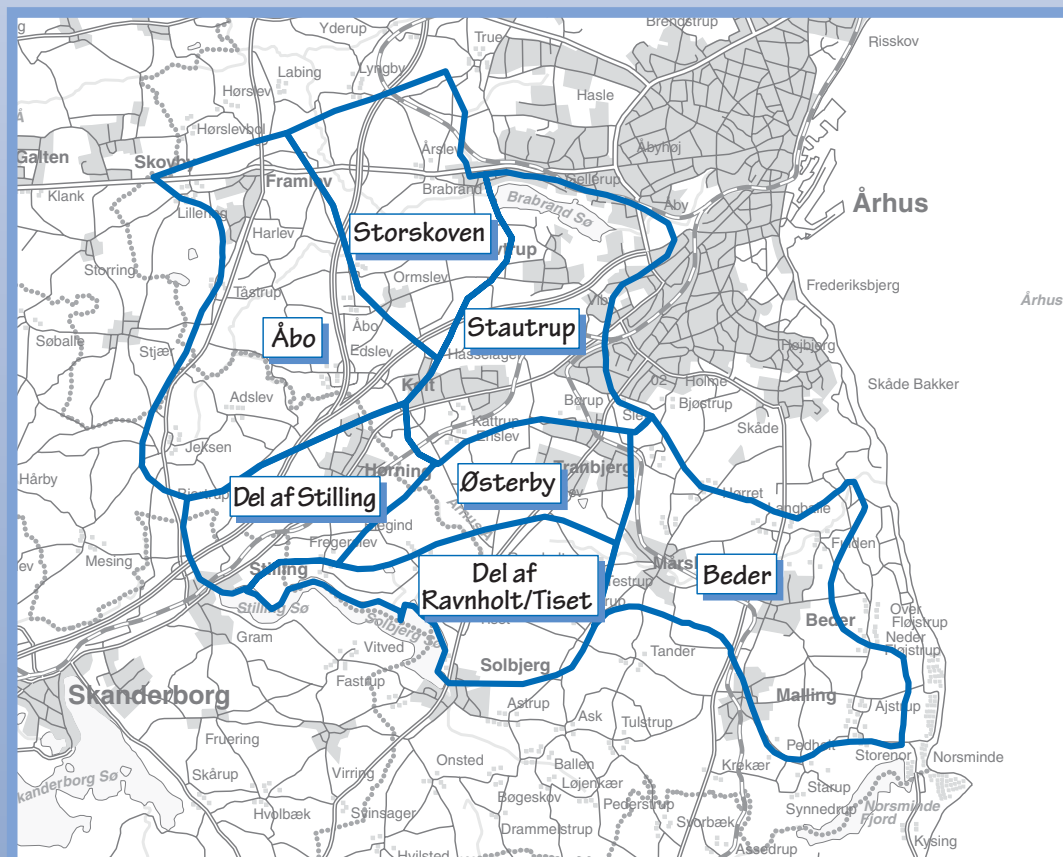


Redegørelse for grundvandsressourcerne i Århus Syd-området



Udgiver: Århus Amt
Natur og Miljø
Lyseng Allé 1
8270 Højbjerg
Tlf. 89 44 66 66

Udgivelsesår: 2006

Titel: Redegørelse for grundvandsressourcerne i
Århus Syd-området

ISBN: 87-7906-410-8

Redaktion: Signe Weng Grønhøj, Birgitte Hansen, Ole Dyrø Jensen,
Birthe Eg Jordt, Stine Rasmussen og Richard Thomsen

Sideantal: 285 sider + Appendix A, B og C

Oplag: Udskrives fra Natur og Miljø's hjemmeside

Kort: Grundmateriale:
KMS Copyright

Forord

Denne redegørelse er udarbejdet som led i indsatsen for at beskytte nuværende og fremtidige drikkevandsressourcer i Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD-områder) i Århus Amt. OSD-områderne er inddelt i en række indsatsområder, og nærværende afrapportering har til formål at redegøre for grundvandsressourcerne i et større samlet område, beliggende omkring og syd for Århus.

Redegørelsen skal ses som en teknisk dokumentation af det baggrundsmateriale og den bearbejdelse heraf, som ligger til grund for væsentlige elementer i den fremtidige indsats for at beskytte drikkevandsressourcerne. Et andet væsentligt formål med redegørelsen er at give et overblik over et meget omfattende baggrundsmateriale i form af mange forskellige rapporter samt et meget stort datamateriale hentet fra amtets databaser.

Århus Syd-området omfatter 5 hele indsatsområder og dele af yderligere 2 indsatsområder, nemlig:

- Indsatsområde Beder
- Indsatsområde Stautrup
- Indsatsområde Storskoven
- Indsatsområde Østerby
- Indsatsområde Åbo
- Indsatsområde Ravnholt/Tiset (kun dele af området)
- Indsatsområde Stilling (kun dele af området)

Rapporten er en del af grundlaget for det videre arbejde med indsatsplanen.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	1
2. Plan – og lovgrundlag.....	3
2.1 Regionplan 2005 skal sikre grundvandet.....	3
2.2 Udpegning af drikkevandsområder.....	5
2.3 Indsatsplaner og grundvandsbeskyttelse.....	6
2.4 Detailkortlægning af vandressourcerne.....	8
2.5 Beskrivelse af detailkortlægningen.....	8
3. De overordnede geologiske forhold.....	11
3.1 Undergrunden i undersøgelsesområdet.....	11
3.2 De kvartære aflejringer.....	13
3.3 Nedskårne dale.....	15
3.4 Grundvandsmagasiner.....	15
4. Dataindsamling og detailkortlægning.....	17
4.1 Program for detailkortlægning.....	17
4.2 Geofysiske målinger.....	20
4.3 Boringer: Geologi og kemi.....	29
4.4 Boringsregistrering og pejlerunde.....	32
4.5 Grundvandspotentialet.....	34
5. Vandværker og vandindvinding.....	37
5.1 Indledning.....	37
5.2 Vandværkssårbarhed.....	41
5.3 Oversigt over vandkvaliteten på de enkelte aktive vandværker.....	43
5.4 Vandværkernes vandkvalitet for området som helhed.....	49
5.5 Lukkede vandværker.....	63
6. Geologi og grundvandskvalitet.....	65
6.1 Indledning.....	65
6.2 Datagrundlag.....	68
6.3 Kvartære geologiske strukturer.....	70
6.4 Grundvandsmagasiner.....	73
6.5 Arsen, klorid og fluorid i grundvandet.....	76
6.6 Geologisk og vandkemisk kompleksitet.....	85
7. Grundvandsmodel.....	113
7.1 Baggrund og formål.....	114
7.2 Tidligere grundvandsmodeller.....	115
7.3 Hydrogeologisk model.....	116
7.4 Ny modelopsætning for grundvandsmodel.....	119
7.5 Kalibrering og validering.....	124
7.6 Partikelbanekørsler med de to grundvandsmodeller.....	125
7.7 Fladekort over grundvandsdannelsen for model 18. feb. og model 25. feb.....	127
7.8 Sammenligning af vandbalancer fra model 18. feb. og model 25. feb.....	129

7.9. Indvindingsbelastningen for fokusområde og indsatsområder.....	131
7.10. Anvendelsen af grundvandsmodellen.....	134
7.11. Scenarieregninger med model 25. feb.	135
7.12. Udpegning af kerneoplande og sandsynlighedsområder.....	138
7.13. Grundvandsdannende oplande for indsatsområderne.....	145
8. Grundvandsmagasinets naturlige beskyttelse og sårbarhed.....	151
8.1 Magasinsårbarhed.....	151
8.2 Det sammentolkede lertykkelseskort.....	154
8.3 Nitratsårbare områder.....	162
8.4 Områder med anden sårbarhed.....	175
9. Sammenstilling af data – konkluderende bemærkninger.....	179
9.1 Grundvandsmagasiner og de begravede dale.....	179
9.2 Grundvandsdannende oplande, nitratsårbare områder og vandværksårbarhed..	181
10. Beskrivelse af de nitratsårbare områder.....	185
10.1 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Beder.....	187
10.2 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Åbo.....	201
10.3 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Stautrup.....	215
10.4 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Storskoven.....	222
10.5 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Østerby.....	229
10.6 Beskrivelse af andre nitratsårbare områder.....	232
11. Anbefalinger vedrørende den fremtidige overvågning og beskyttelse af grundvandsressourcen.....	239
11.1 Overvågning af grundvandsstanden.....	240
11.2 Overvågning af grundvandskvaliteten.....	240
11.3 Udbygning af nye overvågningsboringer.....	243
11.4 Konkrete anbefalinger til overvågning i de enkelte indsatsområder.....	245
11.5 Øvrige anbefalinger Beder.....	272
11.6 Øvrige anbefalinger Stautrup, Storskoven og Åbo.....	278
12. Referencer.....	281

Appendix A: Boringsbeskrivelser

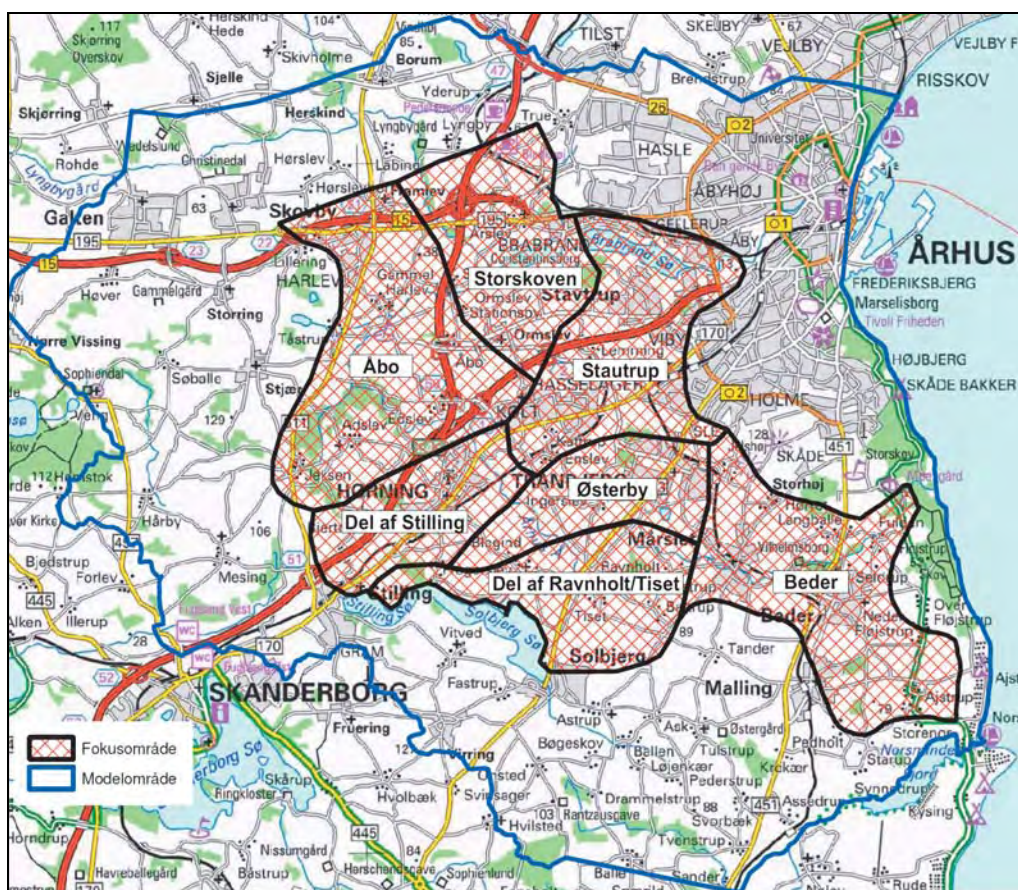
Appendix B: Vandværksbeskrivelser

Appendix C: Opdateret lertykkelseskort

1. Indledning

I nærværende vandressourceredegeørelse for Århus Syd-området er den tekniske dokumentation for detailkortlægningen i området beskrevet. Rapporten indeholder en sammenstilling af en lang række af data, som danner grundlaget for en beskrivelse af de geologiske, kemiske og hydrologiske forhold i området. På baggrund af denne sammenstilling beskrives grundvands-ressourcens sårbarhed overfor påvirkninger fra overfladeaktivitet, primært nitrat, ligesom der bliver givet konkrete anbefalinger til, hvordan den fremtidige grundvandsovervågning kan finde sted.

Ressourceredegeørelsen består af i alt 12 kapitler inklusive et kapitel, der indeholder en referenceoversigt samt 2 appendikser. Århus Syd-området er en samlet administrativ betegnelse for et større kortlægningsområde i Århus Amt. Indenfor Århus Syd-området findes et såkaldt Århus Syd-Fokusområde, der omfatter 5 indsatsområder (Beder, Åbo, Stautrup, Storskoven og Østerby) samt dele af yderligere 2 indsatsområder (Stilling og Ravnholt/Tiset). Fokusområdet har i alt en størrelse på 153 km² (figur 1.1).



Figur 1.1 Oversigt over områdebetegnelser i Århus Syd-området, der er anvendt i denne redegørelse.

Det er hovedsageligt resultaterne af kortlægningen i fokusområdet, der er afrapporteret i denne rapport. Dog er der opstillet en grundvandsmodel for et større område, modelområdet (figur 1.1), da dette var nødvendigt af modeltekniske grunde. Der er udarbejdet resumérapporter for de 5 indsatsområder, som i deres helhed er omfattet af denne mere detaljerede ressourceredegeørelse (Århus Amt, 2006a, b, c, d, e). I resumérapporterne er der givet en kort sammenfatning af de

vigtigste resultater fra denne ressourceredegørelse for hvert af indsatsområderne, inklusive konkrete anbefalinger der vedrører de enkelte vandværker i indsatsområderne.

I ressourceredegørelsens kapitel 2 omtales ganske kort lovgrundlaget og det væsentligste planmæssige grundlag for udarbejdelsen af redegørelsen. Kapitel 3 indeholder en kortfattet beskrivelse af de overordnede geologiske forhold i Århus Syd-området. Dernæst følger kapitel 4, hvori den dataindsamling, der er udført i forbindelse med detailkortlægningen, bliver beskrevet.

Kapitel 5 redegør for den nuværende vandforsyningsmæssige situation i Århus Syd-Fokusområdet for så vidt angår kildepladser, indvundne vandmængder og vandkvalitet ved de større kommunale og private vandværker i området (de almene vandforsyningsanlæg). I kapitel 6 beskrives, primært for fokusområdet, resultaterne af den lange række af undersøgelser og analyser, der er udført i området. Den opnåede viden om de geologiske strukturer, grundvandsmagasinerne beliggenhed og udstrækning, områdets geologi og grundvandets kemiske tilstand sammenstilles.

Der er opstillet en grundvandsmodel for Århus Syd-området, og i kapitel 7 bliver der givet en kortfattet beskrivelse af modellen. I dette kapitel beskrives endvidere forskellige resultater fra grundvandsmodellen. I den udstrækning, det har været muligt at beregne, vises ligeledes de områder, som vandværkerne henter deres vand fra.

Den detaljerede kortlægning i området danner grundlaget for en vurdering af grundvandets naturlige beskyttelse og sårbarhed. I kapitel 8 bliver der således, indenfor fokusområdet, gjort rede for magasinsårbarheden, og der beskrives, hvordan de nitratsårbare og andre sårbare områder er blevet udpeget.

Kapitel 9 er en kortfattet sammenstilling af resultaterne fra de foregående kapitler, mens der i kapitel 10 bliver givet en detaljeret beskrivelse af de sårbare områder, der er udpeget indenfor fokusområdet. Indenfor hvert af de sårbare områder bliver beliggenheden, udstrækningen og sårbarhedstype beskrevet.

Redegørelsen afsluttes med et kapitel 11, hvori der fremsættes en række konkrete forslag til overvågningen af grundvandet i de kortlagte indsatsområder. Overvågningen skal tjene det formål at sikre et tilstrækkeligt fremtidigt datagrundlag, som gør det muligt at administrere vandindvindingen i området på et solidt og bæredygtigt grundlag. Kapitel 11 indeholder desuden forslag til yderligere undersøgelser, som kan medvirke til at hæve det generelle vidensniveau både med hensyn til den geologiske opbygning og grundvandsstrømningen i området.

2. Plan- og lovgrundlag

2.1 Regionplan 2005 skal sikre grundvandet

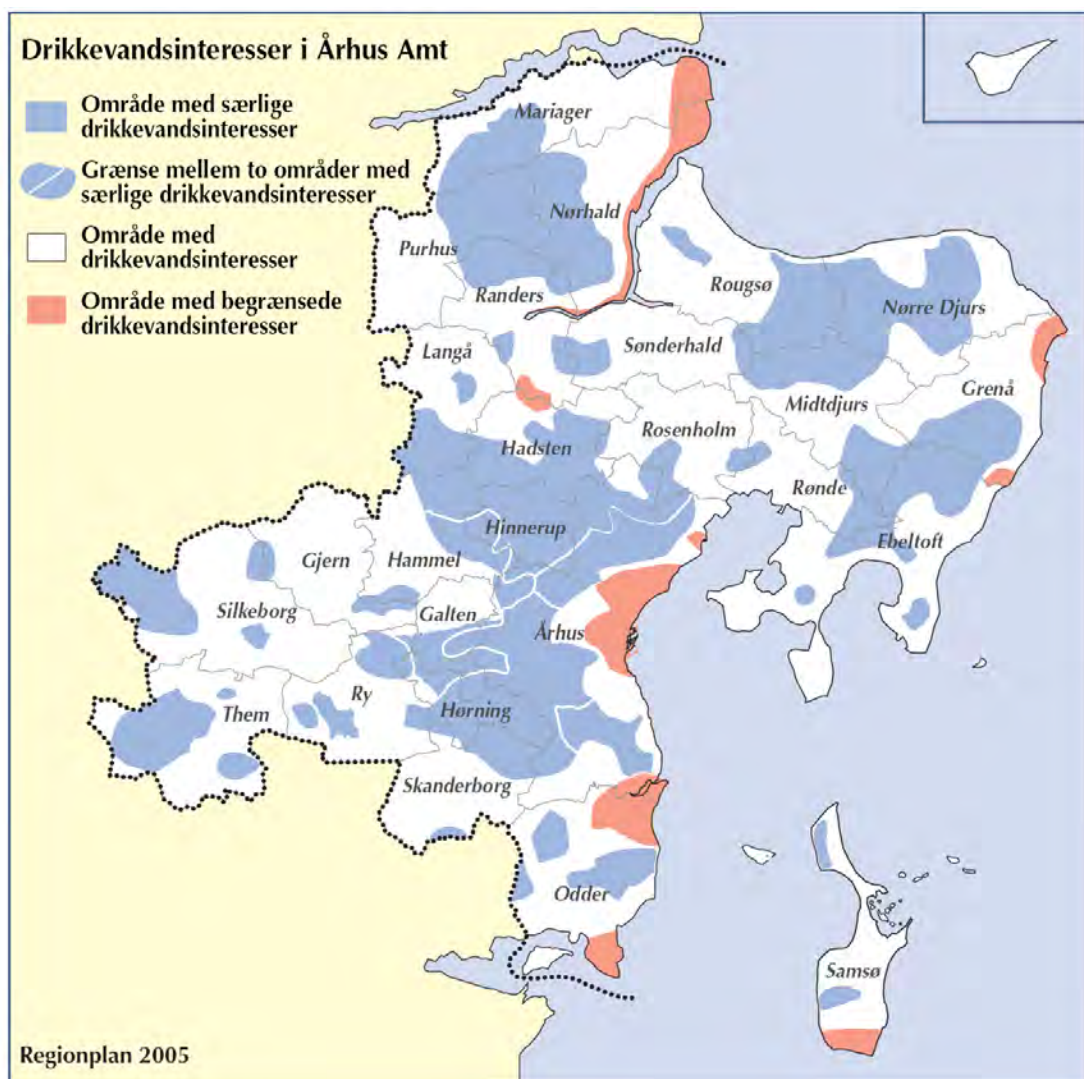
Regionplanen er amtsrådets sammenfattende plan for arealanvendelsen i Århus Amt.

Amtsrådets langsigtede mål er at overflade - og grundvand skal beskyttes mod påvirkning fra menneskelige aktiviteter. Det gælder såvel mængde som kvalitet.

I regionplan 2005 har amtsrådet udpeget drikkevandsområder samt nitratfølsomme indvindingsområder. Drikkevandsområderne er inddelt i tre kategorier (fig. 2.1.1):

- Særlige drikkevandsinteresser
- Drikkevandsinteresser
- Begrænsede drikkevandsinteresser

Detailkortlægningen af vandressourcerne og udarbejdelsen af indsatsplaner, tager udgangspunkt i disse udpegninger.



Figur 2.1.1 Drikkevandsområder i Århus Amt udpeget i Regionplan 2005.

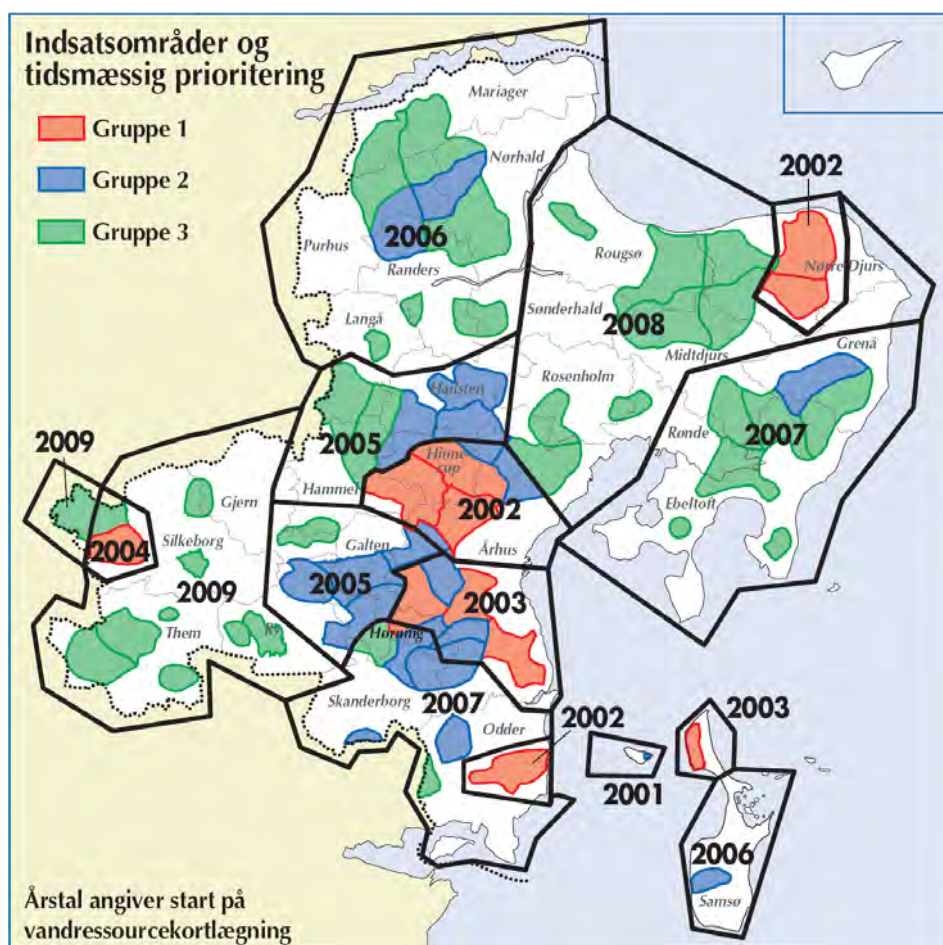
Udpegningen og retningslinierne for beskyttelsen af grundvandet er mere grundigt beskrevet i Regionplan 2005 og Grundvandsplan 2005. Begge planer med kortbilag kan findes på Århus Amts hjemmeside www.aaa.dk.

I Århus Amt er der udpeget 38 områder med særlige drikkevandsinteresser (fig. 2.1.1.), hvor beskyttelsen af grundvandet prioriteres højt. Det er inden for disse områder, at grundvandskortlægning og indsatsplanlægning enten er i gang eller planlagt at skulle gennemføres.

Områderne med særlige drikkevandsinteresser er inddelt i 64 indsatsområder. Inden for indsatsområderne skal der på grundlag af kortlægning af vandressourcerne, arealanvendelserne og samtlige forureningskilder udarbejdes indsatsplaner.

Detailkortlægningen af vandressourcernes udstrækning og beskyttelse vil foregå frem til 2011.

For at gennemføre denne opgave inden for den angivne tidsramme er det valgt at samle kortlægningen i nogle større sammenhængende områder. Amtet er således opdelt i 15, oftest større, samlede kortlægningsområder (fig. 2.1.2). Århus Syd-området er ét af disse kortlægningsområder, som nu er detailkortlagt. Resultaterne fra denne detailkortlægning fremlægges hermed i denne dokumentationsrapport.



Figur 2.1.2 Indsatsområder og tidsmæssig prioritering. Regionplan 2005. Større og sammenhængende kortlægningsområder er vist med sort streg.

2.2 Udpegning af drikkevandsområder

Særlige drikkevandsinteresser

Udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser (fig. 2.1.1) foretages først og fremmest for at lokalisere og udpege områder med vandindvindingsinteresser af regional betydning.

I områderne med særlige drikkevandsinteresser dannes der nyt grundvand i en mængde, som tilsammen er lidt større end det nuværende forbrug af drikkevand i Århus Amt, ligesom grundvandet her er af god kvalitet. Med denne udpegning skal regionplanen sikre det fremtidige forbrug samt en reserve. Områderne med særlige drikkevandsinteresser er fordelt over hele amtet. Forbrugerne er så vidt muligt sikret gode grundvandsmagasiner inden for en rimelig afstand.

Områderne med særlige drikkevandsinteresser har højest prioritet, når der skal igangsættes projekter, som kan forbedre grundvandets kvalitet eller afværge forurening. Det gælder f.eks. oprydning på forurenede grunde, kloaksaneringer og støtte til braklægning eller skovrejsning.

Drikkevandsinteresser

I områderne med drikkevandsinteresser (fig. 2.1.1) findes grundvand af god kvalitet, der kan udnyttes til drikkevandsformål. Det skal primært beskyttes af hensyn til forsyning fra lokale vandværker.

Begrænsede drikkevandsinteresser

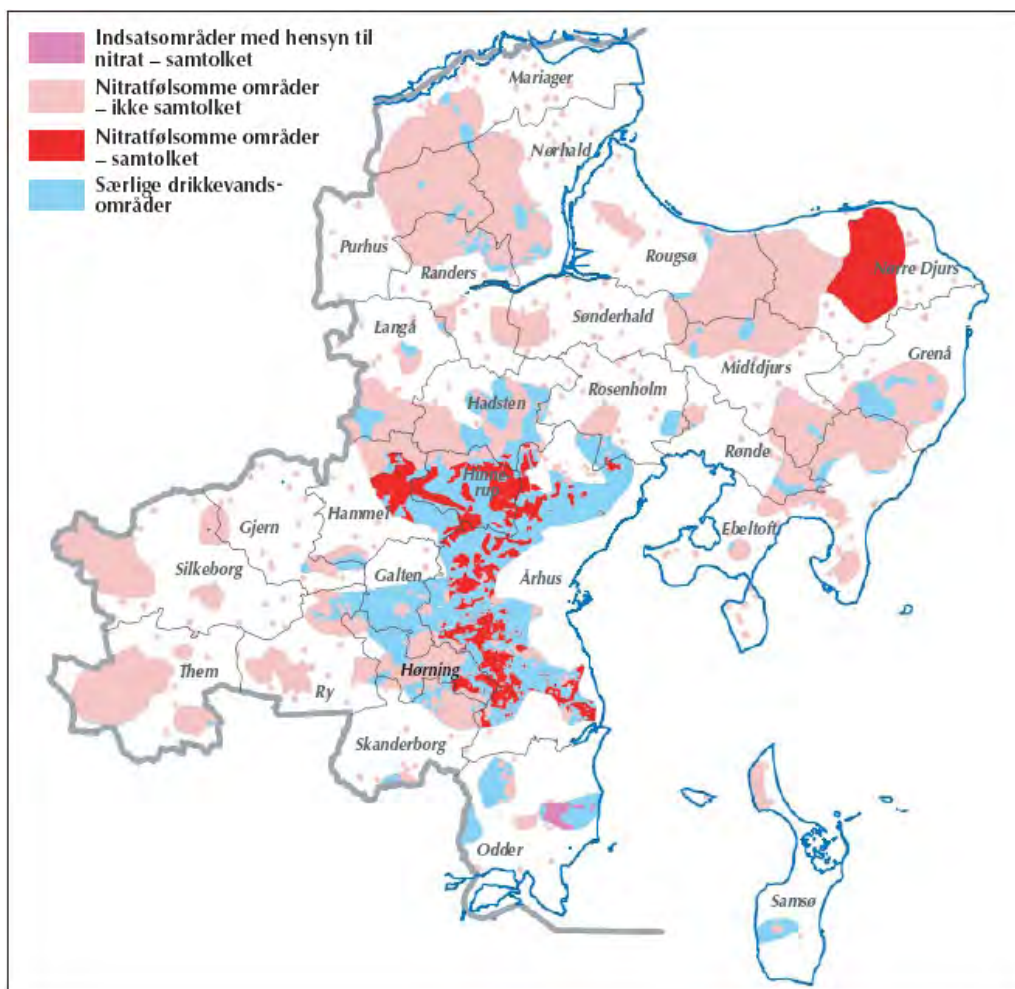
Enkelte steder i amtet er mulighederne for at indvinde grundvand til drikkevandsforsyning stærkt begrænsede (fig. 2.1.1). Årsagen kan være, at grundvandet er af dårlig kvalitet som følge af forurening eller indtrængende saltvand, eller at jordlagene udelukkende består af ler, så grundvandet strømmer meget langsomt til borerne. Drikkevandsinteresserne i disse områder er derfor begrænsede. Aktiviteter, der kan være en trussel mod grundvandet, kan primært etableres her.

Nitratfølsomme vandindvindingsområder

Århus Amt udpegede i 2001 nitratfølsomme vandindvindingsområder inden for områder med særlige drikkevandsinteresser samt i 300 meters beskyttelseszone til de vandværkers indvindingsboringer, der ligger i områder med drikkevandsinteresser.

Amtsrådet har besluttet, at disse områder skal ajourføres hvert år for at sikre, at kortet er opdateret med den seneste viden (fig. 2.2.1).

Der er udpeget nitratfølsomme vandindvindingsområder i Århus Amt, der i areal dækker ca. 30 % af amtet.



Figur 2.2.1 Nitratfølsomme vandindvindingsområder i Århus Amt Regionplan 2005. I forbindelse med Indsatsplan Boulstrup er der udpeget indsatsområder med hensyn til nitrat. I et samtolket, nitratfølsomt område består datagrundlaget af såvel geofysiske målinger som boringer. I et ikke-samtolket nitratfølsomt område er det udelukkende boringer, der ligger til grund for tolkningen

2.3 Indsatsplaner og grundvandsbeskyttelse

Beskyttelse af grundvandet

Inden for områderne med særlige drikkevandsinteresser skal der de kommende år gøres en ekstra indsats for at beskytte grundvandet mod forurening. Til dette formål er der udpeget indsatsområder (fig. 2.1.2), hvor det kan blive aktuelt at:

- Begrænse eller stoppe byernes vækst
- Forbyde etablering af visse forurenende virksomheder og anlæg
- Rydde op på forurenede grunde
- Give tilskud til skovrejsning, braklægning og miljøvenligt jordbrug
- Begrænse brugen af gødning og pesticider

Der er som tidligere nævnt i alt udpeget 64 indsatsområder, hvor der skal vedtages denne type indsatsplaner. Udarbejdelsen af indsatsplanerne bliver finansieret af gebyrmidler.

En detaljeret kortlægning af grundvandsmagasinerne samt kendskabet til forureningskilder og arealanvendelsen skal danne grundlag for indsatsplanerne i områderne. Grundvandskortlægningen medvirker så til, at beskyttelsesindsatsen differentieres og målrettes mod de områder, hvor den naturlige beskyttelse er ringe eller følsom overfor forskellige typer af forurening.

Udpegning af indsatsområder i Århus Amt

Udpegningen af indsatsområder er foretaget ved en opdeling af områder med særlige drikkevandsinteresser i hydrologiske enheder, så de enkelte indsatsområder så vidt muligt vil rumme ensartede problemstillinger i forhold til vandforsyning og grundvandsbeskyttelse.

Herudover er der mulighed for en supplerende udpegning af indsatsområder i indvindingsoplande til vandværker uden for områderne med særlige drikkevandsinteresser. En sådan udpegning vil være betinget af en ajourført kommunal vandforsyningsplan og teknisk gennemgang af det pågældende vandværk.

Prioritering af indsatsområderne

Der er foretaget en tidsmæssig prioritering i 3 grupper (fig. 2.1.2) af de udpegede indsatsområder på baggrund af en række temaer, der har betydning for vandforsyningen og grundvandsbeskyttelsen i de enkelte områder. Disse temaer er indvindingsinteresser, grundvandets naturlige beskyttelse, grundvandskvalitet, nuværende og planlagt arealanvendelse samt forureningskilder.

Forberedelse til indsatsplanlægningen

Som forberedelse til indsatsplanlægningen etableres samarbejdsrelationer mellem amt, kommune, vandværker, landbrug m.fl., planmæssige forhold tilrettes, og den nødvendige kortlægning foretages.

Samarbejde og koordinering er nøgleord i indsatsplanlægningen, dels fordi mange parter har interesse heri, og dels fordi en række af de aktiviteter, der skal gennemføres i indsatsplanlægningen, kan udføres af forskellige instanser. Det kan være amt, kommune eller vandværk.

Udarbejdelse af indsatsplanen

De gennemførte kortlægninger i indsatsområdet præsenteres ved grundvandsressourcens sårbarhedskategorier, opdeling i drikkevandsinteresser samt kildepladszoner. Herpå påføres de kortlagte forureningstrusler og den nuværende arealanvendelse. På baggrund heraf foretages en prioritering for at imødegå de enkelte forureningstrusler.

Endvidere angives, om bestemte områder bør friholdes for særlige arealanvendelser alene af grundvandshensyn. I forbindelse med godkendelsen af de enkelte indsatsplaner foretages en omfattende orientering og offentlig debat.

Prioriteringerne skal endelig udmønte sig i en tidsplan og retningslinier for, hvornår og hvordan de specifikke problemstillinger i indsatsområdet løses. Herunder hvilke alternativer, der kan tages i anvendelse f.eks. ved pålæg af rådighedsindskrænkninger, såfremt frivillige aftaler ikke kan opnås.

Indsatsområder i Århus Syd

Vandressourceredegørelsen for kortlægningsområde Århus Syd omfatter indsatsområderne Beder, Stautrup, Åbo, som er højt prioriterede og er medtaget i Gruppe 1 (fig. 2.1.2) mens Storskoven, og Østerby har lavere prioritet og er medtaget under Gruppe 2 (fig. 2.1.2) i amtets prioritering af

indsatsområderne. Derudover omfatter redegørelsen dele af indsatsområderne Ravnholt/Tiset og Stilling. Vandressourceredegørelsen danner grundlaget for det videre arbejde med bl.a. kortlægning af de landbrugsmæssige aktiviteter frem mod udarbejdelse af selve indsatsplanen.

2.4 Detailkortlægning af vandressourcerne

I det følgende beskrives den proces, der normalt skal gennemløbes for at tilvejebringe det kemiske og hydrogeologiske grundlag, der er forudsætningen for, at der kan udarbejdes en indsatsplan for beskyttelse af grundvandet. Processen er mere grundigt beskrevet i Grundvandsplan 2005 (Århus Amt, 2005a).

Processen omkring detailkortlægning og indsatsplanlægning er overordnet beskrevet i Vejledning nr. 3, 2000, Zonering fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2001).

Processen til udarbejdelse af indsatsplaner kan overordnet beskrives i fire trin. Hvert indsatsområde vil gennemløbe processen fra trin 1 til trin 4, som beskrevet nedenfor. Processen vil forløbe i forskellige tempi inden for amtet, efter den prioriterede rækkefølge, der er vedtaget af Amtsrådet, og som ses i figur 2.1.2.

Trin 1

Afgrænsning af grundvandsoplande som grundlag for opdeling af områder med særlige drikkevandsområder i indsatsområder, samt udpegning af nitratfølsomme vandindvindingsområder.

Trin 2

Udpegning og prioritering af indsatsområder.

Trin 3

Detaljeret kemisk, geologisk og hydrologisk kortlægning af indsatsområderne. Den detaljerede kortlægning i et indsatsområde afsluttes med en Redegørelse for Vandressourcerne i indsatsområdet.

Trin 4

Udarbejdelse af indsatsplaner. Redegørelsen for vandressourcerne vurderes med henblik på at fastlægge, hvor der skal ske en indsats for at beskytte grundvandet.

2.5 Beskrivelse af detailkortlægningen

En forbedret kortlægning er grundlaget for en bedre grundvandsbeskyttelse.

Trin 1 og 2 er allerede gennemført i forbindelse med udarbejdelsen af Regionplan 2001 og Grundvandsplan 2001.

Trin 3 og 4 er påbegyndt for et større antal indsatsområders vedkommende.

Af praktiske årsager vil detailkortlægningen oftest blive gennemført i samlede områder benævnt kortlægningsområder. Opdelingen fremgår af figur 2.1.2.

Gennemførelsen af detailkortlægningen (trin 3) er normalt opdelt i 6 faser, der afsluttes med en teknisk ressourceredegørelse for vandressourcernes beliggenhed, udstrækning, beskyttelse, vandkemiske forhold og vandbalancen inden for hvert indsatsområde.

I de kommende år vil der foregå aktiviteter i flere indsatsområder på samme tid. Dog vil der være forskel på, hvor langt det enkelte område vil være i det samlede forløb. Hver fase har et forløb, der strækker sig over flere måneder, og det er baggrunden for at flere områder skal være i gang samtidig.

De 6 faser beskrives kortfattet herunder og er nærmere beskrevet i Grundvandsplan 2001.

Fase 1

Opsamling af basisviden, gennemgang af tidligere undersøgelser med henblik på planlægning af, hvor der er behov for at gennemføre geofysiske og geokemiske undersøgelser.

Fase 2

Geofysisk kortlægning med forskellige metoder og retolkning af den geologiske model. Orientering om, hvor der aktuelt kortlægges med geofysik. Foldere om den geofysiske kortlægning findes på Natur- og Miljø's hjemmeside, der løbende opdateres.

Fase 3

Planlægning og gennemførelse af undersøgelsesboringer, der skal give supplerende oplysninger om geologi, vandkemi og grundvandsspejl. Samtidig skal der gennemføres en synkronpejling af alle brugbare og relevante boringer for at udarbejde kort over grundvandets trykforhold (potentialekort). Kortet er en forudsætning for vurdering af grundvandets strømningsforhold.

Fase 4

Opstilling af en digital geologisk detailmodel for jordlagene. Opstillingen bygger på resultaterne fra fase 2 og 3. Opstillingen støttes af potentialekortet over grundvandets strømning og geokemiske kort for vandtyper.

Fase 5

Den digitale geologiske model danner grundlaget for den hydrologiske vandbalance- og strømningsmodel for grundvandet. I modellen indgår tillige oplysninger om de klimatiske forhold.

Strømningsmodellen anvendes normalt til at beregne:

- vandbalancen
- det grundvandsdannende opland i indsatsområdet
- påvirkningen af forskellige vandindvindinger på omgivelserne
- udviklingen i grundvandets trykforhold
- udvikling af betydning for de geokemiske forhold
- risiko for påvirkning fra forureninger
- konsekvensen af forskellige klimatiske forhold og til at fastlægge behovet for og omfanget af udlæg af beskyttelseszoner

Fase 6

Udarbejdelse af Vandressourceredegørelsen for indsatsområdet. På grundlag af de foregående faser udarbejdes der en samlet teknisk vandressourceredegørelse for indsatsområdet. I redegørelsen beskrives vandindvindingsmuligheder og behovet for løsninger af vandkvalitetsproblemer. Vandressourceredegørelsen udarbejdes som dokumentationsrapport. Supplerende udarbejdes der resumerapporter for de enkelte indsatsområder med hovedresultaterne af kortlægningen.

3. De overordnede geologiske forhold

3.1 Undergrunden i undersøgelsesområdet

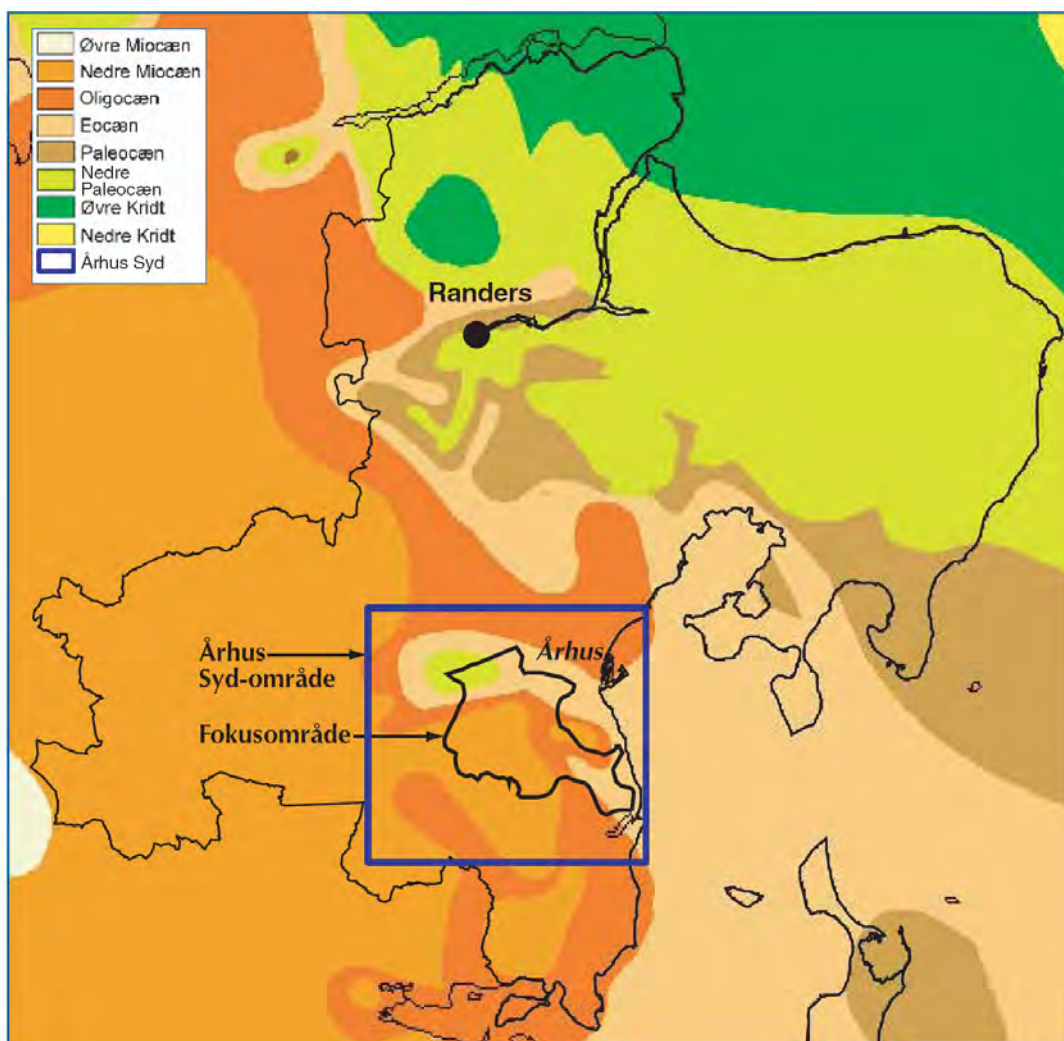
I størstedelen af undersøgelsesområdet består undergrunden (også kaldet prækvartæroverfladen) overvejende af lerede og sandede lag af tertiær oprindelse – det vil sige lag, der er dannet i perioden 65 til 2-3 mio. år før nu. Disse lag er afsat forud for de kvartære aflejringer, som er dannet af de gentagne nedisninger og tilbagesmeltninger af gletsjere, der har formet det nuværende landskab. Som det fremgår af figur 3.1.1, der viser opdelingen af den tertiære periode, ligger de lerede og sandede tertiære lag over kalkaflejringer.

SERIE	FORMATION	VULKANSKE ASKELAG	
PLIOCÆN			
MIOCÆN	Øvre	Gram Form.	
	Mellem	Hodde Form. Ødderup Form.	
		Arnum Form. Ribe Form.	
	Nedre	Vejle Fjord Fm.	
OLIGOCÆN			
Øvre	Branden Ler		
Nedre	Viborg Form.		
EOCÆN			
Øvre	Søvind Mergel		
Mellem	Lillebælt Ler		
Nedre	Røsnæs Ler		
PALEOCÆN	Fur Form / Ølst Form.		
	Øvre	Grå Ler Holmehus Formation Grå Ler	
	Nedre	Kerteminde Mergel Lellinge Grønsand	
		Danien Kalk	
		ØVRE KRIDT	Skrivekridt

Figur 3.1.1. De tertiære formationer - Vestdanmark (Larsen og Kronborg, 1994).

Overfladen af undergrunden består således i undersøgelsesområdet af lag af overvejende Nedre Miocæn alder mod syd mens lag af Eocæn og Oligocæn alder dominerer i den nordlige del af området (fig. 3.1.2.). I et område omkring Harlev i den nordvestligste del af undersøgelsesområdet

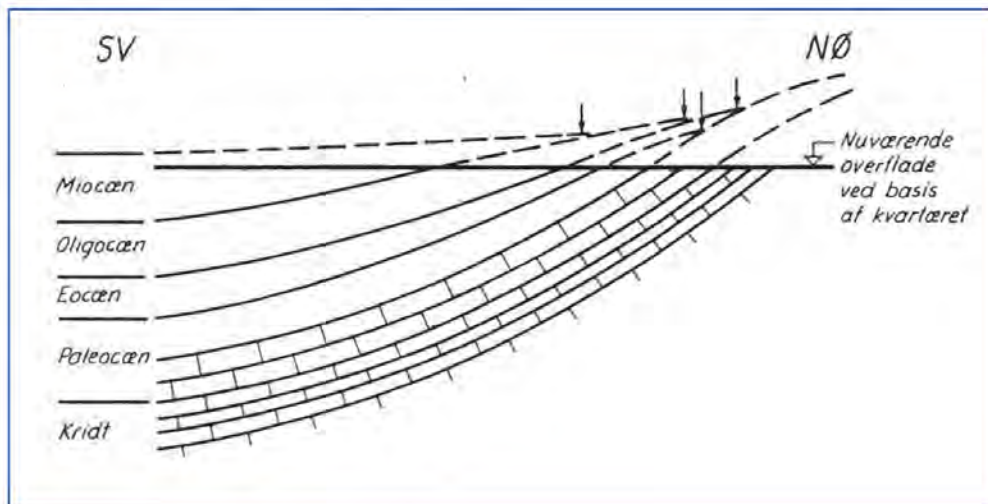
har borerer påvist kalk direkte under de kvartære lag. Det lerede og sandede tertiære lag mangler således her, og kalklagene er angiveligt de ældste tertiære lag i undersøgelsesområdet.



Figur 3.1.2. Undergrunden omkring og i undersøgelsesområdet (Varv, 1992). Undersøgelsesområdet, Århus Syd, er angivet med blå streg, Fokusområdet er angivet med sort streg.

Fordelingen af de tertiære sedimenter i Danmark kan dels henføres til den Fennoskandiske randzone, der ligger i Kattegat op mod Sverige og dels til den erosion, der fandt sted under de kvartære nedsisninger. Nærheden til den Fennoskandiske randzone har således resulteret i, at de ældste aflejringer findes placeret øverst i området ud mod Kattegat og op mod Sverige (fig. 3.1.2 og 3.1.3). I det sydvest-danske område er disse aflejringer begravet langt dybere og altså her pålejret af sedimenter af yngre alder.

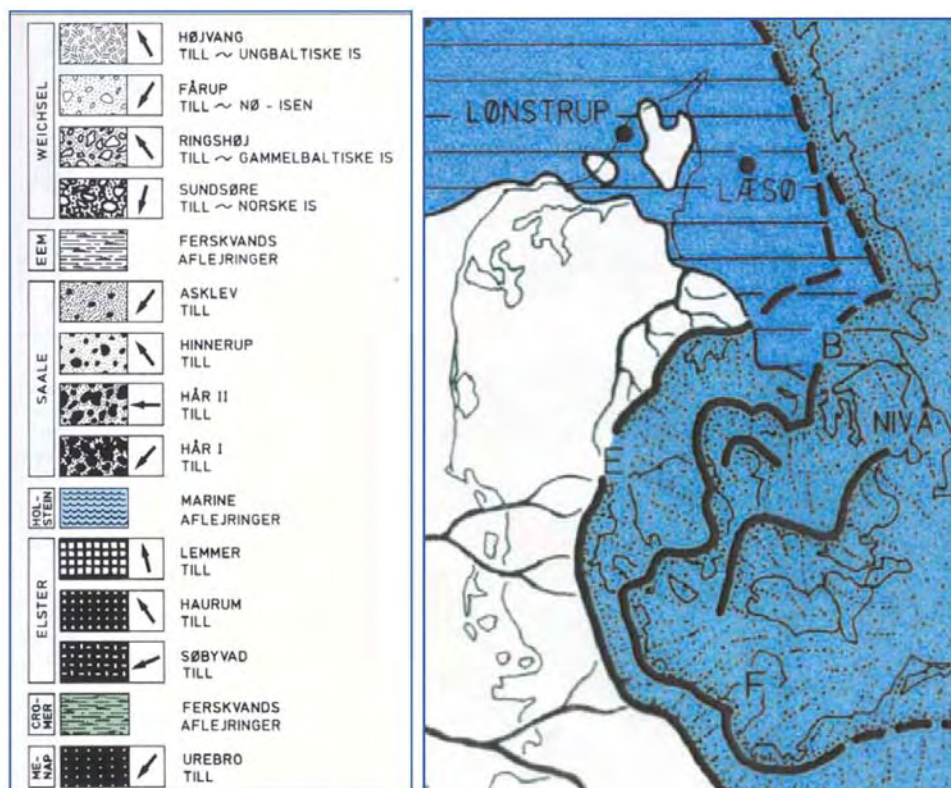
De ældste tertiære sedimenter i Danmark er alle aflejret i det marine miljø, og består af rent og fedt ler. I Øvre Miocæn opstod der landområder i det danske område, og der blev afsat flodslette-aflejringer. Disse er bedst kendt fra områder uden for nærværende undersøgelsesområde - f.eks. fra Voervadsbro.



Figur 3.1.3. Et skematisk tværsnit gennem den tertiære lagserie i Danmark (Lykke-Andersen, 1988). Af figuren fremgår det, at de ældste sedimenter er synlige mod nordøst, og at de er beliggende dybere og dybere, når man bevæger sig mod sydvest i Danmark.

3.2 De kvartære aflejringer

Over de tertiære aflejringer findes kvartære lag dannet i forbindelse med gentagne is- og mellemistider. Af figur 3.2.1 fremgår de, for det midtjyske område, vigtigste istidsperioder, hvor Weichsel, Saale, Elster og Menap er nedsningsperioder, mens Eem, Holstein og Cromer refererer til de mere varmeprægede mellemistider.



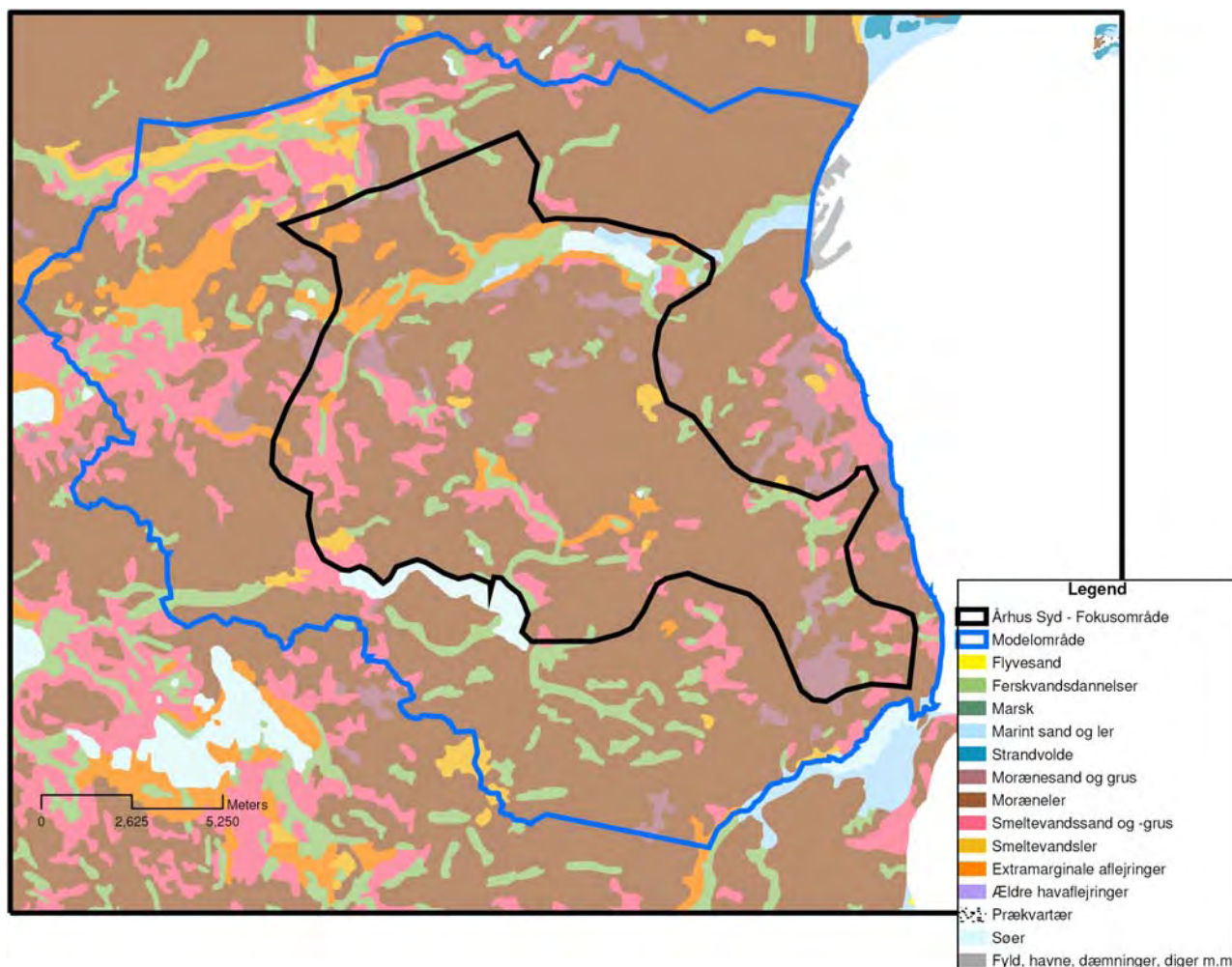
Figur 3.2.1. Til venstre istids- og mellemistidsaflejringer i det mellemjyske område (Larsen og Kronborg, 1994). Pilene angiver gletscherretningen. Til højre det ungbaltiske isfremstød E (Sydøstisen) fra sydøst for 15.000 til 14.000 år siden (Houmark - Nielsen, 1989).

Resultater af undersøgelser fra borer, der er udført i forbindelse med kortlægningen i Århus Syd-området indikerer isoverskridelser i området fra såvel Elster, Saale som Weichsel istider (Sesam, 2005).

Figur 3.2.1 viser den formodede fordeling af land, hav og indlandsis under det sidste store isfremstød (sydøstisen) i forbindelse Weichsel-nedisningen. Det er dette isfremstød, 15.000 – 14.000 år før nu, der har formet landskabet i det østjyske område. Den skraverede signatur viser det havdækkede område, mens selve det ungbaltiske fremstød (Sydøstisen) er markeret med linien "E". Vest for denne linie var Jylland isfrit.

Som det fremgår af figur 3.2.1 er indlandsisen trængt frem fra Østersø-egnene over Øerne til Østjylland. Et ishav har dækket store dele af Vendsyssel, hvor kun de højeste dele har stukket op som øer. Smeltevandsfloder strømmede fra isranden mod det førnævnte ishav i nord. Denne sydøstis aflejrte en overvejende leret og kalkholdig moræne.

De mest overfladenære jordlags sammensætning i Århus Syd-området afspejler at området har været isdækket under sidste istid. I størstedelen af området består de overfladenære lag af aflejringer, der veksler mellem morænesand, -grus og -ler. Smeltevandsaflejringer som smeltevandssand, -grus og -ler ses også men mindre dominerende. Derudover kan der i området findes tørv, gytje samt ferskvandsdannelser i den øverste del af lagserien (fig. 3.2.2).



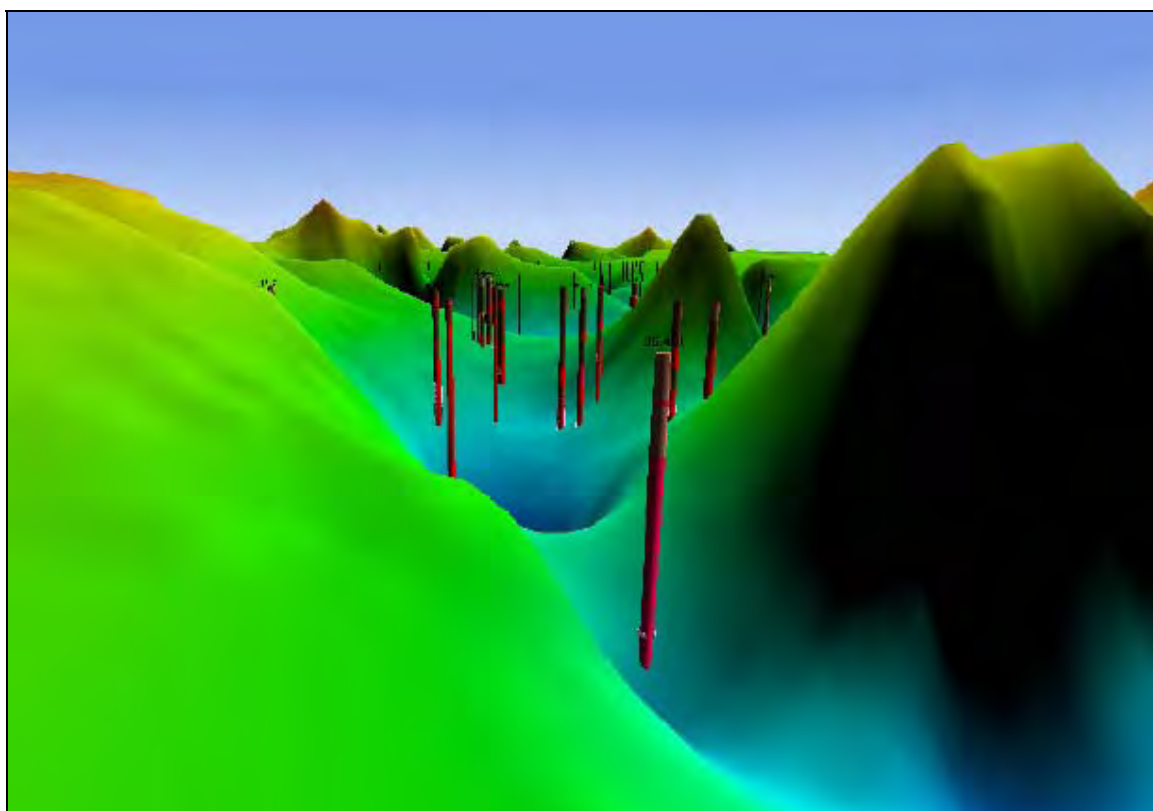
Figur 3.2.2 Udsnit af danmarks digitale jordartskort (GEUS, 2000a). Århus Syd-området er angivet med blå streg. Fokusområdet er angivet med sort streg.

3.3 Nedskårne dale

Karakteristisk for undersøgelsesområdet er de nedskårne dale i prækvartæroverfladen (fig. 3.3.1). Disse dale er dannet i forbindelse med afsmeltning af gletscherne under istiden, hvor smeltevandsstrømme har eroderet i undergrunden. Således er prækvartære aflejringer anført i kote 40 til 60 m på de højest liggende plateauområder, mens prækvartæroverfladen i bunden af dalstrukturene er anført i kote -160 m eller dybere.

Opfyldte dalstrukturer, der er nedskåret i undergrunden, og som ikke kan erkendes i dagens terræn benævnes begravede dale, mens dalstrukturer, hvor der er et vist sammenfald med en nuværende ådal, får betegnelsen delvist begravet dal (Jørgensen og Sandersen, 2004). I undersøgelsesområdet ses begge typer af dalstrukturer.

I den sydlige del af undersøgelsesområdet tyder tolkningerne på, at de undersøgte dalstrukturer er opfyldt med materiale af såvel Elster, Saale som Weichsel alder (fig. 3.2.1) mens der i undersøgelsesområdets nordlige del er set dalopfyldning af Saale og Weichsel alder (Sesam, 2005).



Figur 3.3.1. 3D-visualisering af den prækvartære overflade ved Beder. Figuren gengiver et kig fra Beder mod Mårslet gennem Beder-Mårslet-Stillingdalen, der skærer sig ned i den prækvartære overflade. De lodrette stave er borer i området.

3.4 Grundvandsmagasiner

I undersøgelsesområdet findes der grundvandsmagasiner både af Kvartær og Tertiær alder.

De tertiære grundvandsmagasiner findes hovedsageligt ved Østerbyværket omkring Tranbjerg. Her indvindes der angiveligt fra miocæne kvartssandslag. I en af indvindingsboringerne optræder det tertiære sand dog med sikkerhed som en flage indlejret i de kvartære aflejringer.

I undersøgelsesområdet udgør de kvartære smeltevandsaflejringer hovedparten af grundvandsmagasinerne. Når isen efter en nedsningsperiode smeltede tilbage blev der frigjort store mængder sedimenter fra gletscheren. De største mægtigheder af smeltevandsaflejringer erkendes i de nedskårne dalstrukturer, der under istiden blev fyldt op med materiale vekslende mellem sand, ler, silt og moræneler/sand og –grus. Der indvindes vand fra kvartære aflejringer i disse begravede dale ved alle de store kildepladser i indsatsområderne Beder, Stautrup, Storskoven og Åbo.

4. Dataindsamling og detailkortlægning

4.1 Program for detailkortlægning

Formålet med den gennemførte kortlægning i Århus Syd-området, med særlig vægt på Fokusområdet, har været at skabe det bedst mulige grundlag for beskrivelse af områdets grundvandsressourcer med hensyn til beliggenhed, udstrækning og kvalitet. Forud for den gennemførte kortlægning blev der foretaget en nøje analyse og vurdering af den eksisterende viden således, at den gennemførte kortlægning kunne supplere den eksisterende viden og derved optimere beskrivelsen af grundvandsressourcen.

Eksisterende geologisk viden om området bygger dels på et generelt geologisk kendskab til undergrundens opbygning, som er opnået gennem mere end 150 års geologisk forskning og kortlægning, og dels på informationer af mere lokal karakter. Sidstnævnte stammer først og fremmest fra boringsoplysninger, men mange værdifulde oplysninger er endvidere hentet fra undersøgelser i områdets råstofgrave, skræntprofiler, vejjennemskæringer og lignende.

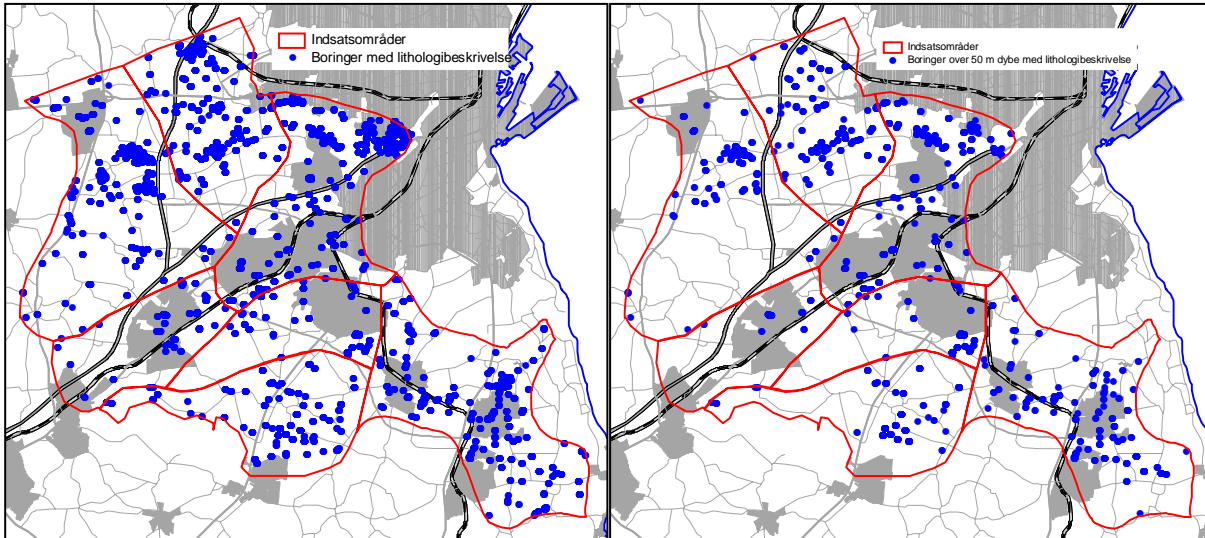
Geologiske informationer er inden for de seneste 10-15 år blevet suppleret med resultater af geofysiske målinger foretaget i området. De geofysiske kortlægninger har udover at forbedre kendskabet til hovedstrukturene i den regionale geologi desuden bidraget til, at sætte oplysningerne fra de enkelte og ofte spredt beliggende boringer ind i en større sammenhæng.

I forbindelse med Århus Syd-kortlægningen blev der foretaget en vurdering af, om de eksisterende boringer udgjorde et tilstrækkeligt grundlag for en brugbar beskrivelse af grundvandsressourcerne i området, herunder grundvandsmagasinerne beliggenhed, udbredelse og sammenhænge. Desuden blev der foretaget en vurdering af om de begravede dale med deres potentielle grundvandsforekomster, ville kunne beskrives tilstrækkeligt præcist på grundlag af eksisterende viden.

De eksisterende boringer

Der blev foretaget en gennemgang af boringer som tidligere er udført i området, med henblik på vandforsyning, markvanding, råstofundersøgelser osv.

I den venstre del af figur 4.1 vises fordelingen af boringer med geologiske beskrivelser af de gennemborede lag. I den nordlige og østlige del synes der at være en god datadækning med boringer, mens dækningen i den vestlige del er mere sparsom. Kortet til højre i figur 4.1 viser, at boringstætheden i den vestlige del falder betragteligt, når boringsdybden overstiger 50 m. Der er store sammenhængende områder, hvor der ikke findes boringer som er dybere end 50 m.



Figur 4.1 På kortet til venstre er vist alle kendte, eksisterende borer i Århus Syd-Fokusområde, og figuren viser, at boringstætheden er knap så god i den vestlige del som i den nordlige og østlige del. Kortet til højre illustrerer, at boringstætheden er meget sparsom i den sydvestlige del af området, når boringsdybden overstiger 50 m.

Gennemgangen viser, at der på det eksisterende boringsgrundlag ikke er muligt at fastlægge forekomsten, udbredelsen eller dybden af de begravede dale i den sydvestlige del af fokusområdet. Det kunne således hurtigt konkluderes, at der var et meget stort behov for flere dybe undersøgelsesboringer især mod sydvest for at grundvandsmagasinerne i de begravede dale kunne beskrives med større sikkerhed.

Valg af kortlægningsmetoder

Det var ikke muligt at dække området fuldt ud med borer, og der var behov for supplerende geofysiske målinger. Geofysiske målinger kan oftest give en betydelig tættere informationsdækning, da målingerne er fladedækkende, end hvad det er muligt at opnå med borer. Derved kan der opnås mere præcise afgrænsninger af områder af særlig betydning, f.eks. dalstrukturer samt dæklag over grundvandsmagasinerne.

De geofysiske målinger skulle resultere i: a) oplysninger om jordlagenes strukturelle sammenhæng, b) sikre en optimal placering af nye borer og c) knytte informationerne i de eksisterende borer bedre sammen.

Valg af kortlægningsstrategi og kortlægningsværktøjer i forbindelse med en detaljeret kortlægning i Århus Syd-området bygger således på en vurdering af omfang og karakter af den kendte viden sammenholdt med de muligheder, der foreligger for at udbygge den eksisterende viden.

Grundelementer i strategien for at supplere den eksisterende viden blev valgt på baggrund af en kombination af forskellige typer borer i samspil med forskellige typer geofysiske målemetoder. Derved opnås en kombination, hvor metoderne forstærker hinandens informationsniveau og gensidigt understøtter og forbedrer den tolkning, der ligger i det at forstå såvel boringsresultater som geofysiske måleresultater.

Den detaljerede kortlægning i Århus Syd-området har inkluderet analyser af:

- Grundvandsmagasinerne, deres beliggenhed og udbredelse - især i de begravede tertiære dalstrukturer.
- Grundvandskvaliteten, de grundvandskemiske forhold ned gennem magasinerne, herunder stabilitet, redoxforhold, nitratfronter, uønskede stoffer mv.
- Grundvandets sårbarhed, herunder de øvre lerdæklag, nitratfrontens beliggenhed, nitratkoncentrationer, koncentrationer af nitritfremmende stoffer, nitratreduktionskapacitet mv.
- Grundvandets trykforhold, herunder indbyrdes trykforhold i forskellige dybder og i forskellige vandførende sandlag.
- Grundvandets strømningsmønster, herunder nye væsentlige pejlepunkter sammenholdt med synkronpejlerunde.

Derudover er der opstillet:

- En hydrogeologisk model hvor de geofysiske målinger og geologiske informationer fra borerer foruden information fra synkronpejlerunden og filtersætningsniveauer er sammenstillet
- En grundvandsmodel der har simuleret grundvandsstrømningen i området.

Detailkortlægning

Følgende nye data er indsamlet til brug i ovenstående analyser:

- Til supplerung af eksisterende geofysiske data, blev der iværksat slæbegeoelektriske målinger i 2 delområder og SkyTEM målinger i 1 delområde.
- Boringsregistrering og synkronpejlerunde blev sideløbende iværksat og gennemført i maj 2004.
- 15 nye dybe undersøgelsesboringer blev udført i 2003/2004. Boringernes placering og dybde blev justeret undervejs på baggrund af de resultater, der løbende blev afrapporteret.
- Vandprøvetagning i undersøgelsesboringer blev gennemført i løbet af sommeren og efteråret 2004. Anden prøvetagning blev udført i 2006.
- Sedimentprøvetagning til kemiske analyser blev udtaget og analyseret i sommeren og efteråret 2004.
- Vandprøvetagning i eksisterende markvandingsboringer blev gennemført i løbet af sommeren og efteråret 2004.

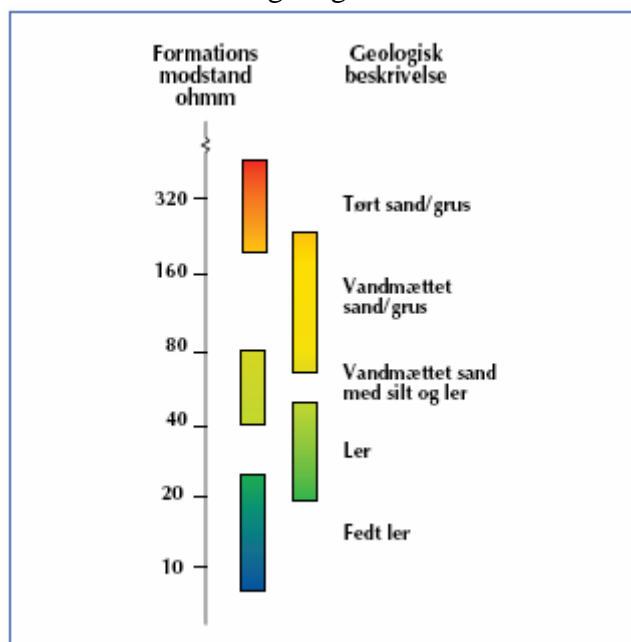
4.2 Geofysiske målinger

De geofysiske målinger, der har vist sig at være mest optimale til beskrivelse af jordlagenes strukturer og geofysiske egenskaber i store dele af Århus Amt, er transiente elektromagnetiske målinger (TEM) og slæbegeoelektriske målinger (PACES/PACEP). TEM-målingerne, der også kaldes TEM-sonderinger giver det væsentligste bidrag til kortlægning af dybe begravede dalstrukturer. PACES/PACEP målinger giver derimod information om sammensætning af de øverste 30 m jordlag og herunder indikation på tykkelsen af de øverste lerdæklag.

Geofysiske målinger er udført af eksterne rådgivere (Dansk Geofysik 1998-2000; Hedeselskabet 2003; Rambøll 2003; Sørensen, K. 1992; Watertech 1999, 2003; Århus Universitet 1992-2000, 2003-2004).

4.2.1 Sedimenters elektriske modstand

For at kunne udnytte de geofysiske metoder optimalt er det nødvendigt at have kendskab til de danske sedimenters forventede elektriske modstand. Størrelsen på den specifikke elektriske modstand er først og fremmest afhængig af lerindhold samt vandindhold og vandkemi. Af figur 4.2.1 fremgår det, at ler primært har en lav modstand og sand/grus en høj modstand, ligesom det ses at sedimenternes vandindhold har stor betydning for modstandsbilledet. I Århus Syd-området afspejler de laveste elektriske modstande de meget fede, tertiære leraflejringer, mens de højeste elektriske modstande repræsenterer de tørre og meget velsorterede sandaflejringer.

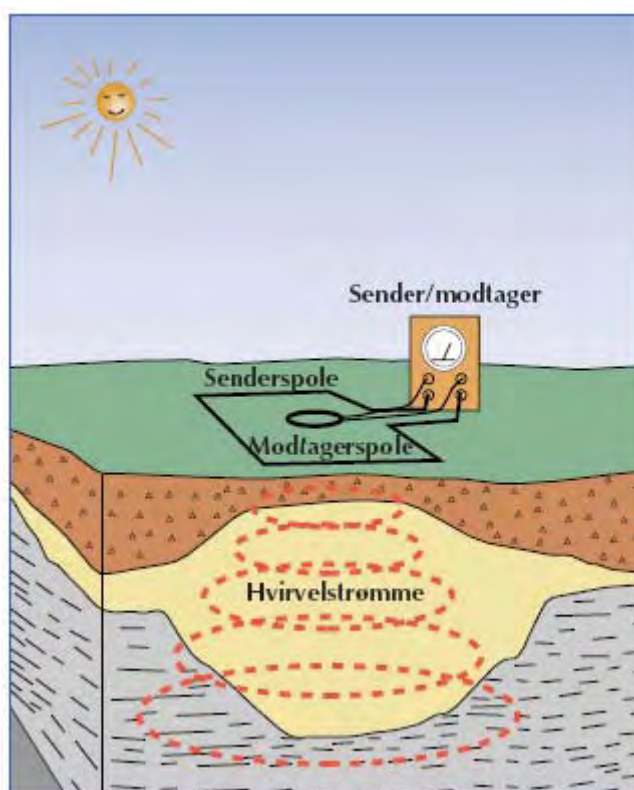


Figur 4.2.1 Typiske elektriske modstandsniveauer for sedimenter i Århus Syd-området

Vanskeligheder med at etablere en entydig relation mellem de elektriske modstande og de geologiske aflejringer øges væsentligt, når der er tale om elektriske modstande mellem ca. 45 og 80 ohmm. I dette modstandsinterval finder man såvel moræneaflejringer som vandmættet sand med relativt stort indhold af eksempelvis klorid-, sulfat- og/eller nitratsalte. De fedeste morænelere ligger i den laveste ende af intervallet. Med aftagende lerindhold vil den elektriske modstand stige, således at morænesand kan være vanskeligt at skelne fra smeltevandssand. Endvidere vil dårligt sorterede, vandmættede smeltevandssand ofte være vanskelige at skelne fra almindeligt forekommende morænelere.

4.2.2 TEM-målinger

Hele Århus Syd-Fokusområdet samt tilstødende arealer er kortlagt med TEM. TEM-metoden har været anvendt i 10 år i Danmark og er en elektromagnetisk sonderingsmetode, der scanner jordlagene og derved afspejler geologiske strukturer for dybder på op til 150 meter. TEM-metoden er vist på principskitsen i figur 4.2.2. TEM metoden er velegnet til tolkning af områder, hvor der findes lag med lav modstand inden for en dybde på maksimalt 150 m og derved er yderst velegnet til at afsløre begravede prækvartære dale, nederoderet i fedt (ofte tertiært) ler. Lag med saltvand vil kunne forstyrre dette billede, men forventes kun at spille en rolle i den yderste sydøstligste rand af området.



Figur 4.2.2. Skitse, der viser måleprincippet i den transiente elektromagnetiske metode (TEM).

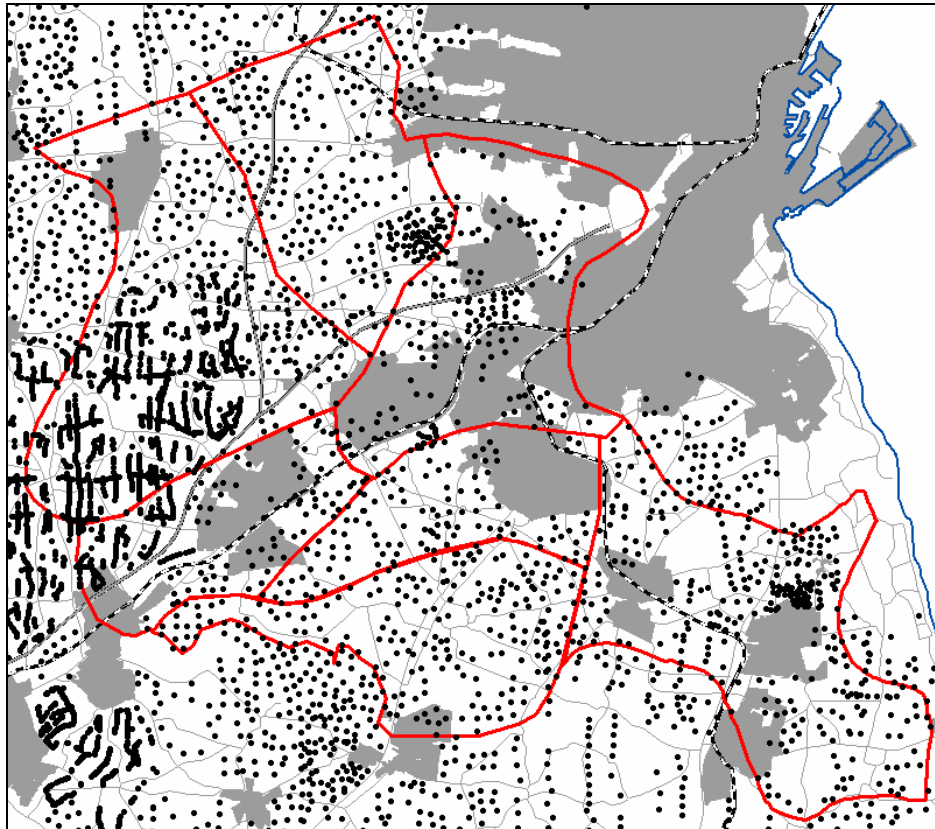
En videreudvikling af TEM-metoden er SkyTEM-metoden, der ligeledes bygger på elektromagnetiske principper. Målingerne foretages fra en helikopter, som flyver i ca. 60 meters højde med en hastighed på ca. 20 km i timen. Helikopteren bærer udstyret under sig (se figur 4.2.3). Målingerne resulterer i en tilsvarende scanning af jordlagene ned til en dybde på 100 - 150 meter under terræn som ved den traditionelle TEM-metode. Den helikopterbaserede målemetode betyder, at der kan udføres målinger en større del af året, idet der ikke er fysisk kontakt med jordoverfladen. Der kan opnås en større kortlægningshastighed og øget måletæthed og dermed en forbedret effektivitet.



Figur 4.2.3. SkyTEM måling udført fra helikopter. Den transiente måling udføres på tilsvarende vis som en traditionel TEM måling; dog hænger udstyret i luften frem for at ligge på jorden.

De ældste TEM sonderinger fra Århus Syd-området er i forbindelse med indrapportering til den nationale geofysik database GERDA, blevet gennemgået en ekstra gang ved en refortolkning. Samtlige TEM sonderinger der benyttes, er dermed af meget høj kvalitet.

På figur 4.2.4 er vist hvor der er udført TEM sonderinger (både standard og SkyTEM målinger) i Århus Syd-området. SkyTEM målingerne er udført i den vestligste del af Århus Syd-området. Tolkninger for både standard TEM og SkyTEM målingerne dækker ned til en dybde på ca. 150 m under terræn, og der er benyttet 1-dimensionale modeller med op til maksimalt 5 lag (oftest 3 eller 4 lag) i tolkningen.



Figur 4.2.4. Datadækning af TEM sonderinger i Århus Syd-området.

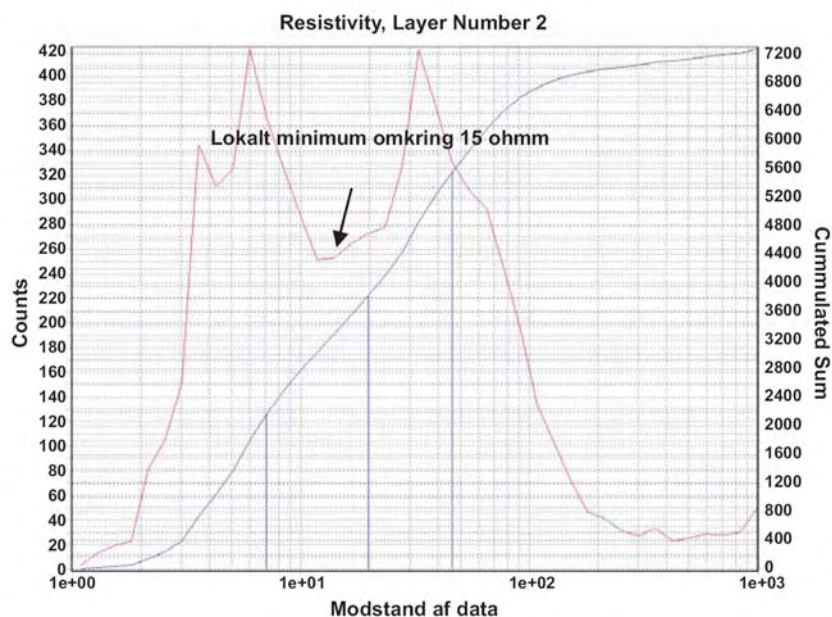
Den gode elektriske leder

TEM-målingerne er enestående til at kunne afdække overfladen af fed ler. De begravede dale er dannet ved nederodering i det tertiære ler, hvorfor TEM-målinger er yderst anvendelige til at kortlægge bunden og udstrækningen af de begravede dale. Dalene er oftest efterfølgende udfyldt med grovere sedimenter, og der kan derfor findes betydelige vandførende sandaflejringer af interesse for grundvandsindvinding i de begravede dale.

Det tertiære ler udgør bunden af de større sandmagasiner i området og denne er en vigtig parameter i vurderingen af vandressourcen. En analyse af hvor dybt eller i hvilken kote (antal meter under havniveau) overfladen af det tertiære ler ligger giver et godt grundlag for den hydrologiske model.

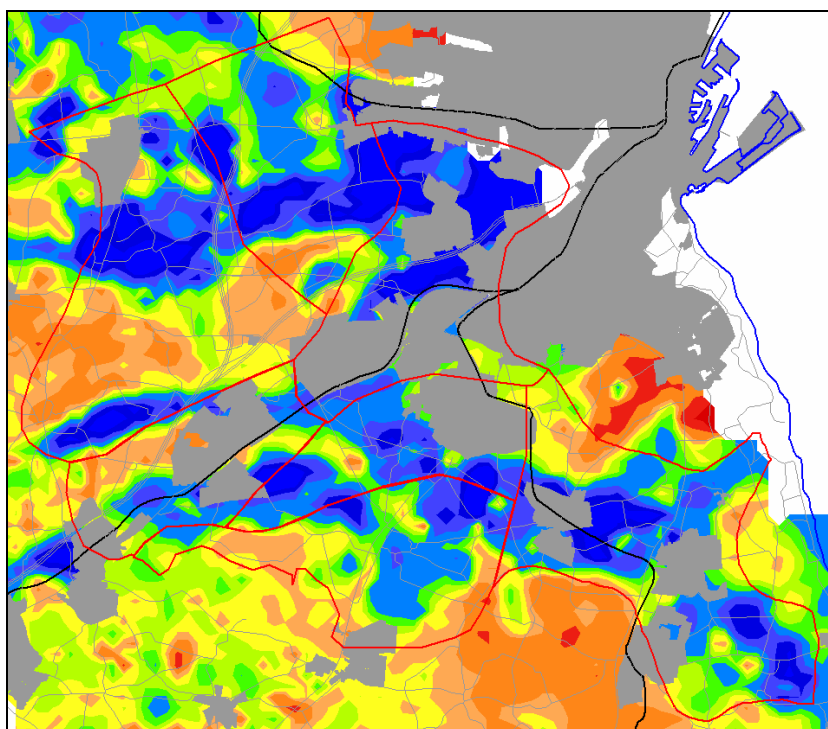
Det tertiære lers elektriske modstand er meget lav, men alligevel varierende mellem 3 og 20 ohmm i forskellige områder. Ved at foretage en analyse af modstandsfordelingen af de tolkede lag af TEM-målingerne, er det muligt at vurdere den sandsynlige maksimale modstand af det tertiære ler i et specifikt område. TEM-målinger i Århus Syd-området er primært tolket med en såkaldt dobbelt nedstigende model, hvor de to nederste lag i modellen består af lavmodstandslag. Ved at foretage en analyse af det næstnederste lag er det muligt at give en indikation på modstanden af det tertiære ler.

Frekvenskurven over samtlige TEM-modeller i Århus Syd-området, der er markeret med rødt i figur 4.2.5, viser et lokalt minimum ved ca. 15 ohmm. Da det næstnederste lag ofte er identisk med den øverste gode elektriske leder, vælges de 15 ohmm som afskæringsfrekvens ved udsøgningen af bunden i den hydrologiske model.



Figur 4.2.5. Frekvenskurve over TEM-modeller i Århus Syd-området.

Konturering af koten for lag med modstande under 15 ohmm for samtlige TEM-modeller i Århus Syd-området fremgår af figur 4.2.6. Som det fremgår af figuren, er Århus Syd-området karakteriseret ved markante, sammenhængende og langstrakte begravede dalstrøg (de blå områder på kortet) med højtliggende plateauer mellem dalene (de røde/orange områder på kortet).

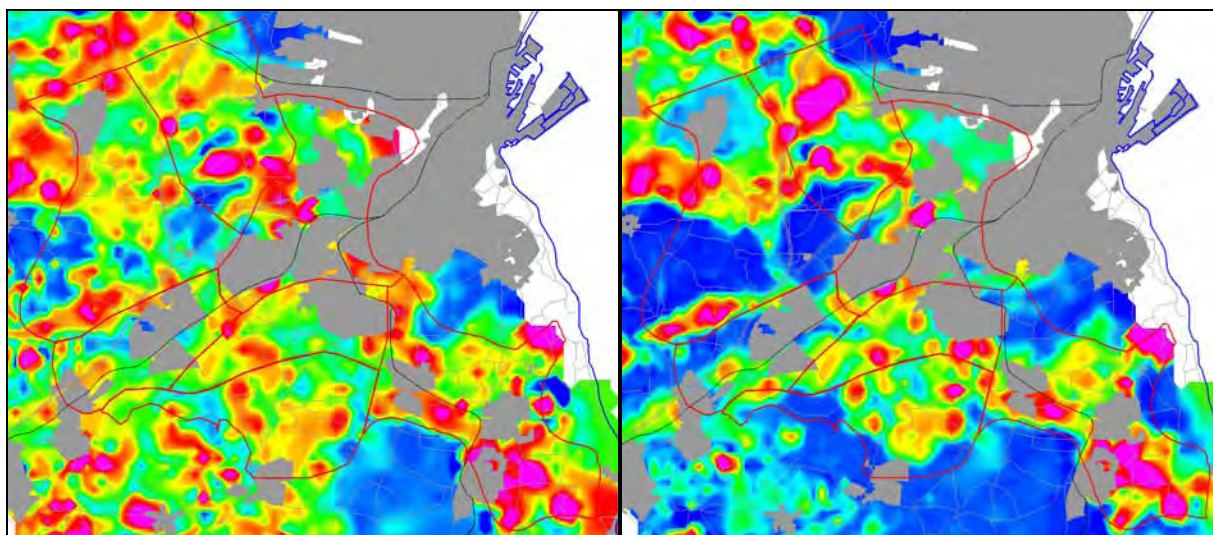


Figur 4.2.6. Korten for den dybe gode leder i Århus Syd-området viser langstrakte begravede dalstrøg (de blå områder på kortet) med højtliggende plateauer mellem dalene (de røde/orange områder på kortet).

Middelmodstande

For at vurdere mulighederne for at finde sammenhængende, vandførende sandlag af større mægtighed kan det være udbytterigt at kigge nærmere på middelmodstande fra TEM-målinger. Dette gøres ved at fremstille modstandsintervalkort for bestemte koteintervaller eller dybdeintervaller. Herved fås et indtryk af, om de tolkede TEM-modstande i et givet kote- eller dybdeinterval er så høje, at de giver grundlag for at formode, at der findes sandede aflejringer i intervallet.

I figur 4.2.7 er vist 2 eksempler på middelmodstandskort i 2 på hinanden følgende koteintervaller. Af disse figurer fremgår det, at der i koteintervallet 20 til 0 m er større mulighed for at træffe vandførende sandlag (orange/røde områder, der indikerer høje modstande) end i det foregående koteinterval (-20 til 0 m). Ved sammenligning med figur 4.2.6 fremgår det desuden, at områder med grovere sedimenter koncentrerer sig i dalstrukturerne. Ovenstående oplysninger om i hvilke områder det kan forventes at træffe størst mægtighed af vandførende sandlag, er en vigtig oplysning i det videre arbejde med vandressourcekortlægning.



Figur 4.2.7. Middelmodstandskort for henholdsvis kote 20 til 0 m (til venstre) og kote 0 til -20 m (til højre) i Århus Syd-området.

4.2.3 Slæbegeoelektrik og kortlægning af de øverste dæklag

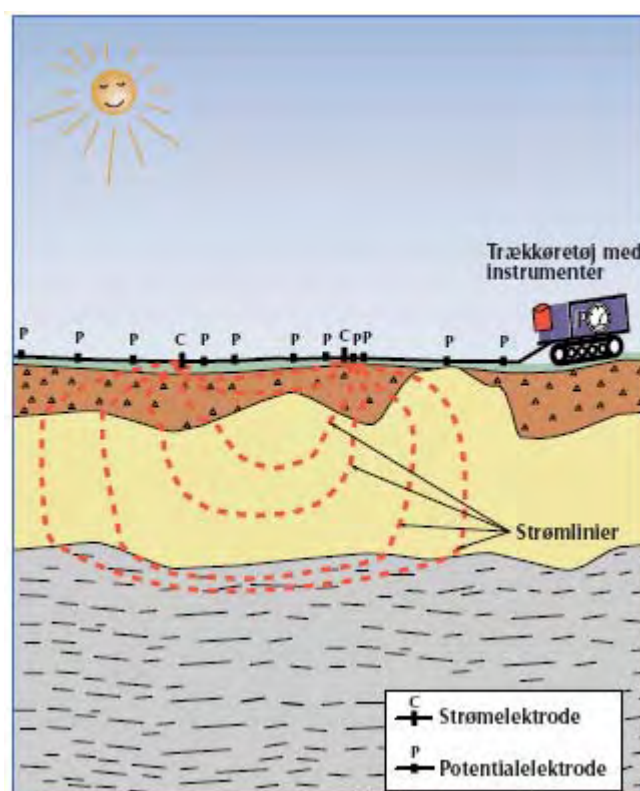
Tolkning af de helt terrænnære lag på baggrund af både de enkeltstående TEM målinger og SkyTEM målinger har en forholdsvis høj usikkerhed, og den slæbegeoelektriske metode er mest anvendelig til kortlægning af de overfladenære jordlag.

Den geoelektriske målemetode anvendes især i forbindelse med kortlægning af de øverste 20 - 30 meters dæklag oven over grundvandsmagasinerne. Metoden kan give informationer om, hvor der overvejende findes lerede sedimenter (med lave elektriske modstande), og hvor der eventuelt findes sandede lag (med højere elektriske modstande). De sandede lag er vigtige at få kortlagt, da de indikerer, hvor der med stor sandsynlighed findes oxiderende forhold ned til større dybder.

De første slæbegeoelektriske målinger i Århus Syd-området og i det hele taget i Århus Amt, blev udført sammen med Århus Kommune Værker i forbindelse med kortlægning i området omkring

Constantinsborg. På dette tidspunkt i starten af 1990'erne, var der kun udført ganske få test og målinger med den slæbegeoelektriske metode. Denne tidlige version af slæbegeoelektrik, kaldes PACEP-metoden, og målte kun med 3 elektrodeafstande, såkaldt 3-kanals-slæbegeoelektrik. Den var dog en landvinding i forhold til traditionel spydkartering, idet udstyret kunne måle, imens det blev slæbt hen over jorden.

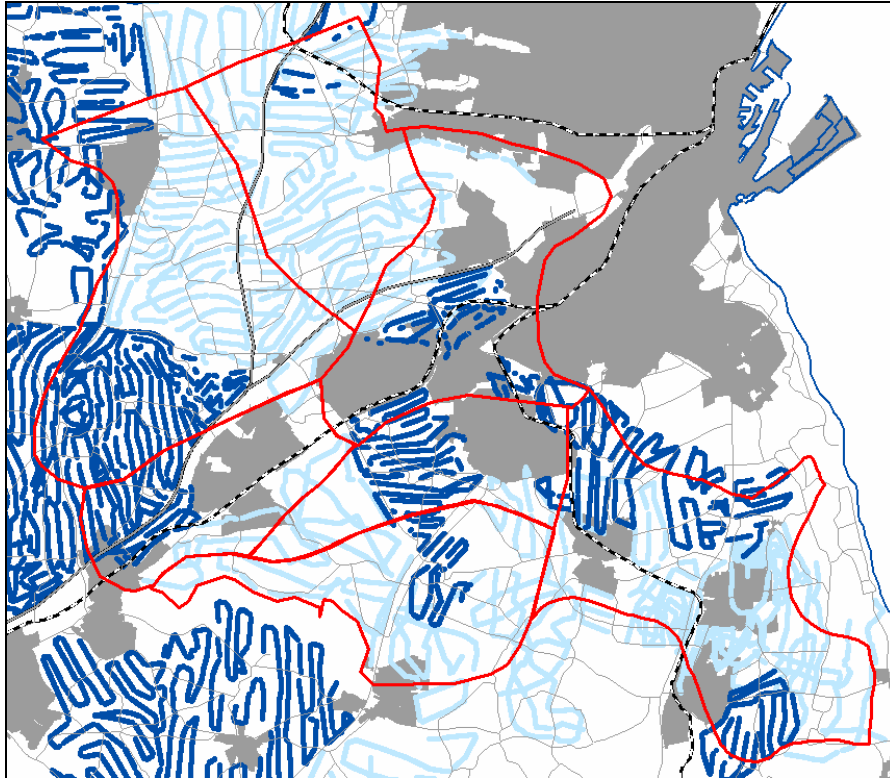
I perioden 1997-1999 udvikledes en ny type slæbegeoelektrik, PACES-metoden, hvormed der kontinuert kan foretages målinger for 8 forskellige elektrodeafstande pr. målepunkt, og derfor ofte omtales som 8-kanals-slæbegeoelektrik. PACES-metoden muliggjorde en kvalitativ tolkning af de målte jordlag. Den slæbegeoelektriske metode er vist i en principskitse på figur 4.2.8.



Figur 4.2.8 Skitse, der viser måleprincippet i den slæbegeoelektriske metode (PACES).

De slæbegeoelektriske PACEP-målinger med 3-kanaler tolkes som oftest ved hjælp af 3 lags modeller med fastholdte laggrænser og variable lagmodstande. PACES-målingerne, der som nævnt ovenfor består af tætliggende sonderinger med 8 måleværdier pr. sonderingskurve, tolkes derimod overvejende ved hjælp af 1-dimensionelle 3-lagsmodeller med variable laggrænser og variable lagmodstande. Fordelen ved PACES-tolkninger frem for PACEP-tolkninger er således, at det er muligt at bestemme tykkelsen af et givet lag, hvorimod PACEP-tolkninger udelukkende kan afspejle væsentlige træk ved variationer i de øvre jordlags geologi.

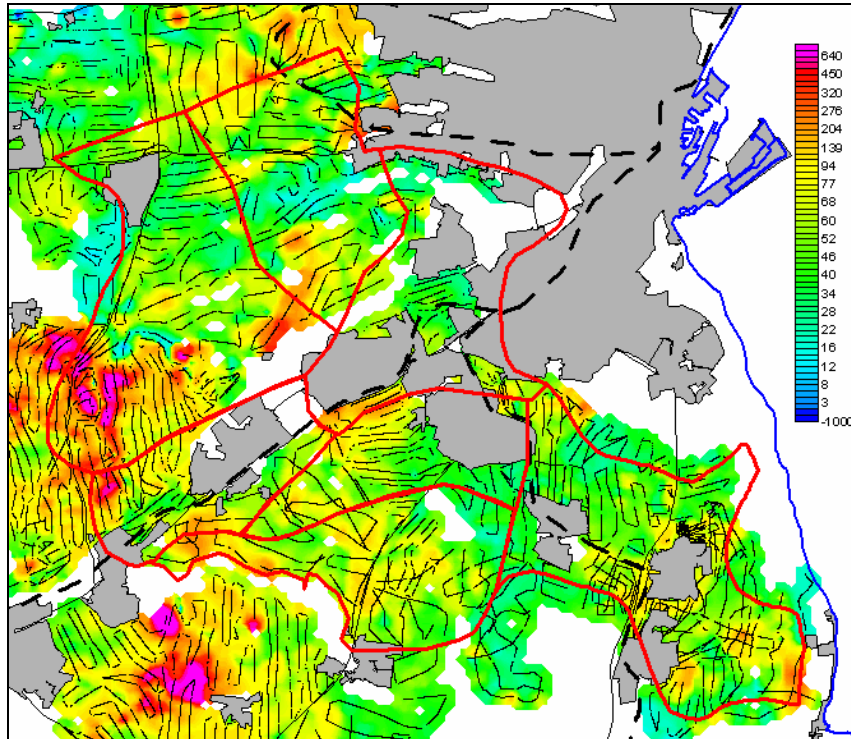
Som det fremgår af figur 4.2.9, omfatter de slæbegeoelektriske undersøgelser i Århus Syd primært målinger foretaget med PACEP-metoden suppleret med enkelte kortlægninger med PACES-metoden. I Århus Syd er PACEP-metoden primært anvendt i perioden 1992-1997, og den videreudviklede PACES-metode er anvendt i Århus Syd-området i 1998 og 2003.



Figur 4.2.9. Oversigt over PACEP (markeret med lyseblå linier) og PACES (markeret med mørkeblå linier) kortlægningsområder i Århus Syd.

De overordnede resultater af slæbegeoelektriske målinger i Århus Syd

De overordnede resultater af de slæbegeoelektriske målinger i Århus Syd fremgår af figur 4.2.10, hvor de tilsyneladende modstande for PACES og PACEP er illustreret med den største måledybde (elektrodeafstand $a=30$ m). En elektrodeafstand på 30 m svarer til, at udstyret måler i en fokuseringsdybde på ca. 15 m.



Figur 4.2.10. Kort over den tilsyneladende elektriske modstand (ohmm) i ca. 15 meters dybde i Århus Syd.

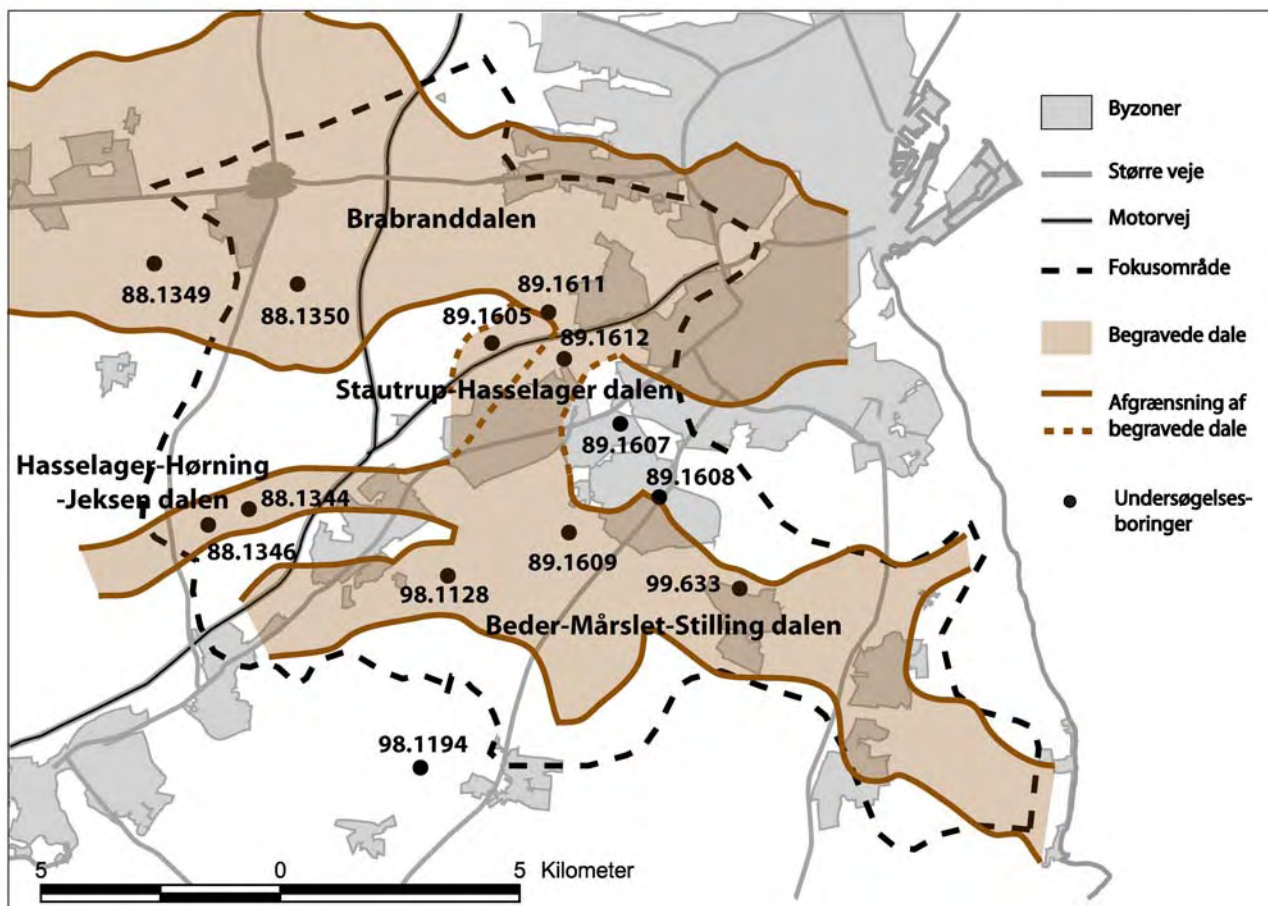
Som det fremgår af figur 4.2.10 domineres Århus Syd af lave modstande i den nordlige, sydlige og østlige del, hvorimod de høje modstande er koncentreret i den vestlige del. Primært ses arealer med lave modstande mellem Framlev og Århus, syd for Tranbjerg og i området omkring Mårslet og nord for Beder. Områder med meget høje modstande ses vest for Kolt og syd for Hørning, mens områder med høje modstande forefindes i spredte områder i den centrale del af området og ved Beder og Malling.

Flere steder i området (figur 4.2.10) forekommer bratte overgange mellem lave og høje elektriske modstande. Dette afspejler, at ændringer i de overfladenære geologiske forhold ligeledes sker relativt brat, eksempelvis hvad angår tykkelse af lerlag/sandlag. Derfor skal man være opmærksom på, at der ofte kan være betydelige forskelle mellem tykkelse af henholdsvis ler- og sandlag, der observeres i borer, som ligger i nogen afstand fra PACES-målelinier, og de lagtykkelser, der tolkes ud fra PACES-målingerne. Samtidig er det vigtigt at være opmærksom på, at PACES-målingerne i den største del af Århus Syd-området udgør den fladedækkende information i forhold til de spredte borer. PACES-målingerne giver derfor det overordnet set mest dækkende billede af den geologiske variabilitet inden for de øverste 20 til 30 m under terræn.

I Århus Syd-området er der ikke noget entydigt sammenfald mellem lavmodstandsområder eller højmodstandsområder fra PACES/PACEP målingerne, og de begravede dalstrukturer tolket ved hjælp af TEM-målinger (jf. figur 4.2.6). Nogle steder er de begravede dale dækket af meget sandet materiale, mens der andre steder ligger store mægtigheder af lerede aflejringer oven på de begravede dale.

4.3 Boringer: Geologi og kemi

I forbindelse med kortlægningen i Århus Syd blev der i 2003 og 2004 udført 15 nye undersøgelsesboringer med det formål af få et forbedret kendskab til geologien, grundvandets strømningsforhold og grundvandets kemiske sammensætning i de vigtigste magasiner i området. Placeringen af 13 af disse boringer fremgår af figur 4.3.1. De 2 resterende boringer (DGU numre: 88.1348 og 88.1345), som ikke er vist på figur 4.3.1, ligger nordligere og mere perifere i forhold til Århus Syd-Fokusområdet. De to boringer ligger i den sydlige del af den begravede Ristrup-Grundfør-Ødumdal ved Sabro.



Figur 4.3.1. Placeringen af 13 nye undersøgelsesboringer i Århus Syd-området i forhold til de begravede dale. Yderligere 2 nye undersøgelsesboringer (DGU numre: 88.1348 og 88.1345) ligger nord for kortet ved Sabro i den sydlige del af den begravede Ristrup-Grundfør-Ødumdal.

Borearbejde og prøvebeskrivelser

Undersøgelsesboringerne er udført af brøndborerfirmaerne Asbjørn Højfeldt A/S (10 stk.) og Søren Pedersen Brøndboring A/S (5 stk.) i perioden fra november 2003 til juni 2004. Alle boringer er udført med 350 mm lufthævedstyr. Ved opstart af borearbejdet er der forboret med snegl til 5-6 m's dybde.

Jordprøverne til geologisk bedømmelse er udtaget over 1 m intervaller i sedimentfang og er efterfølgende udlagt på fiberdug. Der er ført tilsyn med borearbejdet og undervejs foretaget geologisk beskrivelse af jordprøverne samt test af mangan og kalkindhold (Niras, 2004a). Samtidig

er miljø, alder og sedimenttype vurderet. Beskrivelsen er foretaget i henhold til Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse (DGF, 1995).

Under borearbejdet er der desuden foretaget farvebestemmelse af såvel den samlede prøve som af coatingen og skyllevandet, for at kunne fastlægge redoxgrænsens beliggenhed.

Farvebeskrivelserne består dels af en almindelig beskrivelse samt en beskrivelse i henhold til Munsell farvekoderne.

Prøverne fra 6 udvalgte boringer er efterfølgende blevet bedømt på Geologisk Institut af Sedimentsamarbejdet (Sesam, 2005). Der er udført forskellige petrografiske og mineralogiske analyser samt kornstørrelsesanalyser på i alt 365 prøver fra undersøgelsesboringerne i Århus Syd.

Efter endt borearbejde er der udført borehulslogging af Rambøll i de åbne og uforede boringer (Niras, 2004a). Logprogrammet har omfattet naturlig gammalog, resistivitetslog, induktionslog, porøsitetlog, temperatur- og fluidresistivitetslog.

Vandkemiske analyser

De 15 undersøgelsesboringer er sat med 1-4 filtre, som har til formål at monitorere det øvre og dybereliggende grundvand i de vandførende lag, som er til stede i boringerne. Det er tilstræbt at placere filtrene i både iltede, anoxiske og reducerede grundvandszoner, hvis det har været muligt.

Efter filtersætningen blev filtrene renpumpet, og dernæst fik de lov til at indstille sig i ligevægt med det omkringliggende geologiske miljø i 1-3 måneder, inden de blev prøvetaget. Ved hver vandprøvetagning blev filtrene forpumpet (som anvist i vejledning, GEUS, 2004). Der blev lavet feltmålinger af ledningsevne, pH, redoxpotentiale, iltindhold og temperatur, og der blev først udtaget vandprøver, når de 5 parametre havde nået et realistisk stabilt niveau. Vandprøvetagningen blev foretaget i efteråret 2004 af Geo-Log Aps.

Der er i alt udtaget 38 vandprøver fra de 15 nye undersøgelsesboringer. Desuden er der udtaget i alt 6 vandprøver fra 5 ældre undersøgelsesboringer (DGU nr. 89.1489, 88.1268, 98.1085, 98.1083 og 88.676). Vandprøverne er analyseret af analyselaboratoriet Steins for hovedbestanddele og udvalgte sporstoffer og pesticider. Pesticidanalyserne har omfang svarende til MST anbefalinger (ca. 16 pesticider), og analyseparametrene er desuden udvalgt ud fra viden om tidligere fund i Århus Syd-området.

Markvandingsboringer

Der er desuden i forbindelse med kortlægningen i 2004 prøvetaget 21 eksisterende markvandingsboringer i området (NIRAS, 2004b). Vandprøverne er analyseret med det samme analyseprogram som undersøgelsesboringerne, der inkluderer hovedbestanddele og udvalgte sporstoffer og pesticider. Formålet med prøvetagningen af markvandingsboringer er at øge det generelle vandkemiske datagrundlag i området.

Sedimentkemiske analyser

Der er udtaget prøver til sedimentkemiske analyser fra undersøgelsesboringerne. Det er så vidt muligt undgået at ilte prøverne, der desuden er anbragt i køletasker og nedfrosset på prøvetagningsdagen.

Med henblik på udregning af nitratreduktionskapaciteten er der i 24 udvalgte sedimentprøver blevet foretaget pyritanalyser. Desuden er indholdet af arsen (bundet til pyrit) også blevet bestemt. Analysearbejdet er foretaget af Eurofins. Da sedimentprøverne stammer fra lufthæveboringer, er det, på grund af risiko for kontaminering fra boremudderet, valgt ikke at analysere prøverne for Fe (II) og TOC, som normalt også indgår i en bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten.

Såvel resultaterne af de geologiske prøvebeskrivelser fra de udførte undersøgelsesboringer som resultaterne af de kemiske analyser er beskrevet i detaljer i Appendix A.

4.4 Boringsregistrering og pejlerunde

Der er i forbindelse med denne kortlægning gennemført boringsregistrering samt pejlinger af grundvandets trykniveau i Århus Syd-området (fig. 4.4.1). Hensigten hermed var at opnå et så præcist og samtidigt billede af grundvandets trykniveau i områdets grundvandsmagasiner som muligt for dels at opnå et bedre billede af grundvandets strømningsmønster og dels forbedre datagrundlaget for grundvandsmodellen. Pejlerunden gennemførtes inden for en periode på få uger i maj 2004, og den omtales som synkronpejlerunden.

Der eksisterede allerede et relativt godt kendskab til boringernes beliggenhed inden for området forud for undersøgelsen, da mange boringer er knyttet til Århus Kommune Værkers kildepladser. Derudover er der siden 2000 i flere sammenhænge gennemført boringsregistreringer og synkronpejlerunder blandt andet i forbindelse med vurdering af de grundvandsmæssige konsekvenser ved placeringen af et Transportcenter ved Hasselager (Hedeselskabet, 2001).

Boringsregistreringen og også synkronpejlerunden i Århus Syd-området blev derfor planlagt og udført som et supplement til de allerede udførte registreringer og pejlinger.

Inden registreringsrunden blev iværksat foretog Århus Amt en kritisk gennemgang af de boringer, det kunne være relevante at opsøge. Det førte til, at i alt 100 boringer blev opsøgt i boringsregistreringsrunden, og heraf bidrager 85 boringer med pejlinger i et eller flere filtre (fig. 4.4.1). Filtre fra de 13 udførte undersøgelsesboringer i Århus Syd-området blev ligeledes pejlet i juni 2004 og bidrager selvsagt også med pejlinger af grundvandets trykniveau.

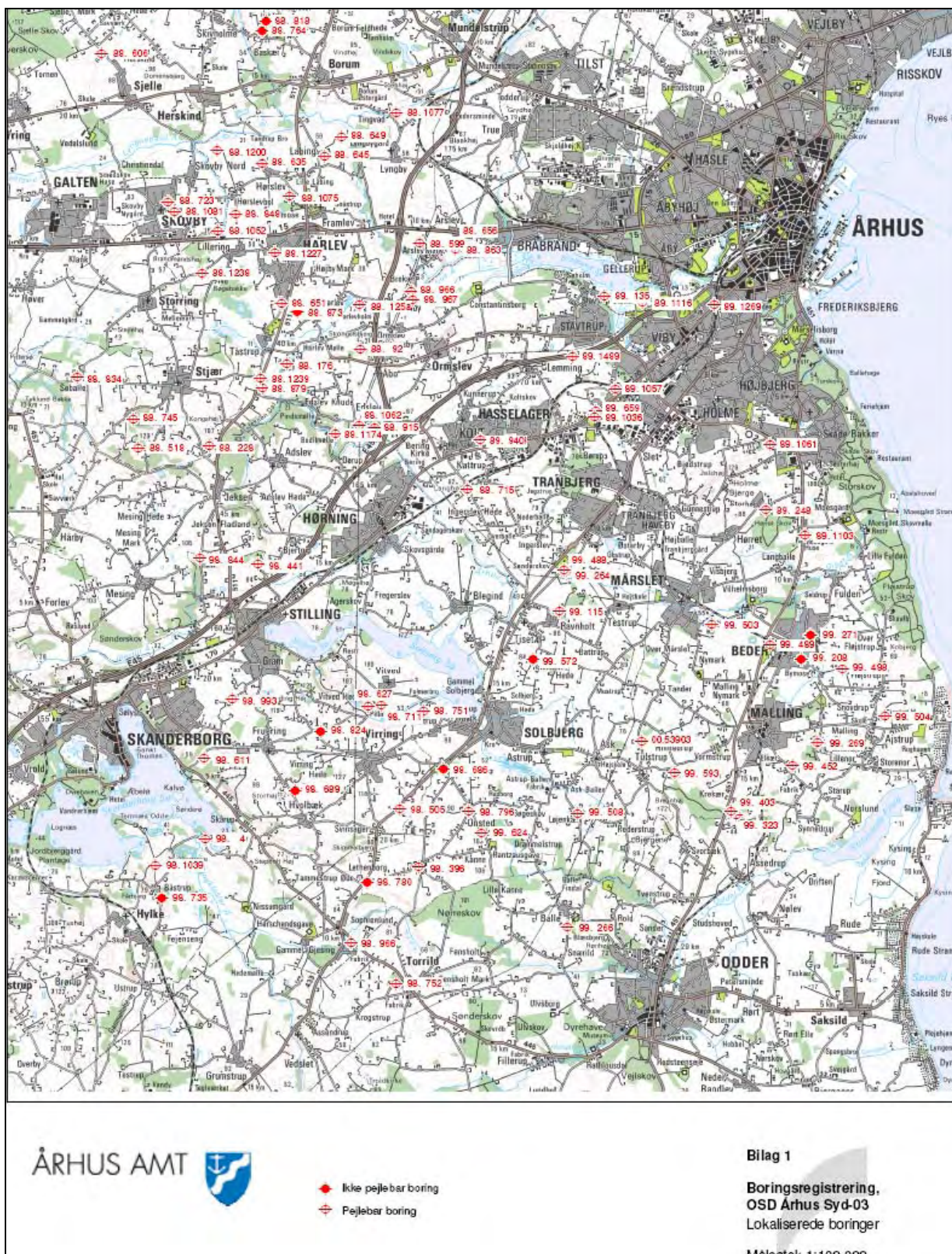
Pejlingerne af grundvandsstanden fra såvel synkronpejlerunden som fra undersøgelsesboringerne er anvendt i forbindelse med kalibreringen af grundvandsmodellen, jf. kap. 7

Koncept for boringsregistrering og pejlerunde

Århus Amt har sammen med rådgivere udviklet et koncept for boringsregistrering og pejlerunder. Formålet har været at få skabt en ensartet og holdbar registrering gennem forbedrede indmålinger af boringerne. På den måde nyttiggøres de indsamlede data bedre ved udarbejdelse af potentialekort, samt ved opdatering af informationen i boringsdatabaser.

Når en boring opsøges, bliver der foretaget en indmåling af boringens koordinater samt terrænhøjden med et GPS-udstyr, således at der opnås en præcision bedre end 5 cm i alle retninger. Desuden monteres et "kotemærke", som er et blivende fikspunkt på boringen. Dette punkt indmåles også med GPS, og danner udgangspunkt for pejling af grundvandsspejlet, som således bliver indmålt med ca. 5 cm's præcision. Der foretages en omfattende dokumentation i form af digitale fotografier af boringen med omgivelser, fotografier og skitser af boringens tekniske indretning samt en registrering af ejerskab, adgangsforhold og målte data på felt-PC. Programmet for boringsregistrering og pejlinger, benævnt ARBI, er et velegnet værktøj til indsamling af data om boringers placering og grundvandets trykniveau, og fremtidige opdateringer af potentialekort forenkles meget idet den tidligere registrering kan medbringes i felten og kotemærkerne kan genfindes.

Indvindingsboringer blev standset op til et par timer før pejlingen blev foretaget, afhængig af afsænkningens størrelse. Det registrerede vandspejl repræsenterer således forholdene på en kildeplads i drift, mens den umiddelbare afsænkning som følge af filtertab under pumpning er elimineret.



Figur 4.4.1. Oversigtskort der viser placeringen af de borer, der blev lokaliseret i forbindelse med synkronpejlerunden i maj 2004. (NIRAS, 2004b)

4.5 Grundvandspotentialet

Den historiske og nuværende grundvandsindvinding afspejles i det potentialebillede, der ses i dag. Det kan bl.a. nævnes, at den store indvinding fra kildepladserne i Brabranddalen har betydet, at grundvandsstanden er faldet markant. Ved Stautrup var der i begyndelsen af 1900-tallet artesiske grundvandsforhold. Da vandindvindingen ved Stautrup i slutningen af 80'erne var på sit højeste faldt grundvandsstanden med 15-25 m. Grundvandspejlet ligger i dag fortsat under kote 0. Endvidere har indvindingen nogle steder påvirket vandføringen i vandløbene. Som eksempel kan nævnes, at grundvandsindvinding i Bederdalen har medført en markant reduktion i grundvandstilstrømningen til Giber Å (Århus Amt, 1993).

Århus Amt har i 2001 fået udarbejdet et aktivt potentialekort for hele amtet. Med begrebet "aktivt potentialekort" menes, at der ved brug af en softwareapplikation udviklet til ArcView opnås en systematisk arbejdsgang for udarbejdelse af potentialekort samt opdatering af dette, når nye boringer og pejledata er tilvejebragt (Dansk Geofysik, 2001).

På figur 4.5.1 er amtets aktive potentialekort for undersøgelsesområdet vist. De boringer som danner grundlaget for potentialekortet er angivet som cirkler med farven pink. Det viste potentialekort er ikke opdateret med pejleresultaterne fra synkronpejlerunden i 2004 (jf. afsnit 4.4) samt synkronpejlerunder ved Hasselager i 2001 og Skanderborg kommune i 2002. Kortet er opdateret med synkronpejlerunden i Århus Nord i 2002.

Potentialekortet er udarbejdet på baggrund af potentialerne fra de dybereliggende magasiner, hvorfra grundvandsindvindingen typisk foregår. Der er således tale om et simpelt potentialekort, der afspejler det overordnede strømningsmønster, og hvor alle rimelige pejlinger ligger til grund for optegningen af konturerne (Dansk Geofysik, 2001). Det skal præciseres, at det aktive potentialekort således ikke er et magasinspecifikt potentialekort, samt at den nyeste information om de dybe kvartære magasiner i dalstrukturene ikke er medtaget i kontureringen af potentialekortet.

I den forbindelse skal nævnes, at det på baggrund af vandspejlsmålinger fra filtre i flere niveauer i 13 boringer (heraf er de 11 nye OSD-boringer) ikke har været muligt at vurdere omfanget af hydrauliske adskilte magasiner inden for Århus Syd-området (DHI, 2005b).

Potentialet varierer i stort omfang med terrænoverfladen. Således ses potentialetoppe, hvor terrænet ligger højt og et lavere potentiale i lavtliggende områder. De højeste potentialer på op til kote 70 m ses mod nord i et øst-vest gående strøg fra Vejlbjerg til True. I den sydlige og vestlige del af området ligger potentialet ligeledes højt og er karakteriseret ved at have lavere potentialegradienter end den resterende del af området. Potentialet varierer her mellem kote 45 m til 60 m. Derudover ses potentialetoppe ved Tranbjerg, Holme og Storhøj varierende mellem kote 40 m til 65 m.

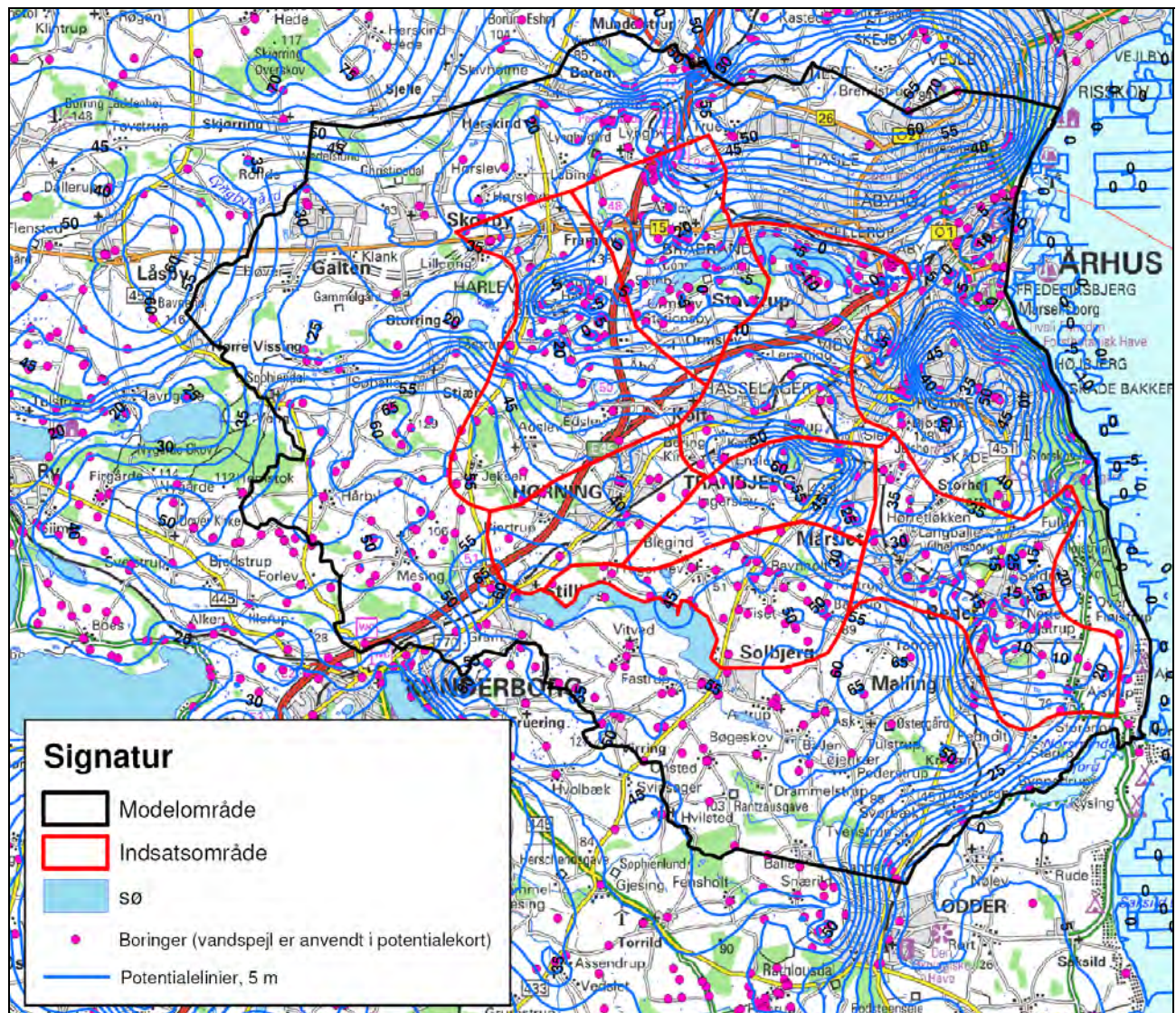
Potentialet er lavest i Brabranddalen, hvor potentialet i et større område er under kote 0. I forbindelse med vandindvinding i dalstrøget ses enkelte steder potentialer under kote -10 m

Enkelte steder ses det, at potentialelinierne runder ved skæring med vandløb svarende til, at der sker en grundvandstilstrømning til vandløbene. Som eksempel kan nævnes den sydligste del af Lyngbygårds Å.

Grundvandsstrømningen er styret af beliggenheden og sammensætningen af geologiske strukturer i området. Her tænkes først og fremmest på de begravede dalstrukturer, men også plateauerne med

højtliggende tertiært ler. Dette kommer til udtryk ved at de højeste målte potentialer generelt ligger i områder med lerplateauer, mens potentialerne er lavere i de begravede dale.

Inden for området findes tre større søer, Stilling-Solbjerg Sø, Årslev Eng sø og Brabrand Sø. Stilling-Solbjerg Sø er en relativ dyb sø med en maksimal dybde på 29 m. Søen anses for at være i kontakt med det primære grundvandsmagasin. Årslev Eng sø og Brabrand Sø er lavvandede med maksimale dybder på hhv. 1,25 m og 2,7 m. Disse to søer vurderes ikke at være i direkte hydraulisk kontakt med det primære grundvandsmagasin.



Figur 4.5.1. Amtets aktive potentialekort. Kortet er ikke opdateret med resultaterne fra synkronpejlerunden.

5. Vandværker og vandindvinding

5.1 Indledning

I nærværende kapitel er der foretaget en kortfattet gennemgang af de generelle aspekter vedrørende vandværkernes indvindingsforhold og især vandkvalitetsmæssige forhold inden for Århus Syd-området. På figur 5.1.1 ses vandværkernes geografiske placering. Tabel 5.1.1 viser en oversigt over alle aktive vandværker i området med angivelse af anlægsnavn, tilladte indvindingsmængder og oppumpning i 2004. Vandværkernes aktuelle indvinding i 2004 ligger på ca. 78 % af den samlede givne indvindingstilladelse i Århus Syd området.

Inden for Århus Syd-området er der pr. 1. september 2005 registreret i alt 20 almene vandværker (anlæg, som forsyner mindst 10 ejendomme), hvoraf 4 af vandværkerne hører ind under Århus Kommunale Værker (ÅKV). For ÅKV's vedkommende er der tale om anlæggene ved Beder, Stautrup, Østerby og Åbo. Samlet set har ÅKV i alt 53 indvindingsboringer i Århus Syd-området ud af i alt 94 aktive almene indvindingsboringer i området. Som det fremgår af tabel 5.1.1 stammer langt hovedparten af den oppumpede vandmængde i Århus Syd-området fra ÅKV's 4 anlæg.

Med hensyn til Vibyværket, som også hører ind under ÅKV og har en indvindingstilladelse på 1,2 mio. m³, så er selve kildepladsen beliggende uden for Århus Syd-området. Det grundvandsdannende opland til Vibyværket strækker sig dog sandsynligvis ind i Århus Syd-området, hvilket er beskrevet i kapitel 7, som omhandler grundvandsmodellen. Derfor er der foretaget en vandværksbeskrivelse af Vibyværket i denne redegørelse (se appendix B), mens vandkemiske oplysninger fra vandværket og vandværkets boringer ikke er medtaget i den generelle beskrivelse af vandkvaliteten i Århus Syd-området.

To af de 15 private, almene vandværker har mere end 1 kildeplads. Det drejer sig om Harlev-Framlev Vandforsyning og Hasselager-Kolt Vandværk.

Vandværkssårbarheden defineres i afsnit 5.2. I afsnit 5.3 er der foretaget en gennemgang af vandværkernes vandkvalitet som helhed. Der er foretaget en nærmere vurdering af parametrene arsen, fosfor, sulfat, klorid, fluorid, nitrat, ammonium og nitrit. Vurderingerne af nævnte parametre er med til at give et indtryk af, hvor problemerne med de enkelte stoffer findes, og i hvor høj grad at det store indvindingstryk i visse områder har indflydelse på vandkvaliteten og udviklingen heraf.

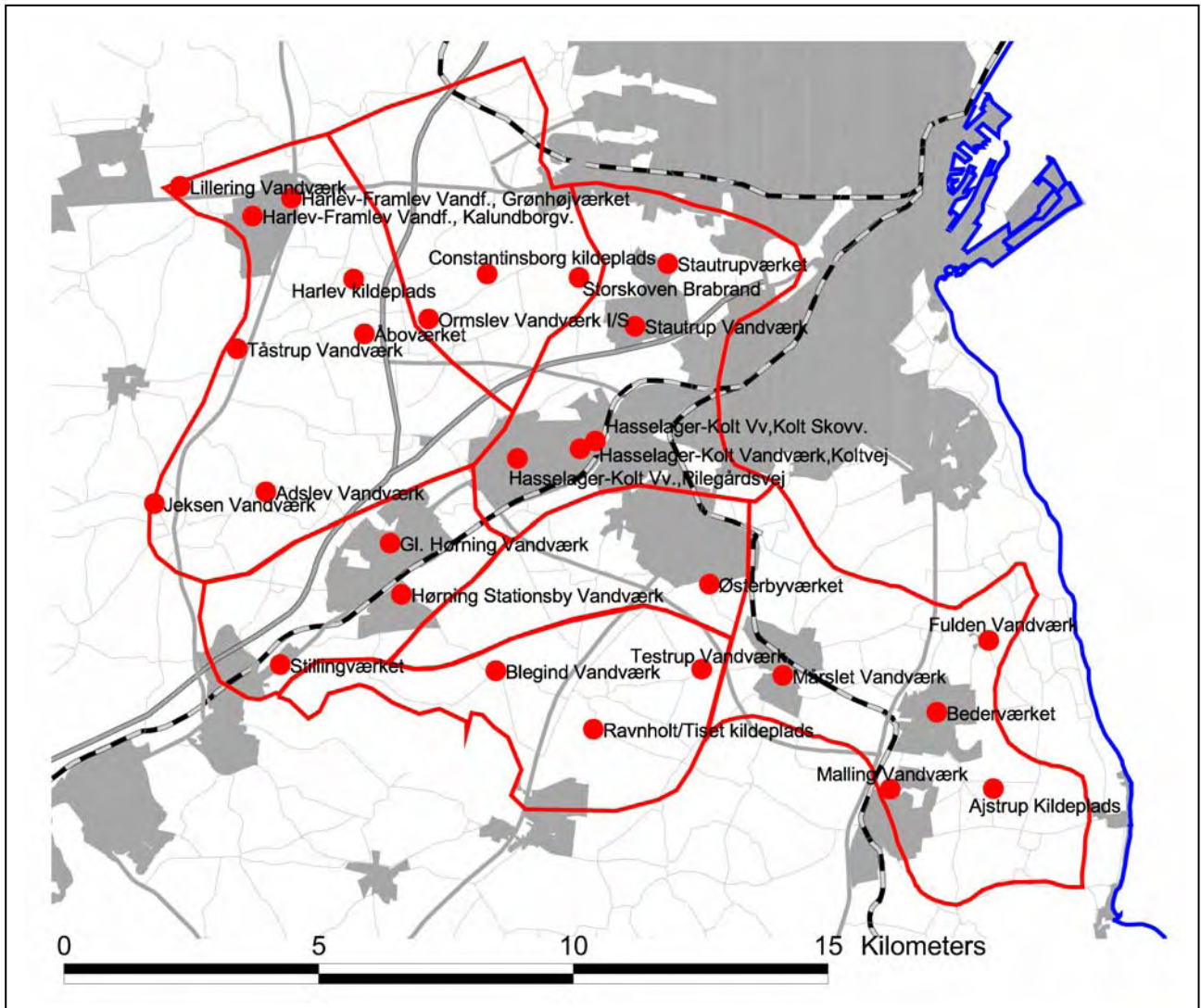
Der er ligeledes foretaget en vurdering af pesticidfund på vandværkerne i Århus Syd-området. Af denne vurdering fremgår, at nedbrydningsproduktet BAM er det hyppigste fundne pesticid i vandforsyningsboringerne i Århus Syd.

I tabel 5.3.1 er der givet en vandkvalitetsmæssig oversigt over alle aktive vandværker inden for Århus Syd-området. For hvert vandværk er vandtypen angivet sammen med eventuelle fund af miljøfremmede stoffer. Der er til hvert vandværks vandkemi anført bemærkninger, som er særlig karakteristiske og som har dannet grundlag for den anførte vandværkssårbarhed.

I appendix B er der foretaget en detaljeret gennemgang af alle almene, kommunale og private vandværker i Århus Syd-området. For hvert vandværks vedkommende er indvindingsforhold, geologiske forhold og vandkvalitet nærmere beskrevet. Ikke-almene vandværker er udeladt af denne gennemgang.

Uanset, hvad der vil forekomme af mulige, fremtidige ændringer i vandværkernes indvindingsforhold – f.eks. eventuelle sammenlægninger af vandværker, flytning af vandværker (nye kildepladser) eller ændrede indvindingsstrategier (ændringer i oppumpningsfordelinger e.l.) – vil det ud fra en ressourcemæssig og ikke mindst vandkvalitetsmæssig betragtning være meget vigtigt at fastholde en så stor grad af decentral oppumpning som muligt i Århus Syd-området.

Den meget intensive kortlægning af området med geofysik og boringer har i væsentlig grad forbedret mulighederne for at fastholde dette princip, idet kendskabet til de begravede dales udbredelse og dermed de store magasiners beliggenhed markant er blevet forbedret og hidtil ukendte dale og sammenhæng mellem dalene er lokaliseret. De begravede dale og de indvindingsmæssige muligheder i disse får en nærmere omtale i kapitel 6.



Figur 5.1.1 Oversigtskort over aktive, almene vandværker (inkl. underanlæg) i Århus Syd-området.

Vandværksnavn	Anlægstype	Indvindingstilladelse m ³ /år	Indvinding 2004 m ³
Adslev	Privat	15.000	9.696
Bederværket	Kommunalt	2.700.000	2.455.310
Blegind	Privat	40.000	32.696
Fulden	Privat	6.000	2.128
Gl. Hørning	Privat	455.000	301.264
Harlev-Framlev	Privat	272.000	184.084
Hasselager-Kolt	Privat	423.000	372.282
Hørning Stby.	Privat	51.000	36.672
Jeksen	Privat	16.000	14.628
Lillering	Privat	15.000	10.320
Malling	Privat	250.000	196.077
Mårslet	Privat	231.000	184.662
Ormslev	Privat	50.000	38.056
Stautrup	Privat	188.000	159.400
Stautrupværket	Kommunalt	3.700.000	2.351.878
Stillingværket	Kommunalt	200.000	158.123
Testrup	Privat	15.000	
Tåstrup	Privat	14.000	8.311
Vibyværket	Kommunalt	1.200.000	1.084.349
Østerbyværket	Kommunalt	900.000	770.599
Ravnholt-Tiset	Kommunalt	1.500.000	1.201.114
Åboværket	Kommunalt	2.000.000	1.554.054
Ialt		14.241.000	11.125.703

Tabel 5.1.1 Oversigt over aktive, almene vandværker i Århus Syd-området. For de vandværker, som har flere kildepladser er der tale om den samlede oppumpede vandmængde. Det fremgår af oppumpningstilladelse, at vandværkernes aktuelle indvinding (2004) ligger på ca. 78 % af de samlede, givne indvindingstilladelser.

5.2 Vandværkssårbarhed

I Århus Syd-området fastlægges de enkelte vandværkers *aktuelle* sårbarhed, den såkaldte *Vandværkssårbarhed*.

På vandværker med flere kildepladser er vandværkssårbarheden vurderet på hver kildeplads.

Vandværkssårbarheden er vurderet på baggrund af den kemiske tilstand af det indvundne grundvand, i forhold til nitrat, som er afhængig af den aktuelle boringsudbygning og indvindingsmængden.

Vandværkssårbarheden bygger derfor på eksisterende data (boringsoplysninger, vandværksoplysninger og vandkemiske data).

Vandværkssårbarhed

Vandværkssårbarheden vurderes på grund af den gældende administrationspraksis ved udarbejdelse af indsatsplanerne. Vandværkssårbarheden er en variabel sårbarhed, som afhænger af boringsudbygningen og indvindingsmængden på det enkelte vandværk. Et vandværks sårbarhed kan under visse omstændigheder være lille, selvom der indvindes fra et sårbart grundvandsmagasin og vice versa.

Det er således udelukkende vandværkssårbarheden, der får umiddelbare, administrative konsekvenser for det enkelte vandværk. Det betyder imidlertid samtidig, at hvis der sker ændringer i boringsplaceringen, boringsudbygningen, forsyningsforpligtelserne /indvindingsmængden, eller andre forhold, der påvirker vandværkssårbarheden, skal vandværkets situation tages op til ny vurdering, og det skal vurderes, om omlægningen skal medføre nye overvågningsforpligtelser eller anden indsats fra vandværkets side.

Stabiliteten af vandkvaliteten på vandværket vurderes ud fra en tidsserieanalyse af specielt sulfatindholdet og en beregning af forvittringsindex samt en vurdering af nitratfrontens beliggenhed.

Klassificering af vandværkers aktuelle sårbarhed – vandværkssårbarhed

Nitratsårbarhed: Stor
Lille

Stor vandværkssårbarhed over for nitrat er brugt som en betegnelse for de vandværker:

- som indvinder nitratholdigt grundvand og/eller
- hvor det vurderes, at nitratfronten i indvindingsboringerne er tæt på filterindtaget i boringen og/eller
- som har en ustabil vandkvalitet med risiko for nitrat under de nuværende indvindingsforhold.

Et vandværk kan for eksempel have stor vandværkssårbarhed og samtidig ligge i et område med lille magasinsårbarhed over for nitrat. Vurderingen af at vandværket har stor vandværkssårbarhed kan skyldes, at drikkevandskvaliteten er vurderet til at være ustabil på grund af et stigende sulfatindhold. Dette kan være forårsaget af, at der trækkes yngre vand mod boringen fra et område med stor magasinsårbarhed over for nitrat. Dette er et resultat af en kompleks sammensat geologi, hvor de geologiske lag, der indvindes fra, har horisontal kontakt til geologiske vinduer eller områder med stor nitratsårbarhed. Nærområdet til vandværket med stor vandværkssårbarhed kan derfor i dette tilfælde være vurderet til at have lille magasinsårbarhed over for nitrat, da der ved kildepladsen ikke er risiko for dannelse af nitratholdigt grundvand til de dele af grundvandsmagasinerne, som ligger dybere end 30 m under terræn.

Lille vandværkssårbarhed over for nitrat er betegnelsen for de vandværker:

- som indvinder fra et dybtliggende grundvandsmagasin med stor afstand til nitratfronten og dermed uden risiko for nitrat i det indvundne grundvand under de nuværende indvindingsforhold. Drikkevandet er nitratfrit og vandkvaliteten er stabil.

Nogle vandværker indvinder for eksempel nitratfrit vand fra grundvandsmagasiner, hvor de øverste mange meter af magasinet har stor sårbarhed over for nitrat, og der kan f.eks. være truffet nitrat i koncentrationer over grænseværdien for drikkevand i dette øvre grundvand. Hvis det vurderes, at der er en meget lille sandsynlighed for, at nitrat vil nå frem til de nuværende indvindingsboringer med den nuværende indvinding, vil vandværkets sårbarhed over for nitrat blive klassificeret som lille. Der er da tale om, at vandværket har en lille vandværkssårbarhed over for nitrat, mens magasinet har en stor magasinsårbarhed over for nitrat.

5.3 Oversigt over vandkvaliteten på de enkelte aktive vandværker

Tabel 5.3.1 giver en status pr. 1. juli 2005 for vandkvaliteten og vandværkssårbarheden på de 20 aktive vandværker (hovedanlæg) i Århus Syd-området. Vandværkssårbarheden ses ligeledes på figur 5.3.1. Vandværkerne er mere detaljeret beskrevet i appendix B.

Af tabel 5.3.1 fremgår det, at der på 6 ud af 20 vandværker i Århus Syd-området har været fund af pesticider. Det er vurderet, at ca. 43 % af kildepladserne på de 20 vandværker i Århus Syd-området har en ustabil vandkvalitet og dermed en stor vandværkssårbarhed under de nuværende indvindingsforhold.

Ligesom i appendix B er vandværkerne i tabel 5.3.1 sorteret alfabetisk. Vandværkerne er beliggende i flere forskellige indsatsområder:

- Indsatsområde Beder
- Indsatsområde Stautrup
- Indsatsområde Åbo
- Indsatsområde Storskoven
- Indsatsområde Østerby
- Indsatsområde Stilling (nordlig del)
- Indsatsområderne Ravnholt-Tiset (nordlig del)

De vandværker, som ligger i indsatsområderne Beder, Stautrup, Åbo, Storskoven og Østerby, har haft deres respektive vandværksbeskrivelse i høring, som findes i Appendix B, sådan at beskrivelserne er blevet opdateret i forhold til den aktuelle situation på vandværkerne.

Vandværkerne, som er beliggende i de resterende to del-indsatsområder: Stilling (nordlig del) og Ravnholt-Tiset (nordlig del), har ikke haft deres respektive vandværksbeskrivelser i høring. Dette vil først ske, når der på et senere tidspunkt skal udarbejdes resumérapporter og indsatsplaner for disse delområder.

I kapitel 10 (Nitratsårbarhedsbeskrivelse af indsatsområderne) og kapitel 11 (Anbefalinger vedrørende den fremtidige overvågning og beskyttelse af grundvandsressourcen) vil vandværkerne blive beskrevet i forhold til det indsatsområde, hvori de er beliggende.

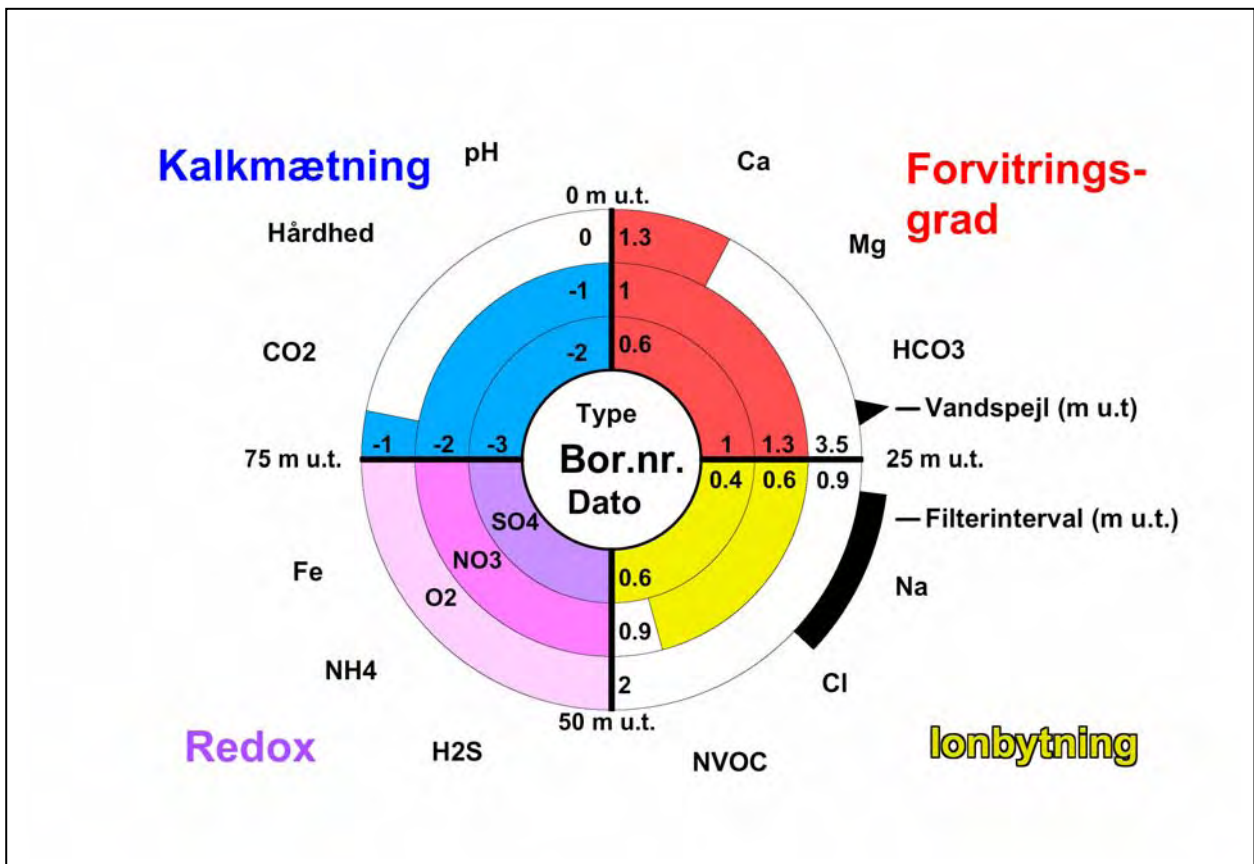
Den overordnede opdeling efter vandtyper, som er anvendt i vandværksbeskrivelserne i appendix B og i tabel 5.3.1, er forklaret i nedenstående boks.

<p>VANDTYPER jvf. Miljøstyrelsens zoneringsvejledning</p> <p>VANDTYPE A: Oxideret vand med ilt og nitrat</p> <p>VANDTYPE B: Oxideret vand uden ilt, men med nitrat</p> <p>VANDTYPE C: Reduceret vand med sulfatindhold over 20 mg/l</p> <p>VANDTYPE D: Stærkt reduceret vand med sulfatindhold under 20 mg/l</p>

I vandværksbeskrivelserne er der typisk brugt det såkaldte møllehjuls kort til at give en oversigt over vandkemi i indvindingsboringerne. Møllehjulet er forklaret ved signaturforklaringen i boksen på næste side.

Et møllehjul er et symbol, der viser vigtige parametre beregnet ud fra kemiske analyser af råvand, hvor hvert møllehjul svarer til én vandprøve (Ramsey, 2002). Et typisk møllehjuls kort består af de nyeste boringskontrolanalyser fra hvert filter i et område.

Møllehjuls kortet er brugt til at visualisere den overordnede vandkemi på enkelte vandværker (se figur på næste side). Da der findes mange oplysninger på møllehjuls kortet, kræves der en vis øvelse i at læse kortet. Møllehjuls kortet skal "studies" i modsætning til temakort over en enkel analyseparameter, der giver et hurtigt overblik.



Signaturforklaring til møllehjuls-kort.

I de efterfølgende 4 bokse forklares ionbytningsgrad, forvitningsgrad, redoxforhold og kalkmætning.

Ionbytningsgraden vises i den gule kvadrant på møllehjulskortene.

Ionbytningsgraden beregnes som forholdet mellem antal ækvivalenter af natrium og klorid. Parameteren beskriver ionbytning mellem Ca/Mg og Na.

En høj ionbytning indikerer, at grundvandet er blevet mere ferskt med tiden, idet natriumioner, der blev bundet til sedimentet under de mere salte forhold, frigives til grundvandet, når natriumkoncentrationen falder i det gradvist mere ferske porevand. Samtidigt bindes calcium i højere grad på sedimentets ionbytningspladser. Det vurderes, at der er en markant ionbytning, når ionbytningsgraden $> 1,25$.

Omvendt ionbyttet vand optræder, når saltvand fortrænger ferskvand. Da bindes natrium til sedimentet, mens Ca/Mg frigives. Det vurderes, at der er en markant omvendt ionbytning, når ionbytningsgraden $< 0,75$.

Forvittringsgraden vises i den røde kvadrant på møllehjulskortet.

Forvittringsgraden beregnes som summen af calcium+magnesium divideret med hydrogencarbonat (målt i ladningsækvivalenter). Forvittringsgraden belyser i princippet, i hvilket omfang andre syrer end kulsyre er neutraliseret ved opløsning af kalk. Forvittringsgraden påvirkes af mange processer, herunder pyritoxidation, hvor der dannes svovlsyre.

Tilsvarende vil tilførsel af kalksalpeter (calciumnitrat) øge forvittringsgraden.

En lav forvittringsgrad kan skyldes sulfatreduktion, hvor organisk stof omdannes til hydrogencarbonat. En lav forvittringsgrad kan også skyldes ionbytning, hvor grundvandets indhold af calciumioner falder, da de adsorberes til sedimentet og hermed bytter plads med natriumioner.

Redoxforholdene vises i den lyserøde, pink-farvede og lilla kvadrant på møllehjulskortet.

Redoxforholdene vurderes ud fra grundvandets indhold af sulfat, nitrat og ilt. På den baggrund kan vandtypen eller redoxzonen vurderes efter følgende definitioner:

Oxisk zone: $Ilt > 0,5$ mg/l

Anoxisk zone: Nitrat er tilstede, og $ilt < 0,5$ mg/l

Svagt reduceret zone: Hverken ilt eller nitrat er tilstede, sulfat > 40 mg/l

Reduceret zone: Hverken ilt eller nitrat er tilstede, 20 mg/l $<$ sulfat < 40 mg/l

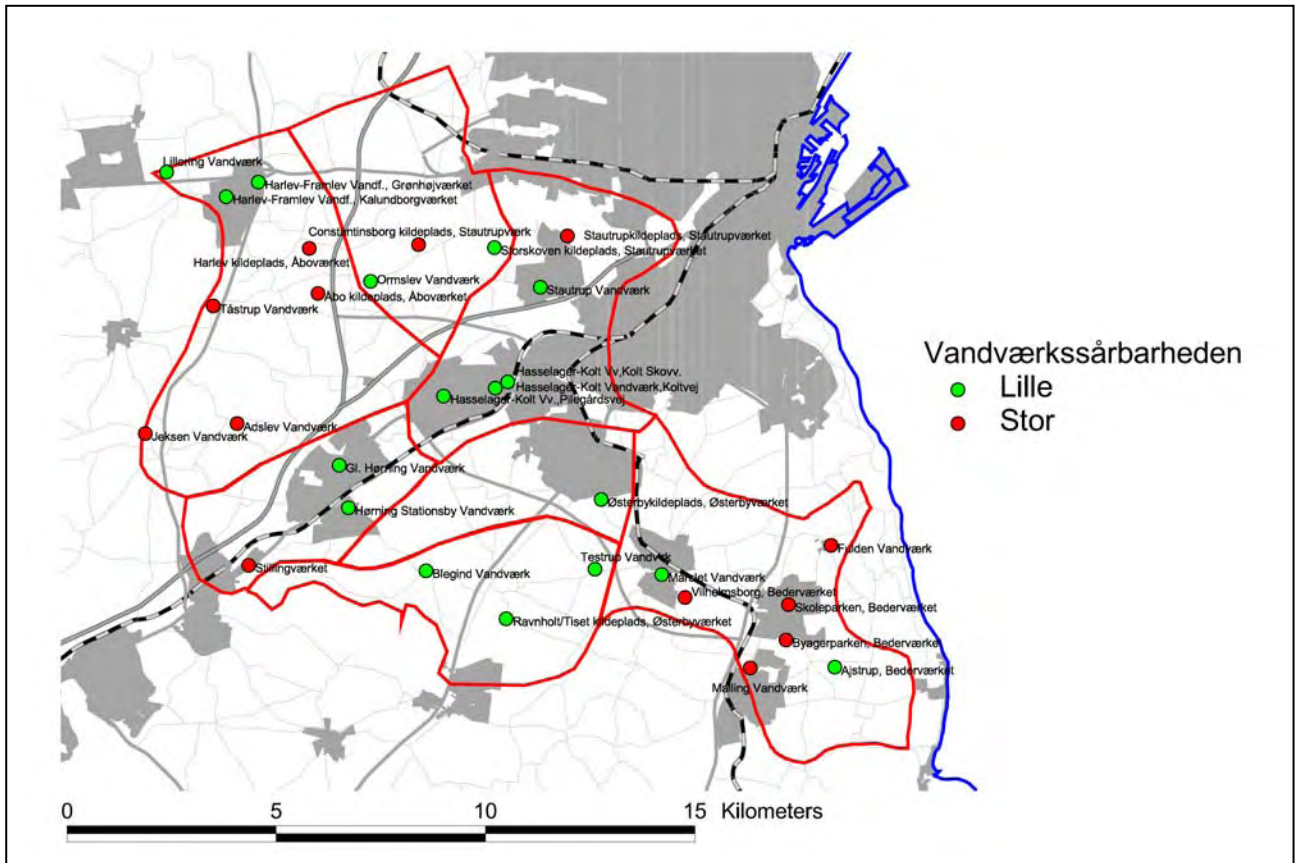
Stærkt reduceret zone: Hverken ilt eller nitrat er tilstede, sulfat < 20 mg/l

Kalkmætning vises i den blå kvadrant på møllehjulskortet.

Kalkmætningen eller mætningsindexet angiver grundvandets mætningstilstand i forhold til kalk i sedimentet. Kalkmætning = 0 angiver ligevægt, kalkmætning < 0 angiver undermætning, og kalkmætning > 0 angiver overmætning i grundvandet i forhold til kalk i sedimentet.

Vandværk	Vandtype	Miljøfremmede stoffer	Bemærkninger til vandkemi	Vandværkssårbarhed (kildepladsniveau)
Adslev Vandværk	B og C	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal, temperatur og farvetal i drikkevand Periodevis forhøjede indhold af jern og mangan i drikkevand Nitratfront tæt på filterindtag Nitrat i drikkevandet op til ca 30 mg/l	Stor
Bederværket inkl. Ajstrup Kildeplads	C og D	Fund af dichlorprop, mechlorprop og BAM i råvand	Stigende sulfatindhold i råvandet fra 3 boringer, op til 100 mg/l	Byagerparken, Skoleparken og Vilhelmsborg kilderpladser: stor Ajstrupkildepladsen: lille
Blegind Vandværk	C	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal, temperatur og farvetal i drikkevand Periodevis forhøjet indhold af aggressivt kuldiioxid i drikkevand Drikkevandskvalitet stabil	Lille
Fulden Vandværk	A	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal og temperatur i drikkevand Forhøjet indhold af mangan i drikkevand ved seneste analyse fra 2001 Nitratindhold i drikkevand: 5-20 mg/l	Stor
Gl. Hørning Vandværk	C	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal og temperatur i drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Harlev-Framlev Vandforsyning – Kalundborg- og Grønhøjværket	C og D	Ingen fund	Kalundborgværket: Forhøjet indhold af ammonium, nitrit og mangan i drikkevand Arsenindhold (5,5-8,3 µg/l) i drikkevandet over grænseværdien Periodevis forhøjede kimal og temperatur i drikkevand. Midlertidig tilladelse til jerntilsætning pga. arsen Grønhøjværket: Forhøjet indhold af ammonium Temperaturen af drikkevandet er til tider for højt	Lille
Hasselager Kolt Vandværk – Kolt Skovvej, Koltvej og Pilegårdsvej	C og D	Ingen fund	Koltvej og Pilegårdsvej: Muligvis svag stigende sulfatindhold i drikkevand Der mangler arsenanalyser på drikkevand ved Koltvej Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Horning Stationsby Vandværk	D	Ingen fund	Forhøjet arsenindhold (ca. 9 µg/l) i drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Jeksen Vandværk	C	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal og temperatur i drikkevand Nitratfront tæt på filterindtag	Stor
Lillering Vandværk	C	Ingen fund	Periodevis forhøjede kimal i drikkevand Der mangler arsenanalyser af drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Malling Vandværk	C	Ingen fund	Forhøjede temperatur og farvetal i drikkevand Stigende sulfatindhold i drikkevand	Stor
Mårslet Vandværk	D	Fund af BAM i råvandet fra en boring	Forhøjet temperatur af drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Ormslev Vandværk	C	Ingen fund	Forhøjet temperatur af drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Stautrup Vandværk	C og D	Ingen fund	Forhøjet temperatur af drikkevand	Lille
Stautrupværket	C og D	Fund af BAM i råvand	Højt og stigende/fluktuerende sulfatindhold i råvand Kloridindhold højt i råvand	Stautrup- og Constantinsborg-kildeplads: stor Storskoven-kildepladsen: lille
Stillingværket	C	Fund af Dichlorprop i råvandet fra en boring	Forhøjet indhold af zink i drikkevandet (bør tjekkes ved omanalyse). Stigende sulfatindhold i drikkevand	Stor
Testrup Vandværk	D	Ingen fund	Forhøjet farvetal i drikkevand Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Tåstrup Vandværk	B og C	Fund af BAM i en boring Fund af anioniske detergenter i råvandet fra begge indvindingsboringer (ikke bekræftet ved omanalyse)	Forhøjet indhold af jern og mangan i drikkevand Periodevis forhøjede kimal og temperatur i drikkevand Svag tendens til stigende sulfatindhold i drikkevand En boring nitratholdig (20-30 mg/l)	Stor
Østerbyværket	C og D	Ingen fund	Stabil drikkevandskvalitet	Lille
Åboværket	C og D	Åbo-kildepladsen: Fund af Dichlorprop, mechlorprop, 4-CPP og BAM i flere boringer. Ved seneste analyse (2004) overskridelser af grænseværdien for 4-CPP i råvandet. Enkelte fund i drikkevandet Harlev-kildepladsen: Fund af glyphosat og AMPA 1 gang – ikke genfundet ved omanalyse	Stigende indhold af sulfat i drikkevandet Overskridelser af grænseværdien for arsen i drikkevand (før 2004). Pilotprojekt omkring fjernelse af arsen i drikkevandet. Harlev-kildepladsen: Meget højt indhold af arsen (12-62 µg/l) i råvandet	Stor

Tabel 5.3.1 Status pr. 1. juli 2005 for vandkvalitet og vandværkssårbarhed ved de aktive vandværker i Århus Syd området. Vandtyper er anført i forhold til Miljøstyrelsens Zoneringsvejledning.



Figur 5.3.1 Vandværkssårbarheden på kildepladsniveau ved de aktive vandværker i Århus Syd-området.

5.4 Vandværkernes vandkvalitet for området som helhed

Vandkvaliteten i råvand og drikkevand fra områdets vandværker er generelt tilfredsstillende. Der er dog flere kvalitetsproblemer, der kræver en aktiv, forebyggende indsats fra vandværkernes side.

For det første er der problemer med håndtering af naturligt forekommende stoffer, der vil optræde i for høje koncentrationer i drikkevandet, hvis ikke vandbehandlingen på vandværket fungerer tilfredsstillende. Dette gælder såvel de almindelige parametre som jern, mangan, ammonium, nitrit, sulfid m.v., som parametre knyttet til afsmitning fra det tertiære lers høje indhold af bl.a. arsen og fosfat. Ligeledes er vandkvaliteten i flere områder påvirket af salt i aflejringerne.

Den kraftige indvinding flere steder i området påvirker ligeledes vandkvaliteten, hvilket bevirker, at sulfatindholdet kan være højt i de pågældende indvindingsboringer.

Ingen almene vandværker i Århus Syd-området har i dag et højt indhold af nitrat i drikkevandet, idet boringer med høje nitratindhold over grænseværdien er nedlagte. Dog er der et ikke-almment vandværk i Jeksen-området, hvor drikkevandets indhold af nitrat er over grænseværdien.

I Århus Syd-området giver de miljøfremmede stoffer, først og fremmest pesticider, anledning til en tæt overvågning af vandkvaliteten i en lang række indvindingsboringer i området. Flere steder findes pesticidrester i grundvandet i enkelte boringer. Dog betyder fortyndingen, at der i øjeblikket ikke kan måles pesticider i drikkevandet i Århus Syd-området.

Flere af de mindre vandværker i Århus Syd-området har til tider problemer med forhøjede kimental og temperaturer i drikkevandet.

Datagrundlag

Samtlige vandværker i området har løbende fået analyseret både råvand og drikkevand. Dog er analyseomfanget varierende med hensyn til både antal analyser og parametervalg. Analyserne består dels af den lovpligtige kvalitetskontrol for råvand og drikkevand, hvor der fokuseres på bakterier og de almindeligt forekommende salte og stoffer i grundvandet (hovedbestanddele). Derudover har der ind til 2002 været en frivillig overvågning af råvandets og drikkevandets indhold af pesticider, miljøfremmede stoffer og sporstoffer.

Fra og med år 2002 blev det obligatorisk at inddrage pesticider, miljøfremmede stoffer og visse sporstoffer i egenkontrollen på vandværkerne. Da alle boringer og vandforsyninger ikke skal analyseres for alle parametre hvert år, er der stadig nogle få vandværker, hvor der endnu ikke foreligger analyser for alle disse stoffer.

Naturligt forekommende, uønskede stoffer

I Århus Syd-området indvindes der hovedsageligt nitratfrit og reduceret grundvand. Denne vandtype indeholder normalt jern og mangan i så høje koncentrationer, at vandet skal iltes på vandværket for at give vandet en frisk smag og for at undgå udfældninger i rørene hos forbrugerne. Andre naturligt forekommende reducerede stoffer som arsen, ammonium, nitrit, metan og svovlbrinte skal ligeledes fjernes ved denne vandbehandling.

I de efterfølgende afsnit vil udvalgte kemiske parametre i råvandet blive gennemgået fra vandforsyningsboringer og i drikkevand fra almene vandværker.

Arsen

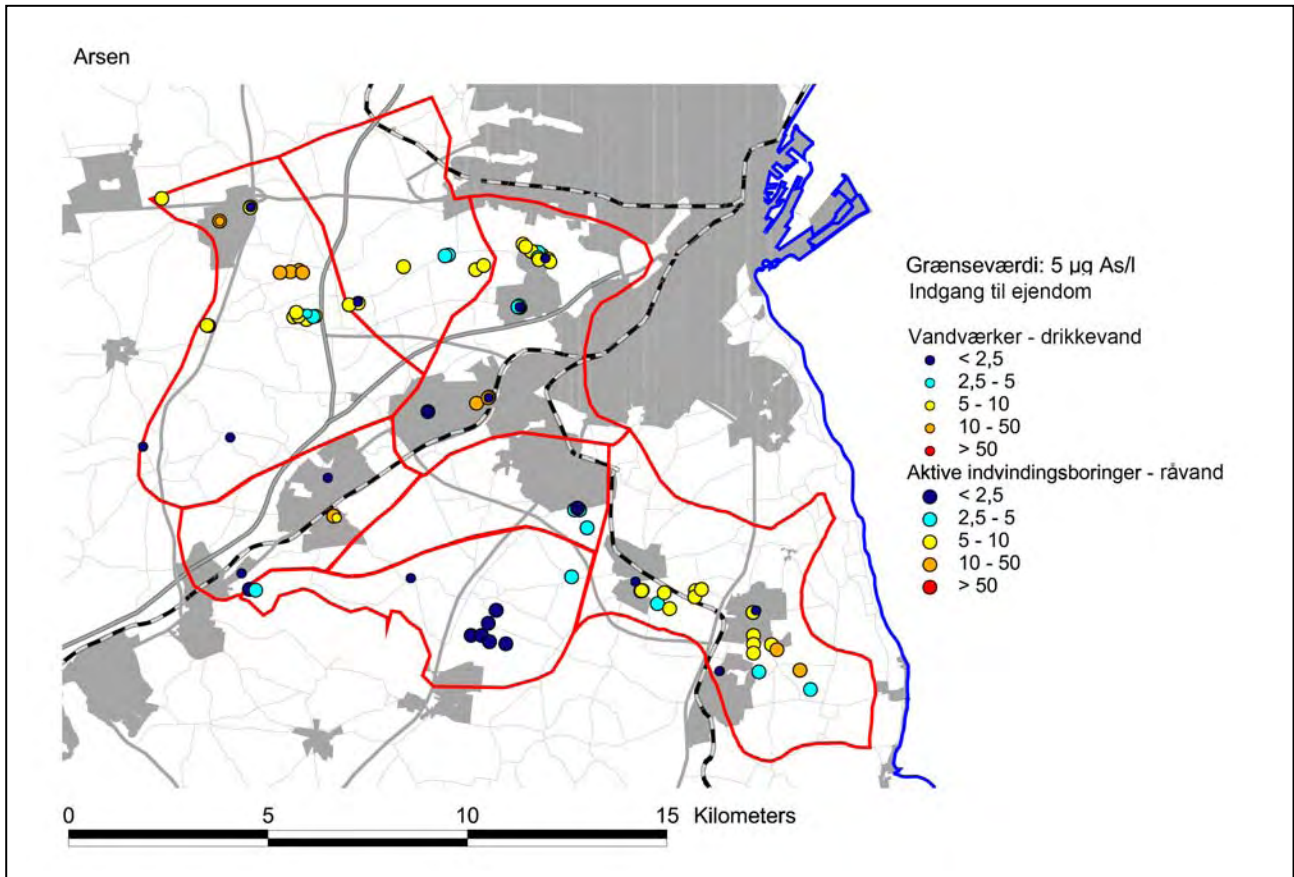
Der er fra december 2003 indført nye skærpede krav til drikkevandets indhold af arsen, idet grænseværdien blev nedsat fra 50 til 5 µg/l ved indgang til ejendom (jf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, bekendtgørelse nr. 871 af 21. december 2001).

Af de 23 drikkevandsanlæg (hovedanlæg og underanlæg) i Århus Syd-området har 78 % (18 vandværker) fået udført arsenanalyser af drikkevandet. Af de 94 aktive vandforsyningsboringer er der arsenanalyser af råvandet i 85 % (fra 80 boringer) pr. 1. juli 2005.

Råvandets indhold af arsen i de aktive vandforsyningsboringer er vist i figur 5.4.1 sammen med drikkevandets indhold af arsen på vandværkerne i Århus Syd-området.

Flere steder i Århus Syd-området er grundvandets naturlige indhold af arsen så højt, at grænseværdien for drikkevand på 5 µg/l overskrides (se figur 5.4.1). Omkring 60 % af de undersøgte vandforsyningsboringer har overskridelser af grænseværdien.

Dog sker der en betydelig fjernelse af arsen under vandbehandlingen på vandværket. To af vandværkerne (5 %) i Århus Syd-området, som har fået udført arsenanalyser, har på nuværende tidspunkt problemer med at overholde drikkevandskravet til arsen. På Åboværket, som tidligere har haft problemer med for højt arsenindhold i drikkevandet, udfører ÅKV forsøg med henblik på at optimere fjernelse af arsen under vandbehandlingen. Hørning Stationsby Vandværk har ligeledes fokus på problemet og deltager i et projekt under Miljøstyrelsen, hvor formålet er at forbedre fjernelse af arsen under vandbehandlingen. Ligeledes har Harlev Framlev Vandforsyning, Kalundborgværket fået en midlertidig tilladelse i 2005 til jerntilsætning i vandbehandlingen med henblik på at nedbringe koncentrationen af arsen i drikkevandet.



Figur 5.4.1 Seneste måling af arsenindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området pr. 7. juli 2005.

I hvor høj grad arsen i råvandet kan fjernes i forbindelse med en almindelig vandbehandling på et vandværk afhænger af råvandets jernindhold. Det skyldes, at arsen bindes til jernoxider under udfældningen. Dette forhold kan beskrives ved en model, som beskriver fjernelse af arsen i %, som funktion af jernindholdet i råvandet (McNeill & Edwards, 1997):

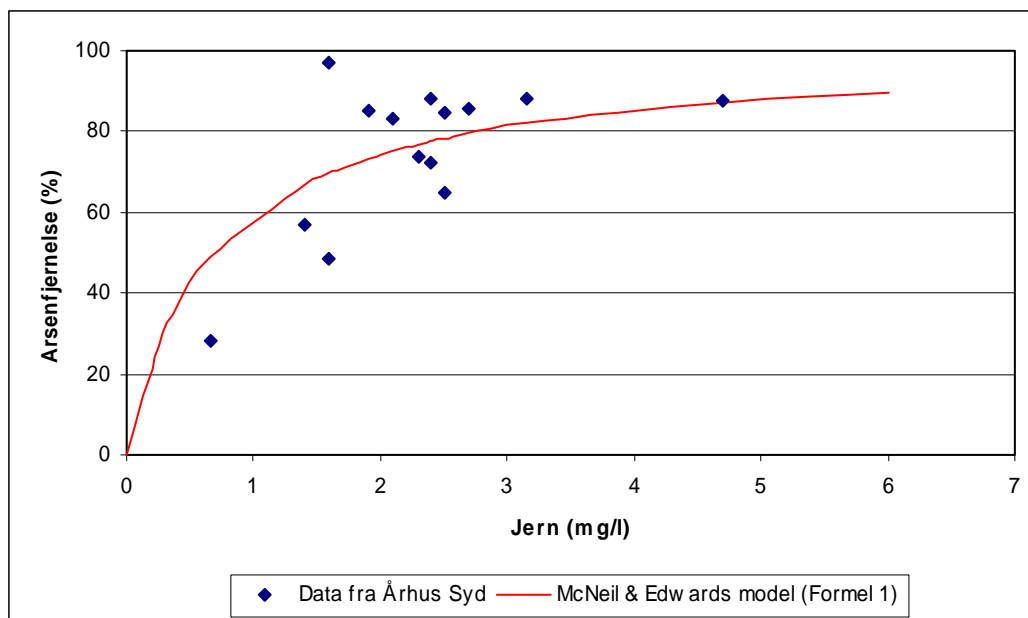
$$\text{Fjernelse af arsen i \%} = \frac{K \cdot [\text{Fe}]}{1 + K \cdot [\text{Fe}]} \cdot 100 \%$$

hvor [Fe] er koncentrationen af jern i råvandet og K er en konstant. McNeill & Edwards (1997) fandt at $K = 0,45 \text{ L/mg}$ gav den bedste tilpasning til observationer fra en række vandværker i USA (Miljøstyrelsen, 2005).

I Figur 5.4.2 er data fra vandværker i Århus Syd vist sammen med McNeill og Edwards model. Der er anvendt data fra 14 ud af 23 vandværker i Århus Syd-området, idet der ikke har været tilstrækkelig med analyser på alle vandværker. Data for de 14 vandværker er beregnet på baggrund af gennemsnitsværdien af arsen- og jernkoncentrationer i de aktive vandforsyningsboringer. De seneste drikkevands- og råvandsresultater er anvendt.

Figur 5.4.2 viser, at arsenfjernelsen på vandværket forøges med et stigende jernindhold i råvandet. Figur 5.4.2 viser ligeledes, at der er en god overensstemmelse mellem modellens forudsigelser og data fra vandværkerne i Århus Syd-området. For eksempel har Harlev-Framlev Vandforsyning,

Kalundborgværket, den dårligste arsenfjernelse (ca. 28 %, jernindhold: 0,66 mg/l) i området, mens Harlev-Framlev Vandforsyning, Grønhøjværket, har en god arsenfjernelse (ca. 87 %, jernindhold: 4,7 mg/l). Dette var tilfældet før Kalundborgværket startede jerntilsætningen i 2005 med henblik på en bedre arsenfjernelse.



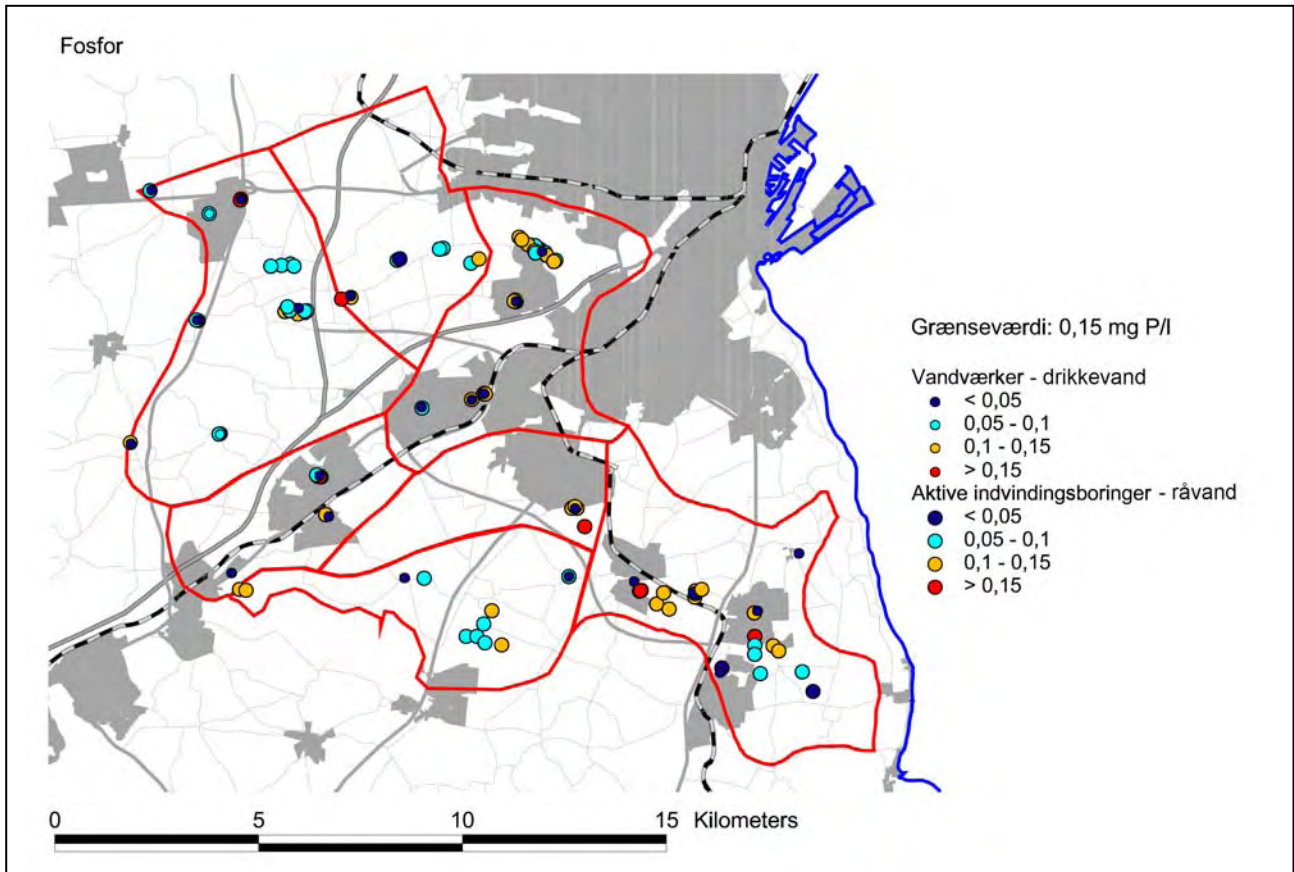
Figur 5.4.2 Arsenfjernelse på vandværker i Århus Syd området per. 1. juli 2005, som funktion af jernindholdet i råvandet. Data er sammenlignet med McNeill & Edwards model (rød linje).

Fosfor

Indholdet af fosfor er analyseret flere gange i råvand og drikkevand fra vandværker i Århus Syd-området.

I terrænnært grundvand indikerer et forhøjet indhold af fosfor ofte en påvirkning fra spildevand eller husdyrgødning. I Århus Syd-området vurderes det forhøjede fosforindhold dog at være geologisk betinget, enten ved frigivelse fra omsætning af indlejret organisk stof eller ved frigivelse fra opløsning af jernoxider. Denne vurdering er baseret på, at der i Århus Syd-området hovedsageligt indvindes reduceret grundvand fra dybtliggende grundvandsmagasiner.

Råvandets indhold af fosfor i de aktive vandforsyningsboringer er vist i figur 5.4.3 sammen med drikkevandets indhold af fosfor på vandværkerne i Århus Syd-området. Grundvandets naturlige indhold af fosfor er mange steder højt, sådan at grænseværdien (0,15 mg P/l) for drikkevand overskrides. Ligesom arsen udfældes fosfor under vandbehandlingen på vandværket. Fosforfældningen er effektiv, da der ikke er overskridelser af grænseværdien for fosfor i drikkevandet fra de aktive vandværker i Århus Syd-området.



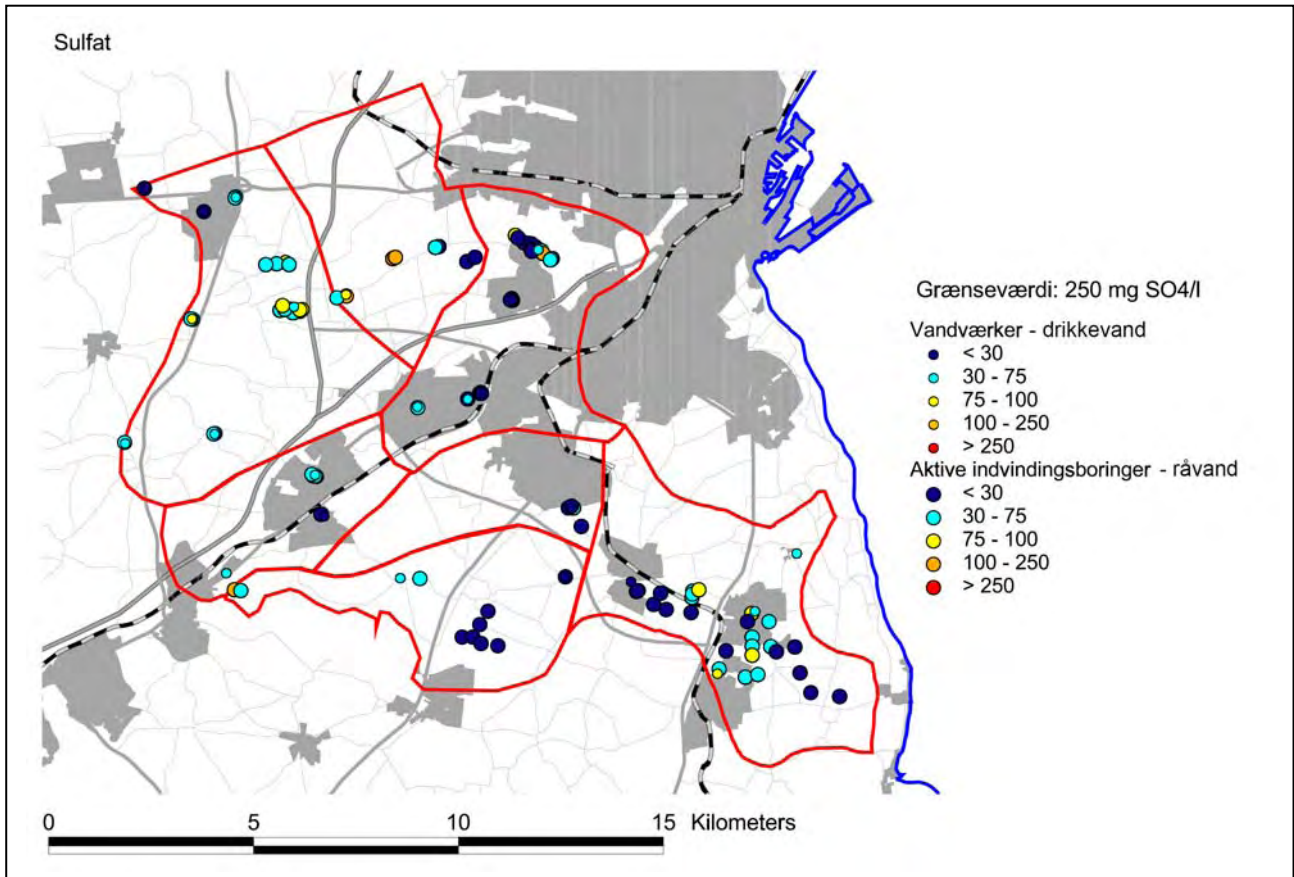
Figur 5.4.3 Seneste måling af fosforindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd området pr. 7. juli 2005.

Sulfat

Indholdet af sulfat er analyseret flere gange i råvand og drikkevand fra vandværker i kortlægningsområdet.

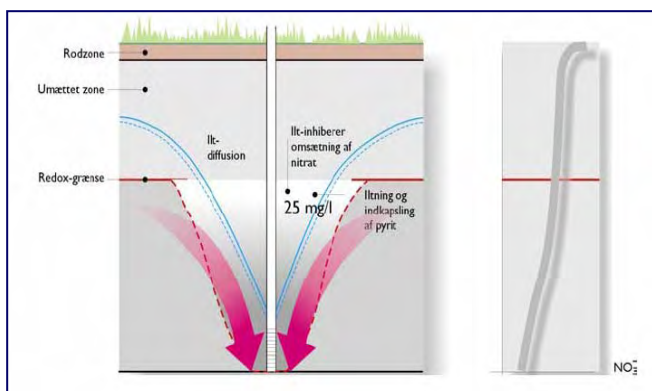
Råvandets indhold af sulfat i de aktive vandforsyningsboringer er vist i figur 5.4.4 sammen med drikkevandets indhold af sulfat på vandværkerne i Århus Syd-området.

Sulfatindholdet i grundvandet er flere steder i Århus Syd-området højt (> 75 mg/l) og nogle steder stigende (grænseværdien for sulfat i drikkevand er 250 mg/l).



Figur 5.4.4 Seneste måling af sulfatindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området pr. 7. juli 2005.

De høje sulfatindhold observeres i områder med kraftig indvinding, som har forårsaget store lokale sænkninger af grundvandsspejlet. Dette medfører en forceret omsætning af pyrit i indvindingsboringerne nærhed på grund af en stor gennemstrømning af iltningmidler (ilt og nitrat) ved sænkningstragten (se figur 5.4.5). Når pyrit iltes, bliver der dannet sulfat. Omkring en indvindingsboring vil der derfor både være en tragt på grundvandsspejlet og nitratfronten (se forklaring om nitratfronten i boks i kapitel 8, s.169), og dermed udvikling af en stor anoxisk zone. Dette forhold bliver ofte beskrevet med udtrykket ”der trækkes yngre vand mod boringen”.



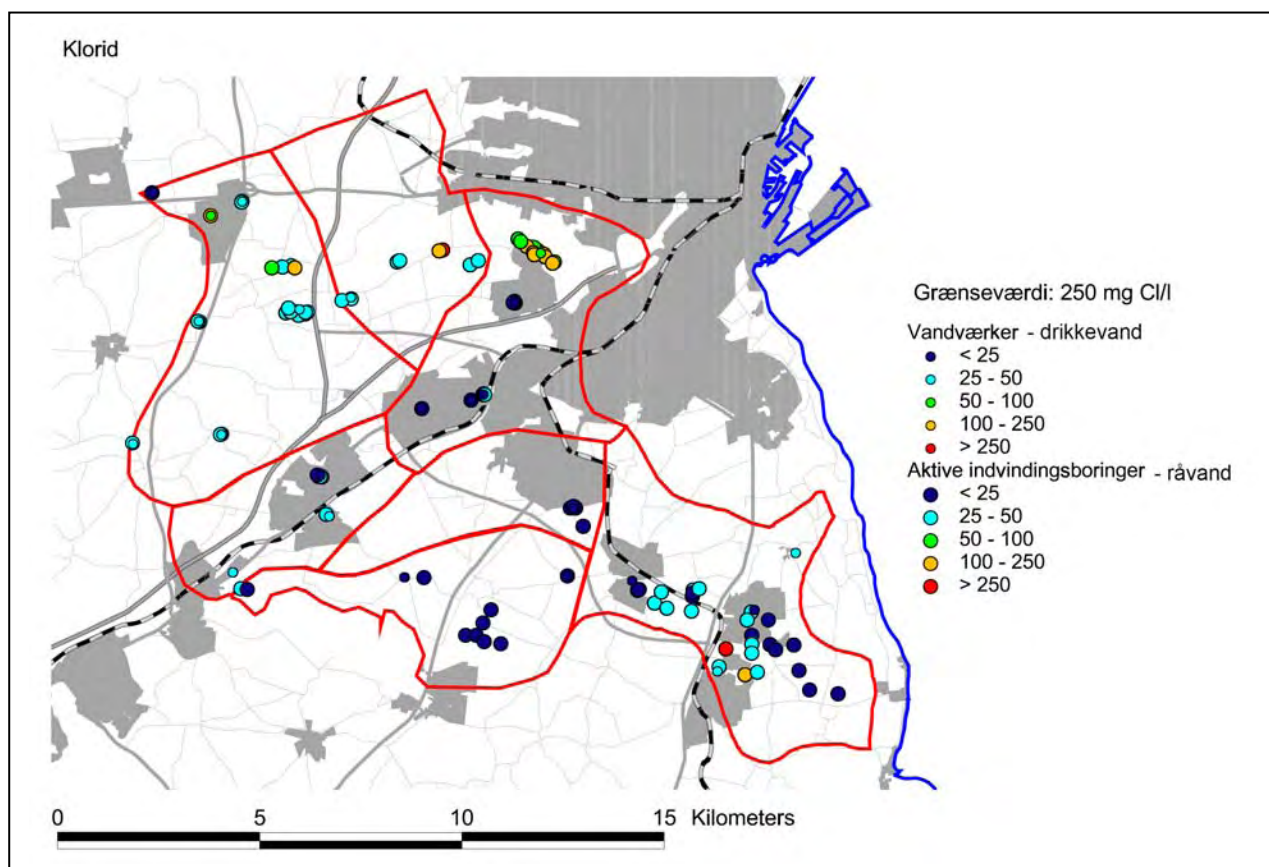
Figur 5.4.5 Forceret omsætning af pyrit omkring sænkningstragt (Bay m. fl., 2004).

Klorid

Indholdet af klorid er analyseret mange gange i råvand og drikkevand fra vandværker i kortlægningsområdet.

Råvandets indhold af klorid i de aktive vandforsyningsboringer er vist i figur 5.4.6 sammen med drikkevandets indhold af klorid på vandværkerne i Århus Syd området. Flere af vandforsyningsboringerne i Brabranddalen har et højt indhold af klorid med op til ca. 550 mg/l (grænseværdi for klorid i drikkevand er 250 mg/l). Ligeledes er der i 2 af pejleboringerne ved Bederværket, mellem Beder og Malling, målt et højt indhold af klorid på op til ca. 450 mg/l. I samme område er der fundet bruntfarvet grundvand med et højt indhold af organisk stof (højt permanganattal) i nu nedlagte boringer ved Malling Vandværk.

Saltvand i grundvandet i Århus Syd-området skyldes enten tilstedeværelsen af marine, saltholdige aflejringer eller diffusion fra det underliggende saltholdige grundvand. De saltvandspåvirkede boringer ligger tæt på boringer, som ikke er saltvandspåvirkede. Dette må skyldes den komplekse geologi i området som et resultat af hyppige skift i de geologiske aflejringsmiljøer inden for selv korte afstande.

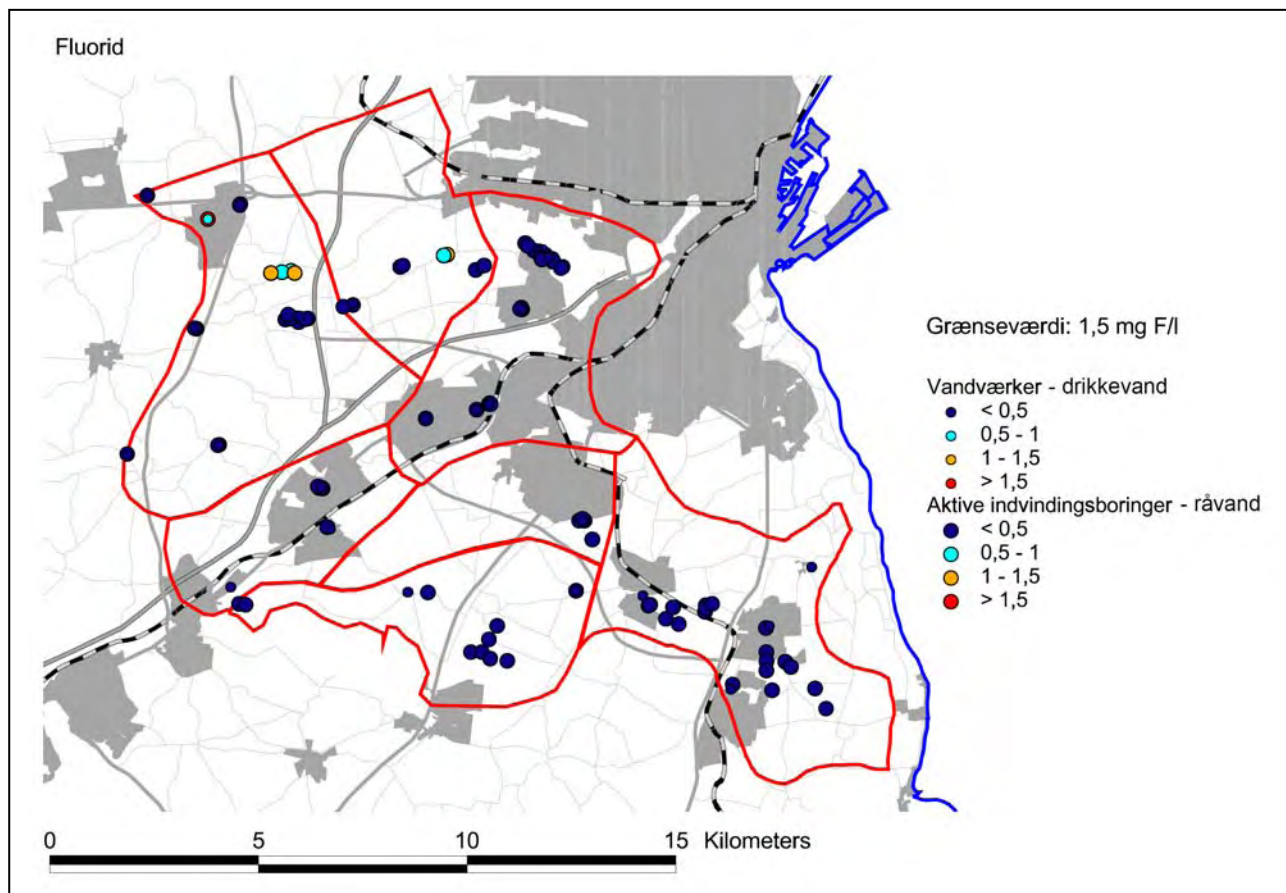


Figur 5.4.6 Seneste måling af klorid indholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd området pr. 7. juli 2005.

Fluorid

Indholdet af fluorid er analyseret mange gange i råvand og drikkevand fra vandværker i kortlægningsområdet.

Figur 5.4.7 viser råvandets indhold af fluorid i de aktive vandforsyningsboringer sammen med drikkevandets indhold af fluorid på vandværkerne i Århus Syd-området. Flere af vandforsyningsboringerne i Brabranddalen har et højt indhold af fluorid med op til ca. 1,7 mg/l (grænseværdien for fluorid i drikkevand er 1,5 mg/l).



Figur 5.4.7 Seneste måling af fluoridindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området pr. 7. juli 2005.

Fluoridforekomster skyldes en kombination af ældre stagnerende vand og påvirkning fra carbonataflejringer med fluoridholdige mineraler såsom fluorit og apatit (Laursen og Kærgaard Bjerre, 2002).

Sammenhængen mellem klorid og fluorid i råvandet fra de aktive vandforsyningsboringer i kortlægningsområdet er undersøgt (se figur 5.4.8). Det viser sig, at data fordeler sig i 5 grupper:

1. Stautrupværkets Kildeplads (751-10-202-0)
2. Constantinsborg Kildeplads (751-10-202-1)
3. Harlev-Framlev Vandforsyning Kalundborgvej Kildeplads (751-20-9-0)
4. Harlev Kildeplads (751-10-203-1)
5. Resterende boringer

Grundvandet i gruppe 2-4 er påvirket af residualt saltvand fra et oprindeligt marint aflejringsmiljø på forskellig vis. Desuden er grundvandet i Gruppe 2-4 også påvirket af den underliggende kalk,

hvilket det forhøjede fluoridindhold indikerer. Grundvandet fra de 3 forskellige grupper stammer derfor antagelig fra forskellige geologiske formationer, som er påvirket forskelligt af det omkringliggende miljø.

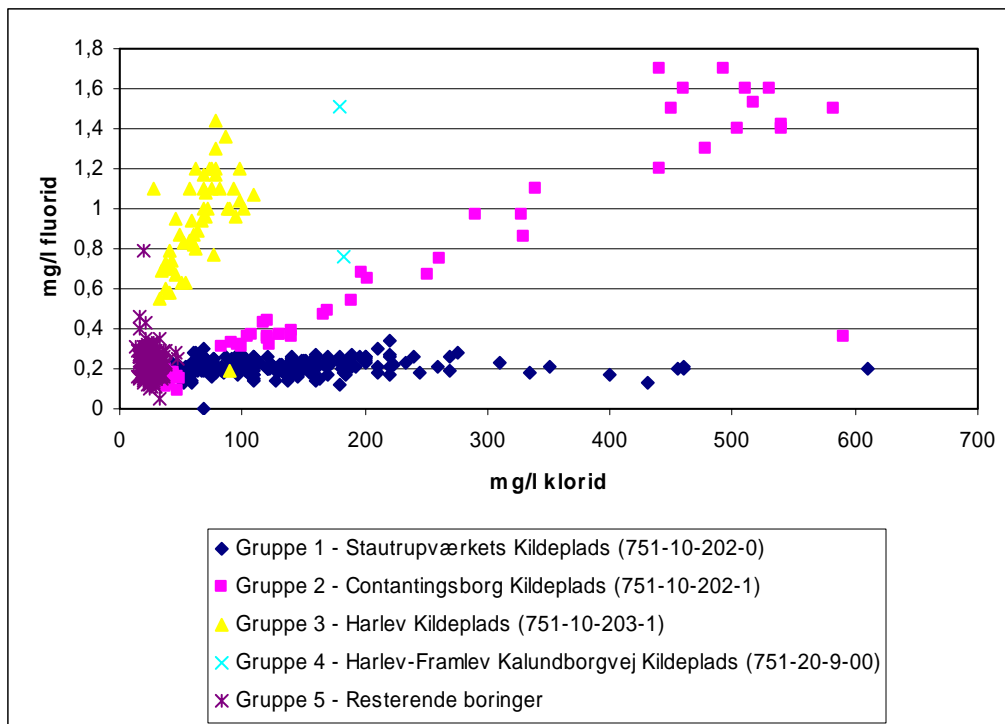
Gruppe 1 (vandforsyningsboringer fra Stautrupværkets Kildeplads) har et meget varierende og relativt højt kloridindhold (ca. 30-600 mg/l) og et lavt fluoridindhold (0-0,18 mg/l). Råvandet er samtidigt omvendt ionbyttet og antageligt påvirket af diffusion fra det underliggende saltholdige grundvand.

I gruppe 2 (vandforsyningsboringer fra Constantinsborg Kildeplads) er der en positiv lineær sammenhæng mellem fluorid og klorid, der varierer mellem 0,1-1,7 mg F/l og ca. 35-600 mg Cl/l. Residualt saltvand fra et oprindeligt marint aflejringsmiljø er sandsynligvis årsagen til det forøgede kloridindhold. Fluorid i råvandet ved Constantinsborg Kildeplads må skyldes en påvirkning fra den underliggende kalk (som indeholder fluoridholdige mineraler), inden for indvindingsoplandet til kildepladsen.

I gruppe 3 (vandforsyningsboringer fra Harlev Kildeplads) er der en anden lineær sammenhæng mellem fluorid og klorid end i råvandet fra boringer fra gruppe 2. Fluoridindholdet varierer mellem 0,2-1,4 mg/l, og kloridindholdet er lavere og mindre varierende end i gruppe 1 og 2 og ligger mellem 28-110 mg/l. Her er der sandsynligvis også tale om residualt saltvand fra et oprindeligt marint aflejringsmiljø, og med påvirkning fra den underliggende kalk, som i gruppe 2.

Gruppe 4 er råvandet fra indvindingsboringen (DGU nr. 88.1227) fra Harlev-Framlev Kalundborgvej Kildeplads. De to analyseresultater fra gruppe 4 ligger anderledes end data fra gruppe 1-3. Dog er datamaterialet tyndt (kun 2 analyser), og det kan diskuteres om gruppe 3 burde slås sammen med gruppe 2 eller gruppe 4. Fluoridindholdet i gruppe 4 er højt på ca. 0,8 og 1,5 mg/l, og kloridindholdet ligger ligeledes højt på ca. 180 mg/l. Her må kilden også være residualt saltvand fra et oprindeligt marint aflejringsmiljø, og med påvirkning fra den underliggende kalk, som i gruppe 2 og 3.

De resterende vandforsyningsboringer i Århus Syd-området (gruppe 5) har både et lavt fluorid- og kloridindhold og er dermed hverken påvirkede af salt eller fluoridholdige mineraler fra kalkaflejringer.

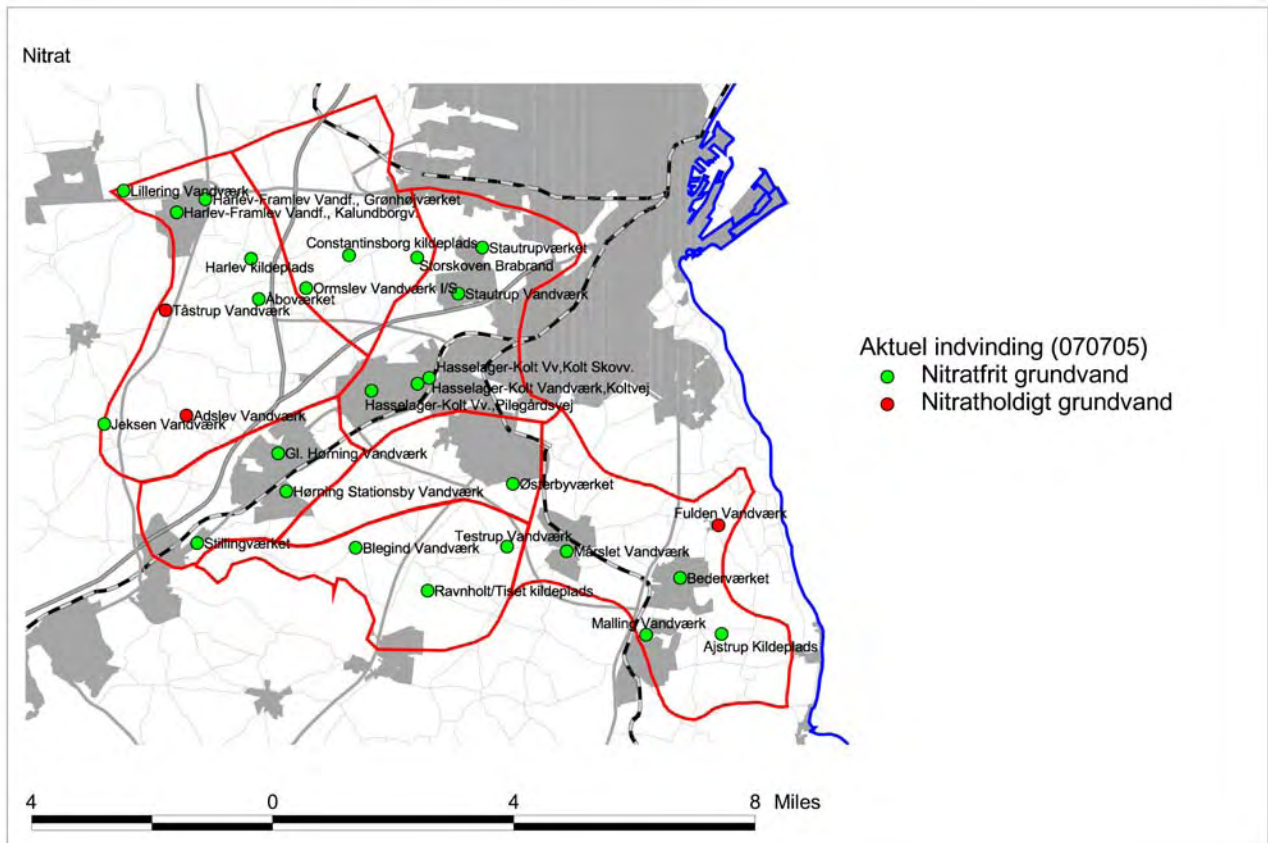


Figur 5.4.8 Sammenhængen mellem råvandets indhold af fluorid og klorid fra de aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området. Alle analyser er medtaget. Grænseværdien for fluorid er 1,5 mg/l og for klorid 250 mg/l.

Kvælstofforbindelser i grundvandet

Nitrat

Fulden Vandværk, Tåstrup Vandværk og Adslev Vandværk indvinder nitratholdigt vand med et nitratinhold under grænseværdien (se figur 5.4.9). I nærheden af de to sidstnævnte vandværker, findes der også ”ikke almene” vandværker, som indvinder nitratholdigt grundvand. Ved det ”ikke almene” vandværk, Jeksen Fladland Vandværk ligger nitratinholdet i drikkevandet på ca. 50-90 mg/l, altså over grænseværdien på 50 mg/l (Vandværkets placering fremgår ikke af figur 5.4.9). De resterende vandværker indvinder nitratfrit grundvand.



Figur 5.4.9 Markering (røde cirkler) af de aktive almene vandværker i Århus Syd-området, hvor der i en eller to borer indvindes nitratholdigt grundvand under grænseværdien på 50 mg/l pr. 7. juli 2005.

Ammonium og nitrit

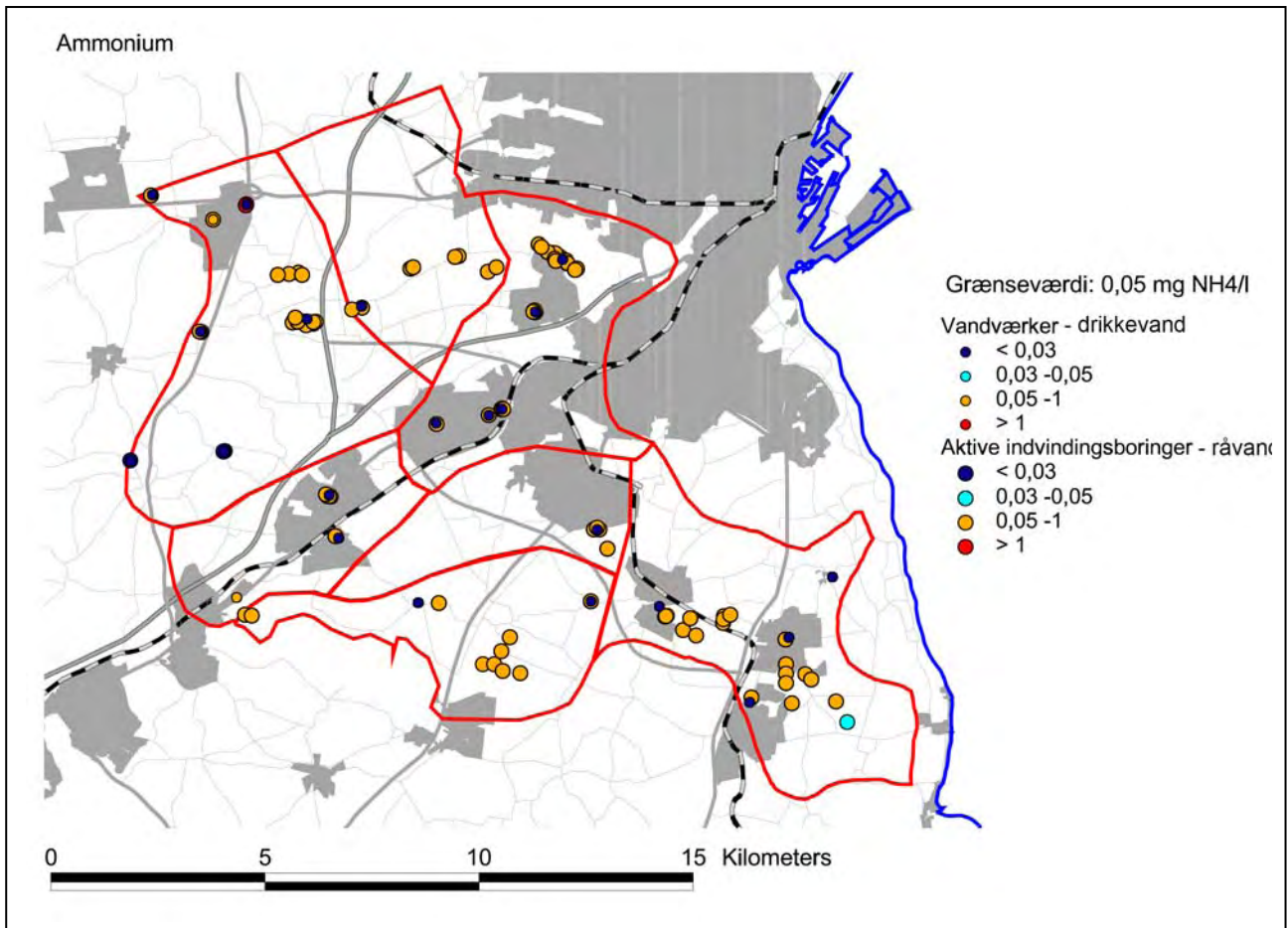
Der er fra december 2003 indført skærpede krav til drikkevandets indhold af nitrit og ammonium. idet grænseværdien for ammonium nu er 0,05 mg/l og for nitrit 0,01 mg/l ved afgang fra vandværk (jf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, bekendtgørelse nr. 871 af 21. december 2001).

Begge kvælstofforbindelser optræder naturligt i grundvandet, men derudover kan der i vandværkets filtre dannes nitrit ved en ufuldstændig nitrifikation af ammonium. Stofferne er uønskede i drikkevandet. Ammonium kan give anledning til vækst af bakterier, og kan omdannes til nitrit, der er sundhedsskadeligt.

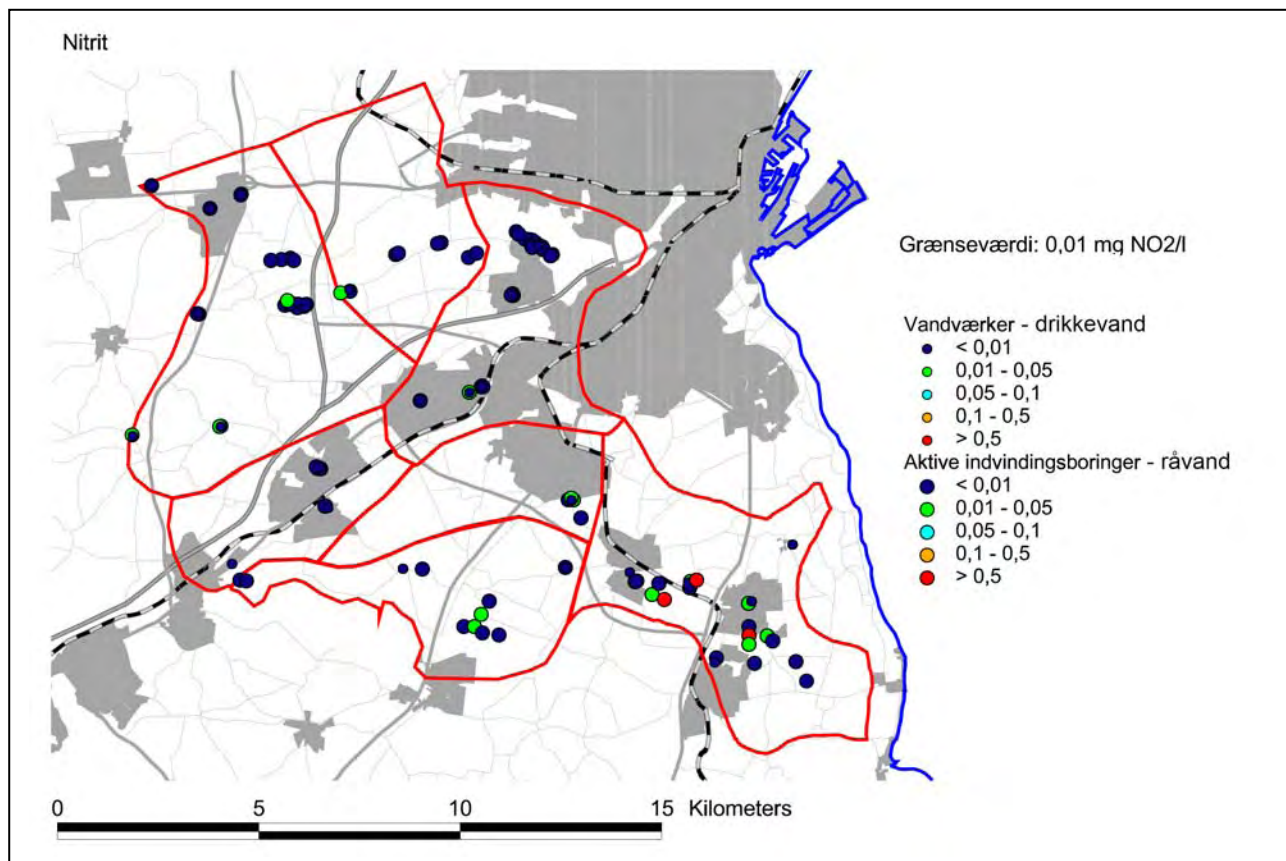
Råvandets indhold af ammonium og nitrit i de aktive vandforsyningsboringer er vist i figur 5.4.10 og 5.4.11 sammen med drikkevandets indhold af de samme stoffer på vandværkerne i Århus Syd-området.

Næsten alle vandforsyningsboringerne (ca. 95 %) har et højt indhold af ammonium i råvandet over grænseværdien for indholdet i drikkevand (0,05 mg NH₄/l). Mange af vandforsyningsboringerne (ca. 56 %) har et højt indhold af nitrit i råvandet over grænseværdien for indholdet i drikkevand (0,01 mg/l).

Inden for Århus syd-området er det kun Stillingværket der pr. juli 2005 har overskridelser af ammoniumindholdet i drikkevand (se figur 5.4.10). Ingen af vandværkerne i Århus Syd-området har overskridelser af grænseværdien for nitrit i drikkevandet (se figur 5.4.11).



Figur 5.4.10 Seneste måling af ammoniumindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området pr. 7. juli 2005.



Figur 5.4.11 Seneste måling af nitritindholdet i drikkevandet på aktive vandværker og i råvandet i aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området pr. 7. juli 2005.

Pesticider

Generelt er pesticidanalyserne lavet som råvandsanalyser, men mange af vandværkerne har derudover også undersøgt drikkevandet for pesticider. De ældste analyser stammer tilbage fra 1993.

I Århus Syd-området er det kun Stillingværket som p.t. (juli 2005) har pesticidfund (4-CPP) i drikkevandet, der dog er under grænseværdien. I drikkevandet fra 4 andre vandværker (Stautrupværket, Åboværket, Bederværket og Mårslet Vandværk) har der tidligere været fund af pesticider (BAM, 4-CPP, AMPA eller dichlorprop), men stofferne genfindes ikke længere i drikkevandet (juli 2005). Dette må skyldes ændret pumpestrategi og fortynding, da der er fund af pesticider i flere af de aktive indvindingsboringer på de 4 pågældende vandværker.

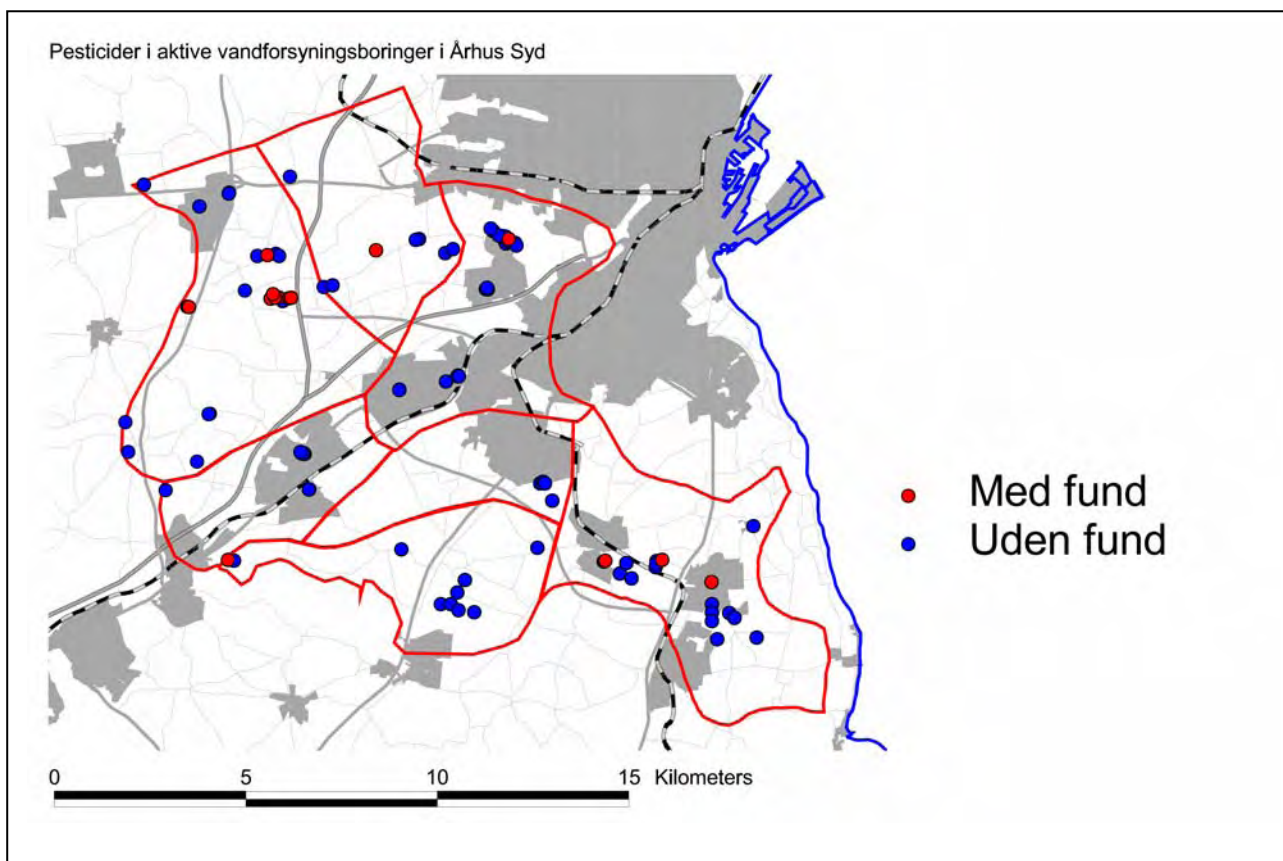
I råvandet har der været fund af pesticider (BAM, dichlorprop, mechlorprop, 4-CPP, AMPA eller glyphosat) i 14 (15 %) af de aktive vandforsyningsboringer i Århus Syd-området (se figur 5.4.12). Der var overskridelser af grænseværdien for 4-CPP i råvandet fra 4 af de aktive vandforsyningsboringer i 2004, som hører til Åboværket. Af den grund har ÅKV planer om at afværgepumpe i den ene af de pågældende boringer.

Langt de fleste fund er verificeret ved gentagne analyser, ligesom de fleste boringer er undersøgt 2 eller flere gange. Fundet af glyphosat og AMPA i drikkevand og råvand ved Åboværket er dog ikke påvist ved senere analyser og repræsenterer muligvis analysefejl.

Tabel 5.4.1 viser antallet af aktive vandforsyningsboringer (råvand) og drikkevandsanlæg (drikkevand), hvor der er fundet pesticider. Det fremgår, at BAM (11 % fundhyppighed) er det hyppigst fundne stof i råvandet fra vandforsyningsboringerne efterfulgt af dichlorprop (9 % fundhyppighed), mechlorprop (6 % fundhyppighed) og 4-CPP (6 % fundhyppighed). Stofferne findes i mindre grad i drikkevandet på vandværkerne på grund af fortynding med ikke pesticidholdigt vand fra andre vandforsyningsboringer.

Stof	Indvindingsboringer (i alt 94) RÅVAND					Drikkevandsanlæg (i alt 23) DRIKKEVAND		
	Antal			%		Antal		
	Undersøgt	Med fund	>0,1 µg/l	Fund	>0,1 µg/l	Undersøgt	Med fund	>0,1 µg/l
BAM	94	10	0	11	0	22	4	0
Dichlorprop	93	8	0	9	0	21	2	0
Mechlorprop	93	6	0	6	0	19	0	0
4-CPP	84	5	4	6	5	16	1	0
Glyphosat	88	1	0	1	0	14	0	0
AMPA	79	1	0	1	0	14	1	0

Tabel 5.4.1 Fundhyppighed af de pesticider, der er fundet på aktive drikkevandsanlæg (hovedanlæg og underanlæg) og deres indvindingsboringer i Århus Syd-området fra 1993 til juli 2005.



Figur 5.4.12 Fund af pesticider i perioden fra 1993 til juli 2005 i de 94 aktive vandforsyningsboringer (råvand) i Århus Syd-området.

Figur 5.4.12 viser, hvor der i perioden fra 1993 til juli 2005 er påvist pesticider, og hvor der ikke er fundet pesticider i Århus Syd-området. Ved Åboværkets Kildeplads var koncentrationen af 4-CPP i 2004 over grænseværdien i 4 vandforsyningsboringer.

Fundhyppigheden for BAM på vandværkerne er lavere, end hvad der er fundet i resten af Danmark. De fundne koncentrationer ligger også lavere end landsgennemsnittet, hvor der er overskridelser af grænseværdien i ca. 10 % af de undersøgte boringer.

Miljøfremmede stoffer

I området er ingen af indvindingsboringerne forurenede med miljøfremmede stoffer (ud over pesticider). Der optræder enkelte sporadiske fund af bl.a. phenol tæt ved detektionsgrænsen i enkelte boringer, men disse fund har ikke kunnet genfindes i de efterfølgende prøver, og må betragtes som analysestøj.

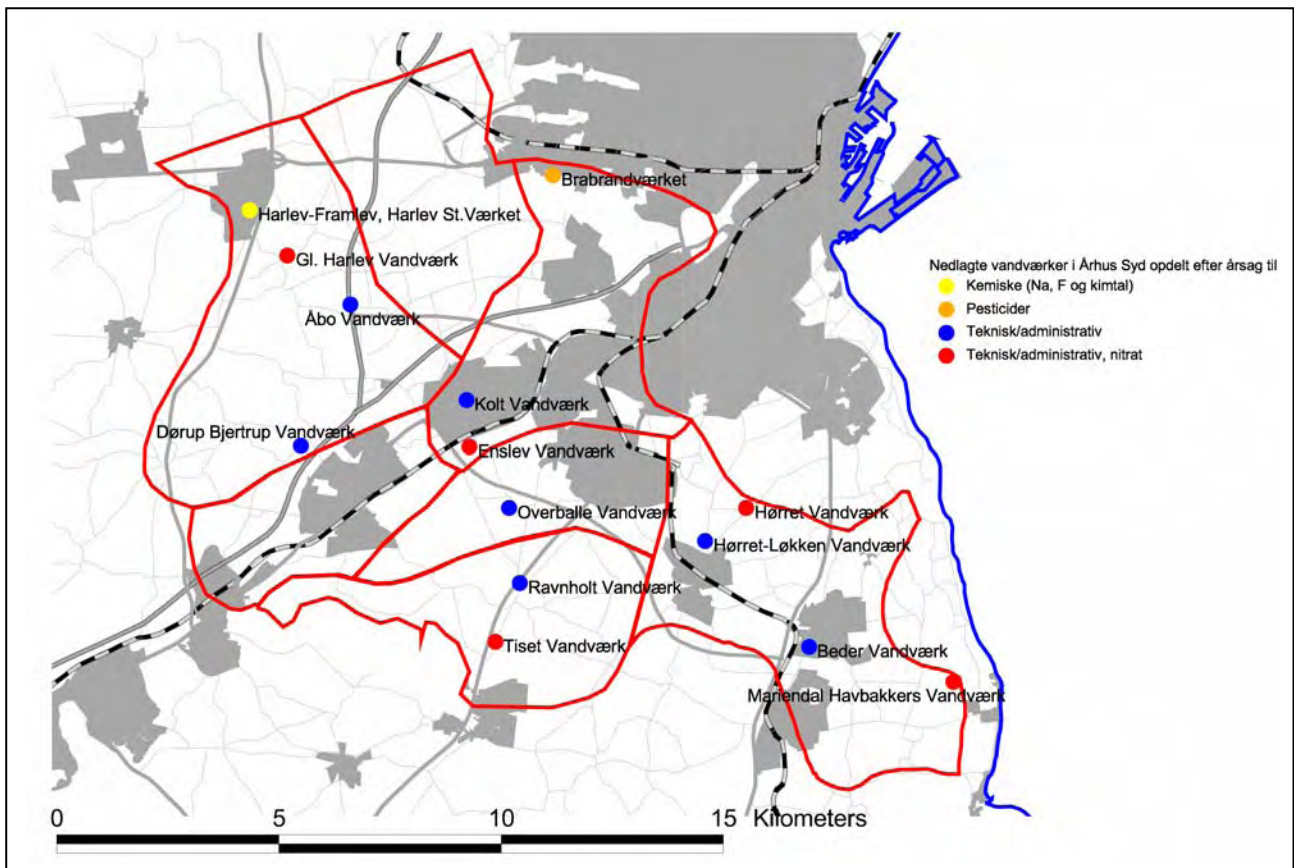
5.5 Lukkede vandværker

Inden for Århus Syd-området er 14 vandværker blevet lukket gennem tiden hovedsagelig på grund af tekniske og administrative årsager (se figur 5.5.1).

Der er 5 vandværker, som sandsynligvis er lukkede på grund af en kombination af tekniske/administrative årsager og nitrat i drikkevandet. Det drejer sig Gl. Harlev Vandværk, Enslev Vandværk, Hørret Vandværk, Tiset Vandværk og Mariendal Havbakkers Vandværk.

Harlev-Framlev, Harlev St. Værket lukkede på grund af kemiske/hygiejniske problemer med forhøjet indhold af natrium, fluorid og kimalt.

I 2003 stoppede ÅKV indvindingen fra Årslev-kildeplads, som hørte under Brabrandværket, bl.a. på grund af vandkvalitetsproblemer med klorid og fluorid. I 2004 blev indvindingstilladelsen for ÅKV's anlæg "Brabrandværket" tilbagekaldt på grund af pesticidfund i drikkevandet.



Figur 5.5.1 Lukkede vandværker inden for Århus Syd-området.

6. Geologi og grundvandskvalitet

6.1 Indledning

Formålet med den kortlægning, der er gennemført i Århus Syd-området, har været at skabe det bedst mulige grundlag for en beskrivelse af områdets grundvandsressourcer med hensyn til mængde, beliggenhed, kvalitet og beskyttelse. I dette kapitel sammenstilles resultaterne af en lang række forskellige undersøgelser (geofysiske, geologiske, hydrologiske og kemiske), som er udført i forbindelse med Århus Syd kortlægningen, og som enkeltvis er nærmere beskrevet i kapitel 4. Formålet med sammenstillingen er at syntesere viden om de væsentligste geologiske strukturer i området inkl. de begravede dale, grundvandsmagasinerne beliggenhed og udstrækning, områdets komplicerede geologi og grundvandsmagasinerne kemiske tilstand.

På baggrund af den geofysiske TEM-kortlægning og de dybe boringer i området herunder undersøgelsesboringerne er der identificeret flere begravede dalstrukturer i Århus-Syd-området. Beliggenheden af og alderen på disse dalstrukturer beskrives og navngivningen af dalstrukturene præsenteres.

Grundvandsmagasinerne beliggenhed i området rides op og inddeles i et øvre og nedre magasin efter principperne anvendt ved den basisanalyse, som Århus Amt, i henhold til Vandrammedirektivet, udførte i 2004.

Den regionale fordeling af arsen, klorid og fluorid i grundvandet i Århus Syd beskrives primært for Fokusområdet i afsnit 6.5, da disse naturligt forekommende stoffer kan udgøre problemstoffer i forhold til drikkevandskvaliteten. Den regionale fordeling af nitrat og pesticidfund i grundvandet vil blive indgående beskrevet i rapportens kapitel 8, hvor der redegøres for grundvandsmagasinerne naturlige beskyttelse og sårbarhed.

Den geologiske kompleksitet og den kemiske tilstand af grundvandsressourcerne i Århus Syd-Fokusområdet beskrives i afsnit 6.6. Beskrivelsen er foretaget med udgangspunkt i 7 udvalgte profilsnit. De udvalgte profilsnit er tegnet så boringer fra de vigtigste vandforsyninger i området, de dybe undersøgelsesboringer samt de mest betydelige geologiske strukturer og grundvandsmagasiner er repræsenteret.

De vigtigste konklusioner fra sammenstillingen

De væsentligste kvartære grundvandsmagasiner findes i de kortlagte dalstrukturer. De kvartære aflejringer i området er afsat under gentagne nedisninger og afsmeltninger. Petrografiske og minereralogiske studier har vist, at der i området findes aflejringer fra såvel Elster og Saale som Weichsel istiderne. Desuden har disse studier vist, at de ældste kvartære aflejringer findes i den sydligste del, mens de yngste kvartære aflejringer omvendt findes i den nordlige del af området.

Den vestlige del af Beder-Mårslet-Stillingdalen er dog tilsyneladende domineret af meget vekslende og lerrige aflejringer, og har dermed et begrænset magasinpotentiale. På nordflanken af Beder-Mårslet-Stillingdalen findes der grundvandsmagasiner af tertiær oprindelse, som Østerbyværket indvinder fra.

I Århus Syd-Fokusområdet findes der betydelige grundvandsressourcer med en god drikkevandskvalitet. Men området har en meget varieret geologi, hvilket giver en kompliceret geokemisk opbygning og forskellighed i den kemiske tilstand af grundvandsmagasinerne, som det er nødvendigt at tage højde for ved indvinding af drikkevand. Følgende 5 forskellige kemiske forhold ved grundvandsmagasinerne skal fremhæves:

1. Forekomst af geologiske vinduer og kompliceret strømning

Der er i området flere steder tegn på, at der er hydraulisk kontakt mellem de dybe magasiner og sandede overfladenære lag. Dette resulterer i, at nitrat og andre forurenede stoffer visse steder er til stede i stor dybde, mens der andre steder er stærkt reduceret vand tæt ved terræn. Dette skyldes den komplekse geologiske opbygning, med skiftende ler- og sandlag, som resulterer i kompliceret strømning både i umættet zone og i selve grundvandsmagasinet.

Som eksempel kan nævnes det dybe magasin i Hasselager-Hørning-Jeksendalen, hvor vandanalyser har vist, at nitrat og BAM er trængt ned til ca. 74 meter under terræn, da der er hydraulisk kontakt mellem overfladenære sandlag og grundvandsmagasinet. Eventuelt fremtidig indvinding, fra de dybere dele af grundvandsmagasinerne i denne begravede dal, vil sandsynligvis forringe grundvandskvaliteten yderligere. Også i den østlige og vestlige del af Stautrup-Hasselagerdalen viser nitratfrontens beliggenhed, som er baseret på farvebeskrivelser af sedimentet, at nitrat sandsynligvis er trængt ind i grundvandsmagasinerne via overfladenære sandlag (geologiske vinduer).

Kraftig indvinding i Århus Syd-Fokusområdet kan forårsage en forstærkning af den negative effekt af de geologiske vinduer på vandkvaliteten. Et stigende sulfatindhold i indvindingsboringerne i området kan være en direkte indikation på hydraulisk og atmosfærisk kontakt mellem de overfladenære sandlag (geologisk vindue) og grundvandsmagasinet. Her er der risiko for indtrængning af nitrat og andre forurenede stoffer til grundvandsmagasinet i fremtiden. Det stigende sulfatindhold skyldes forceret omsætning af pyrit som et resultat af en afsænkning af grundvandsspejlet. Dette forhold er nærmere undersøgt i Bederområdet i 1990'erne i forbindelse med flere undersøgelsesprojekter i området.

2. Risikoen for pesticider i grundvandet

Flere steder i Århus Syd-Fokusområdet er der fund af pesticider hovedsagelig i det øvre grundvand, hvilket vil blive beskrevet nærmere i afsnit 8.4. Der er pesticidfund flere steder i Brabranddalen. Desuden er der fund af pesticider i det øvre grundvand i Hasselager-Hørning-Jeksen-dalen og i Beder-Mårslet-Stilling-dalen. Der er også enkelte fund af pesticider i Stautrup-Hasselagerdalen.

3. Risikoen for arsen i grundvandet

Århus Syd-området udgør et risikoområde for et højt indhold af arsen i grundvandet. Det hænger sammen med, at de sandede grundvandsmagasiner findes i begravede dale, hvor bunden af magasinerne består af fedt tertiært ler. Boringer med et højt arsenindhold (op til 42 µg/l ved seneste analyse) er derfor hovedsagelig lokaliseret til de begravede dale. En undtagelse er dog den begravede Hasselager-Hørning-Jeksen dal, hvor arsenindholdet er lavt. Sedimentanalyser af arsen i pyritfraktionen på 4 undersøgelsesboringer i området indikerer, at en arsenrig kildebjergart ikke er den eneste faktor, der er afgørende for et højt arsenindhold i grundvandet under reducerende forhold. Undersøgelserne indikerer, at en lille cirkulation i magasinet og lav grundvandsgennemstrømning også er afgørende for et højt arsenindhold i grundvandet.

4. Risikoen for klorid i grundvandet

Der er specielt i Brabranddalen, i mange lokale områder af grundvandsmagasinerne, risiko for et højt indhold af klorid (op til 1300 mg/l) i grundvandet. Derudover findes der også lokale områder i grundvandsmagasinerne i Beder-Mårslet-Stillingdalen med et højt kloridindhold (ca. 280-450 mg/l). Det høje kloridindhold stammer mest sandsynligt fra residualt saltvand, der har sin oprindelse i marine transgressioner i mellemistids-perioder. I den østlige del af Brabranddalen har flere boringer et højt kloridindhold samtidig med, at grundvandet er omvendt ionbyttet. Omvendt ionbytning finder sted, når saltvand fortrænger ferskvand. Det høje kloridindhold og den omvendte ionbytning skyldes sandsynligvis diffusion fra det underliggende saltholdige grundvand.

Mange steder i grundvandsmagasinerne i Århus Syd-området er grundvandet markant ionbyttet. Dette er sandsynligvis udtryk for ionbytning mellem det ferske grundvand og lerede marine saltholdige tertiære aflejringer.

5. Risikoen for fluorid i grundvandet

Forhøjet fluorid indhold (op til 4 mg/l) i grundvandsmagasinerne i Århus Syd-området synes især at knytte sig til den cirkulære struktur ved Framlev (se afsnit 6.3) og dermed den højtliggende kalkoverflade i dette område. Dette skyldes sandsynligvis det forhold, at et højt indhold af fluorid i grundvandet er et resultat af ældre stagnerende vand, som er påvirket af carbonatholdige aflejringer, som indeholder fluoridholdige mineraler.

6.2 Datagrundlag

Der er i forbindelse med Århus Syd kortlægningen brugt et stort antal forskellige data med forskellig tæthed inden for området. F.eks. er den sedimentkemiske datatæthed meget mindre end den vandkemiske datatæthed. På den anden side er den vandkemiske datatæthed noget mere spinkel end den geologiske og geofysiske datatæthed. Dog kan de vandkemiske data have en ekstra dimension, idet der flere steder eksisterer tidsserier af vandanalyser fra en boring, som i bedste fald beskriver udviklingen de sidste ca. 60 år.

Geologiske og geofysiske data

Omridset af de kortlagte dalstrukturer i Århus Syd-området er fastlagt på baggrund af geofysiske TEM-data, der er indsamlet i området frem til 2003.

Basisanalysens resultater (Århus Amt, 2004) er anvendt som udgangspunkt for fastlæggelsen af magasinudbredelsen, og inddeling i et øvre og et nedre grundvandsmagasin. Resultaterne fra basisanalysen er fremkommet ved en mere overordnet magasinanalyse, og er derfor kontrolleret mod den geologiske tolkning for Århus Syd-området, der danner grundlaget for grundvandsmodellen.

Den geologiske model for Århus Syd-området er opstillet på baggrund af den tilgængelige geologiske information i Århus Amts databaser om en lang række boringer herunder indvindingsboringer, pejleboringer m.m. Derudover er der anvendt information fra de dybe undersøgelsesboringer Århus Amt har udført i forbindelse med Århus Syd kortlægningen. Udover de rene geologiske informationer fra disse dybe boringer er resultaterne fra de petrografiske og mineralogiske analyser og tolkninger (SESAM, 2005) inddraget. Disse resultater er anvendt dels til beskrivelse af aflejringerens alder, dels i forbindelse med vandkemiske tolkninger. Udover boringsinformationen er geofysiske TEM-data i form af koten for den gode leder anvendt som støtte ved fastlæggelse af den tertiære leroverflade, samt til tolkning af geologien mellem boringerne. De geofysiske PACES-data er anvendt som støtte for tolkningen af den øverste terrænnære geologi.

Vand – og sedimentkemiske data

Til kortlægning af vandkvalitetsforholdene i Århus Syd-Fokusområdet er der benyttet alle tilgængelige råvandsanalyser i Århus Amts databaser. Samlet set giver dette et meget stort antal vandanalyser, der dog ikke er jævnt fordelt over området hverken i rum eller tid. F. eks. er datagrundlaget i den vestlige del af Århus Syd-Fokusområdet mere tyndt end ved de centrale indvindinger ved Beder og i Brabranddalen (se f.eks. 6.5.1 over udbredelsen af arsen i grundvandet). Ligeledes findes der for mange af de centrale indvindingsboringer i området en lang tidsserie af data, som giver en god beskrivelse af ændringer i vandkvaliteten med tiden.

Eksisterende data

Der er benyttet alle eksisterende råvandsanalyser fra vandforsyninger, forureningsundersøgelser, videnskabelige undersøgelser m.v., som er indberettet til Århus Amt, og som dermed findes i amtets databaser.

F.eks. i området ved Rokballe i Beder deltog Århus Amt i 1992-1996 i et strategisk miljøforskningsprojekt, hvor der blev udført en meget detaljeret undersøgelse af forekomsten og betydningen af et geologisk vindue for vandkvaliteten i området. Resultaterne derfra er vigtige for generaliseringen og vurderingen af betydningen af geologiske vinduer for vandkvaliteten af grundvandsressourcerne i hele Århus Syd-Fokusområdet.

Århus Amt har i området gennemført en lang række undersøgelser af forurenede grunde og gamle depoter, hvor der er udtaget analyser af såvel forureningsfanen som af grundvand opstrøms forureningen, der i princippet bør være upåvirket. Det er imidlertid ofte vanskeligt at afgøre hvilke analyser der er udtryk for baggrundskvalitet og hvilke der er udtryk for en lokal forurening. Da formålet med nærværende kortlægning er at kortlægge den overordnede kvalitet af grundvandsressourcen er disse data kun i mindre omfang inddraget i databehandlingen.

Nye kortlægningsdata

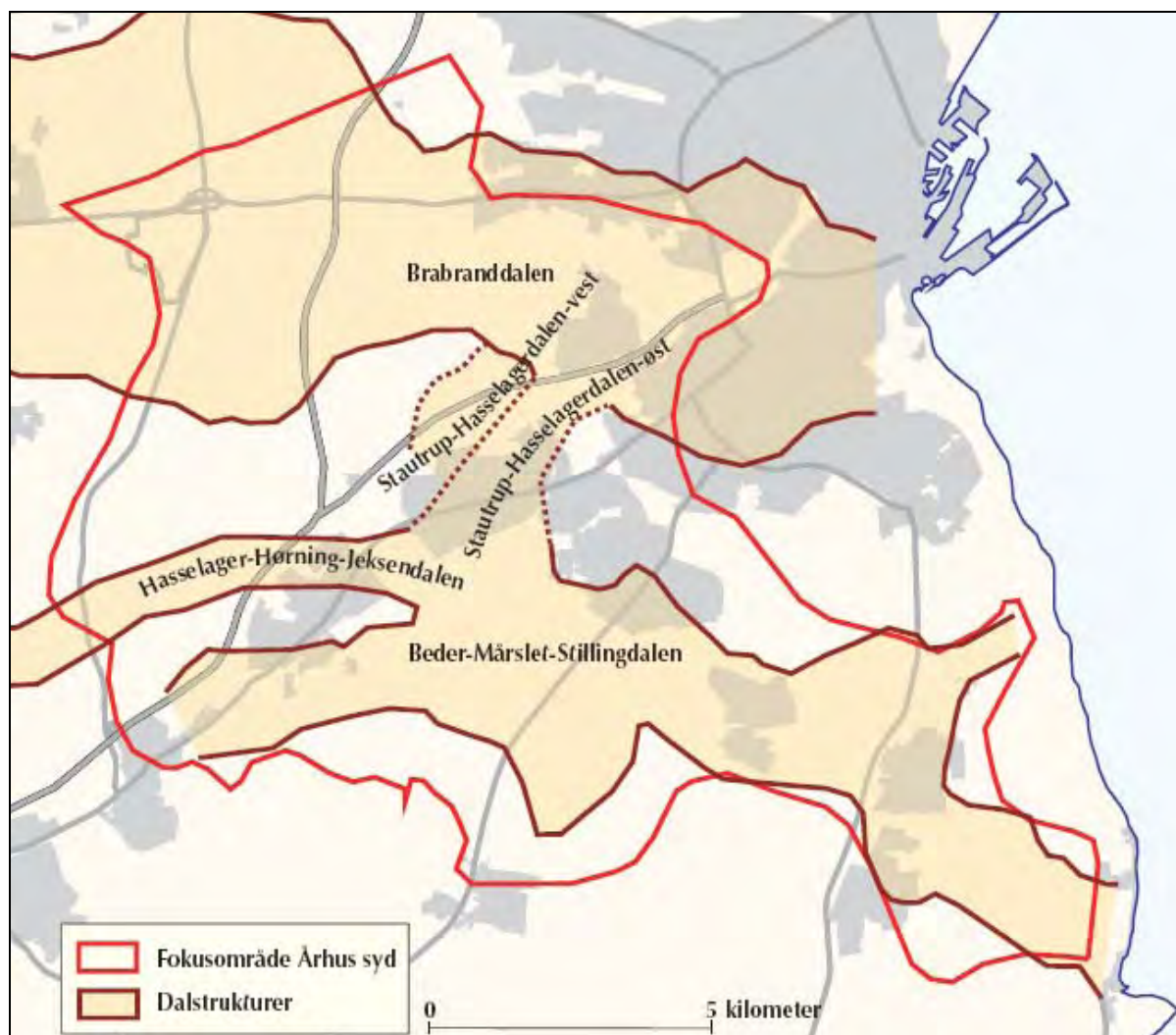
Der er i forbindelse med Århus Syd kortlægningen indsamlet nye vand- og sedimentkemiske data fra de udførte undersøgelsesboringer og yderligere vandkemiske data fra eksisterende markvandingsboringer. Disse data er nærmere beskrevet i kapitel 4 og danner et vigtigt grundlag for beskrivelsen af grundvandsressourcens kemiske tilstand i området.

6.3 Kvartære geologiske strukturer

Som omtalt i kapitel 3 findes de væsentligste grundvandsmagasiner i Århus Syd-området i mægtige kvartære aflejringer beliggende i helt eller delvist begravede dalstrukturer nedskåret i den tertiære undergrund. Dalstrukturerne er adskilt af plateauer med højtliggende tertiære aflejringer. Strukturerne i Århus Syd-området er kortlagt med den geofysiske TEM-metode.

Dalstrukturer i Århus Syd-området

På baggrund af kortet over koten for den dybe gode leder (jf. figur 4.2.6), kan der i Århus Syd-området beskrives 4 vigtige dalsystemer. I den nordlige del af Århus Syd-området er der lokaliseret et bredt dalsystem, Brabranddalen, der er sammenhængende med det smallere Staurup-Hasselagerdalførøb. I den sydlige del af Århus Syd-området er Beder-Mårslet-Stillingdalen beliggende samt den noget smallere Hasselager-Hørning-Jeksendalen. Karakteristisk for alle disse vigtige dalsystemer er, at de er udfyldt med mægtige serier af kvartære aflejringer. Disse aflejringer er mange steder ganske sandrige, og derfor kan de være gode grundvandsmagasiner.



Figur 6.3.1. Begravede dalstrukturer i Århus Syd-området. Stiplede linie betyder at dalens forløb er usikkert.

Brabranddalen

Målinger med TEM sonderinger har gennem årene øget kendskabet til udbredelsen og orienteringen af Brabranddalen (fig. 6.3.1). Brabranddalen strækker sig fra Århus by og ind mod Harlev, og er karakteriseret ved at være relativ bred og mod vest løbe sammen med dalen under Lyngbygård Å. Brabranddalen er sammenhængende med Stautrup-Hasselagerdalen, men det er til gengæld uvist om dalen strækker sig helt ud til kysten. Brabranddalen betegnes som en delvist begravet dal (Jørgensen og Sandersen, 2004), da den delvist er sammenfaldende med et dalforløb i det nuværende landskab, hvor blandt andet Brabrand Sø ses i dag.

Stautrup-Hasselagerdalene - en vestlig og en østlig

Dalstrukturen mellem Stautrup og Hasselager (fig. 6.3.1) er en sidedal til Brabranddalen. Dalen strækker sig fra Århus og ned mod Hasselager i sydvestlig retning, og er foreslået opdelt i to mindre og parallelle begravede dalforløb (Jørgensen og Sandersen, 2004). Det vil dog kræve yderligere undersøgelser bl. a. i form af boringer for endeligt at kunne fastslå, hvorvidt der er tale om to mindre og adskilte dale. Det er ligeledes uvist, om dalene er sammenhængende med Hasselager-Hørning-Jeksendalen og Beder-Mårslet-Stillingdalen mod syd på grund af manglende kortlægningsmuligheder omkring Hasselager by.

Hasselager-Hørning-Jeksendalen

Hasselager-Hørning-Jeksendalen (fig. 6.3.1) var ukendt indtil SkyTEM kortlægningen af området i 2003. Dalen er meget dyb og meget smal, og strækker sig fra Jeksen og nord om Hørning, hvor den syd for Hasselager sandsynligvis er sammenhængende med Beder-Mårslet-Stillingdalen. Dalen er ligesom Stautrup-Hasselagerdalen en helt begravet dalstruktur.

Beder-Mårslet-Stillingdalen

Det mest velkendte og bedst beskrevne dalsystem i Århus Syd-området er Beder-Mårslet-Stillingdalen (fig. 6.3.1). De tidligste målinger med TEM-metoden i starten af 1990'erne og de tidlige kortlægninger med den slæbegeoelektriske metode, blev netop udført i dette område. Beder-Mårslet-Stillingdalen strækker sig syd om Tranbjerg, under Mårslet og Beder og nord om Malling. De østligste og vestligste dele af dalen kan karakteriseres som helt begravede dalstrukturer, mens den centrale del af dalen mellem Beder og Mårslet kan karakteriseres som delvis begravet (Jørgensen og Sandersen, 2004).

Alderen på dalstrukturene

De kvartære sedimenters aldre i de begravede dale er blevet undersøgt (SESAM, 2005). De ældste sedimentter findes i Hasselager-Hørning-Jeksendalen. Her er de ældste kvartære aflejringer fra Elster nedisningen og de overlejres af Saale og tidlig Weichsel aflejringer. Hvor Beder-Mårslet-Stillingdalen og Hasselager-Hørning-Jeksendalen mødes træffes ligeledes kvartære aflejringer fra Elster i den dybeste del, mens de yngste aflejringer stammer fra Sen Weichsel. I Stautrup-Hasselagerdalen og Brabranddalen er der ikke truffet aflejringer ældre end Saale/Mellem Weichsel. De øverste dele af lagserien i disse to dalsystemer udgøres af Sen Weichsel sedimentter.

Dalstrukturene i området er således i de dybeste dele udfyldt med aflejringer af forskellig oprindelse og alder. De observerede forskelle kan indikere, at de sydligst beliggende dalstrukturer i området er af ældre oprindelse end de nordligste.

Højtliggende plateauer mellem dalene

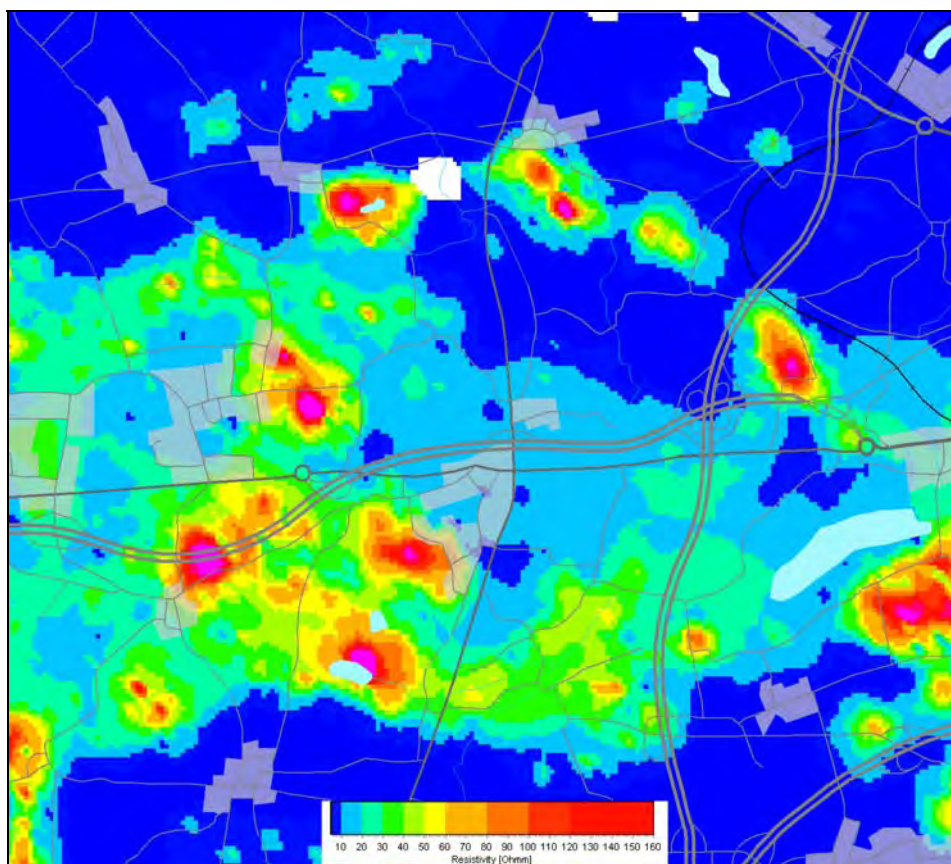
Mellem de helt og delvist begravede dalstrukturer er overfladen af den tertiære undergrund højtliggende og danner dermed egentlige plateauer mellem dalene. Mest markant er området syd for Beder-Mårslet-Stillingdalen og Beder indsatsområde, hvor tertiært ler ligger forholdsvis tæt på terræn (jf. figur 4.2.6). Området fremstår dog også markant, fordi der i området er en mindre tæthed af TEM målinger.

Til forskel for ovenstående, forekommer der i området mellem Brabranddalen og Stautrup-Hasselagerdalene tilsvarende højtliggende tertiært ler, men med en god dækning af TEM målinger. Overfladen af den tertiære ler ligger dog her dybere end i området syd for Beder-Mårslet-Stillingdalen.

Som det fremgår af middelmodstandskortene vist i figur 4.2.7, træffes lave modstande og dermed lerede sedimenter tæt på terræn i plateauerne. Muligheden for at plateauerne indeholder mægtige og velydende grundvandsmagasiner antages derfor at være begrænsede.

Cirkulær struktur ved Framlev

Omkring Framlev optræder der på de geofysiske middelmodstandskort blandt andet for koteintervallet -60 - -40 m en cirkulær struktur markeret med rød/orange farve mellem de blå/grønne farver (figur 6.3.2). Strukturen markerer efter alt at dømme omkredsen af en hævet eller bankeformet kridt/kalk-struktur, hvorunder der ligger en saltstruktur. Den cirkulære strukturs udformning og oprindelse kan dog ikke beskrives i detaljer, da dette kræver yderligere undersøgelser.



Figur 6.3.2. Det geofysiske middelmodstandskort for koteintervallet -60 til -40 m. Den cirkulære struktur omkring Framlev fremstår som rød/orange farver mellem de blå/grønne farver.

6.4 Grundvandsmagasiner

Resultater af Basisanalysen 2004, der er det første trin mod en Vandplan i 2009 i henhold til lov om miljømål m.m. (Århus Amt, 2004), danner udgangspunkt for udarbejdelsen af et kort over placeringen af grundvandsmagasinerne i Århus Syd-området. I basisanalysen er områder med grundvandsforekomster udarbejdet på baggrund af boringsoplysninger og resultater af geofysiske kortlægninger.

Som en nedre afgrænsning af de begravede dale er valgt den TEM-baserede kote for den gode elektriske leder, som er defineret ved jordlag med en modstand mindre end 12 ohmm. Denne modstand er defineret i forbindelse med udarbejdelsen af kort til Basisanalysen 2004. Efterfølgende er koten for den gode leder justeret mod oplysninger om lithologi fra boringer.

Kontureringen af de geofysiske TEM-kort er afhængig af, hvordan data ligger i forhold til dalstrukturene, og hvor tæt de geofysiske målinger er foretaget. Det betyder, at grænsedragningen for de begravede dales forløb altid er forbundet med en mindre usikkerhed. Bunden af de begravede dale, når den består af fed tertiært ler, regnes normalt som den nedre grænse for, hvor der vil være vandindvindingsmæssige interesser i et område.

Tertiære grundvandsmagasiner, i form af miocæne sandlag (kvartssand og glimmersand), findes enkelte steder i området med en typisk placering nær flankerne af de begravede dale.

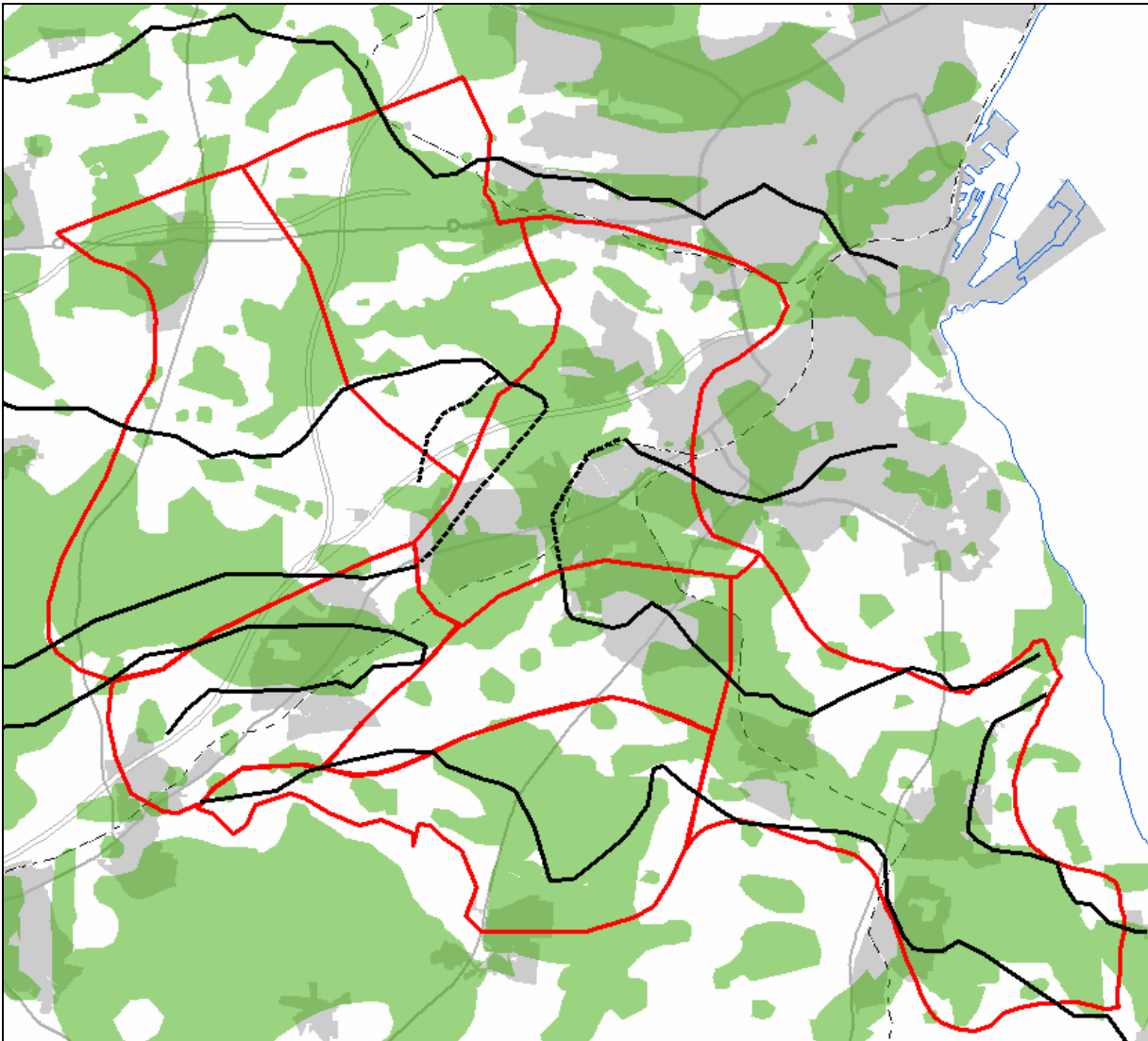
Geologisk information, fra typisk korte boringer udført i forbindelse med undersøgelse af kortlagte forureningskilder f.eks. depoter og lossepladser, har ikke været inddraget i forbindelse med udarbejdelsen af magasinkortene.

Som baggrundsmateriale til fremstilling af magasinkortene er anvendt følgende temaer:

- Antal meter sand, som er observeret i boringer (på basis af Århus Amts boredatabase)
- Grundvandsspejlets beliggenhed (potentialekort)
- TEM-kort, koten for den gode leder (tertiær lerflade)
- TEM-kort, en række modstandsintervalkort (middelmodstande i 10 m's intervaller)
- Topografiske kort

Grundvandsmagasinerne i Århus Syd-området er inddelt i øvre magasiner og nedre magasiner. De øvre grundvandsmagasiner svarer til sandlag, der indeholder de øverste 20 m af grundvandet mens de nedre grundvandsmagasiner udgøres af grundvand dybere end de 20 m fra grundvandsspejlet.

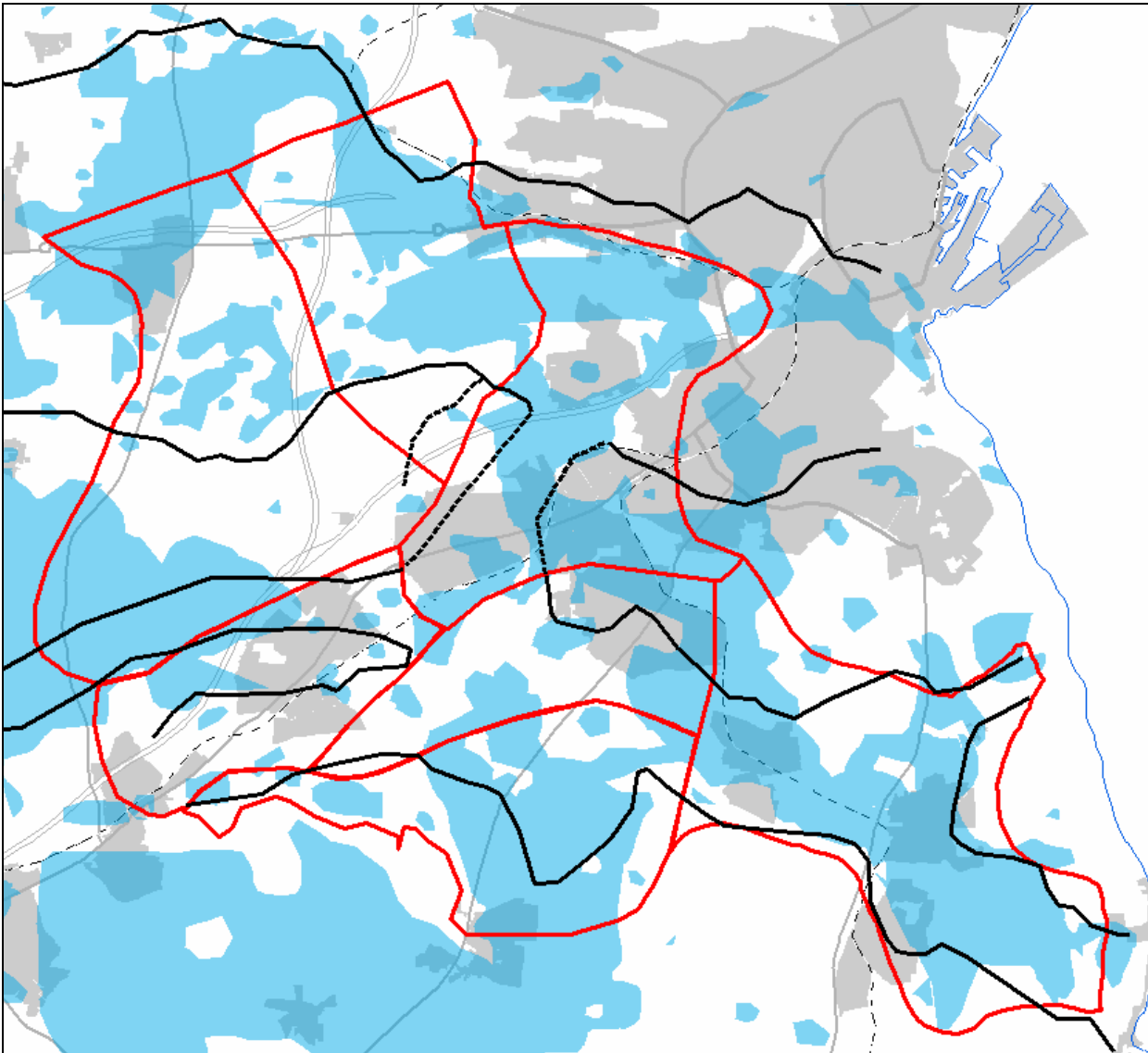
De fremstillede magasinkort er sammenholdt med den geologiske tolkning, der er foretaget i forbindelse med opstilling af den hydrogeologiske model for Århus Syd-området. Alt overvejende er der en god overensstemmelse mellem magasinudbredelsen, som den er tolket i forbindelse med Basisanalysen, og den geologiske tolkning udført i Århus Syd-området i forbindelse med denne kortlægning. Der er dog enkelte områder, hvor de to tolkninger afviger. Det er overvejende i områder, hvor især boringstætheden er lille. I disse områder vil det være nødvendigt med flere boringsdata for mere nøjagtigt at kunne fastlægge magasinudbredelsen.



Figur 6.4.1. Med grøn farve er angivet den forventede placering af øvre grundvandsmagasiner i Aarhus Syd-området. De begravede dale i området er angivet med sort streg. Fokusområdet og indsatsområderne er vist med rød streg.

Det øvre grundvandsmagasin (fig. 6.4.1) er sammensat af dels de mere overfladenære grundvandsmagasiner, der lokalt kan have begrænset udbredelse dels af de øverste 20 m af de mere regionalt udbredte og mægtige grundvandsmagasiner. De øvre grundvandsmagasiner kan således have en betragtelig udbredelse, mens udbredelsen andre steder er mere begrænsede. Der kan være en risiko for, at vandkvaliteten er dårlig, især hvor disse magasiner ligger nær overfladen og uden betydende grundvandsbeskyttelse. De nedlagte vandværker i området er i mange tilfælde beliggende, hvor grundvandet indvindes overfladenært.

Beliggenheden af det nedre magasin er vist i figur 6.4.2, der gengiver den dybere del af magasinerne, fra 20 m under grundvandsspejlet. De nedre grundvandsmagasiner i området vil være vigtige at basere den fremtidige vandforsyning på, især i de kvartære aflejringer i de begravede dalstrukturer. De dybe magasiner vil alt andet lige også være bedre beskyttet mod aktiviteter på overfladen end de øvre magasiner. Komplicerede strømningsforhold i undergrunden kan dog medføre transport af nitrat og andre forurenende stoffer til de dybe magasiner.



Figur 6.4.2. Med blå farve er angivet den forventede placering af dybere grundvandsmagasiner i Århus Syd-området. De begravede dale i området er angivet med sort streg. Fokusområdet med rød streg.

Der er ikke i alle de dybe begravede dale et magasin i stor dybde. Aflejringsforholdene og energiniveauet i det strømmende vand der i sin tid afsatte sedimenterne i dalene kan have bevirket, at der mange steder kun findes tynde lag med groft sand og nogle tykkere lag med finkornet sand eller smeltevandsler. Som eksempel skal det nævnes, at borer i den vestlige del af Beder-Mårslet-Stilling dalen indikerer, at dette område er domineret af lerede aflejringer (jf. manglende magasin i figur 6.4.2).

6.5 Arsen, klorid og fluorid i grundvandet

I dette afsnit beskrives den regionale fordeling af arsen, klorid og fluorid i grundvandet i Århus Syd-området. De 3 stoffer (arsen, klorid og fluorid) kan stamme fra forskellige kildebjergarter, og deres udbredelse kan dermed afhænge af den geologiske opbygning af undergrunden i Århus Syd-området.

Arsen

Tidligere undersøgelser (Århus Amt, 2002 og 2004) har vist, at Århus Syd-området udgør et risikoområde for et højt indhold af arsen i grundvandet. Det hænger sandsynligvis sammen med, at de sandede grundvandsmagasiner i Århus Syd findes i begravede dale, hvor bunden af magasinerne består af fedt tertiært ler.

Afgørende faktorer for højt arsenindhold i grundvandet

Et højt indhold af arsen i grundvandet skyldes antagelig en kombination af flere faktorer, hvoraf de vigtigste er:

- Tilstedeværelse af arsenrig kildebjergart
- Reducerede forhold i grundvandsmagasinet
- Lav cirkulation/lille grundvandsgennemstrømning i magasinet

Disse 3 faktorer vurderes til at være afgørende for det høje arsenindhold, der findes i grundvandet flere steder i den begravede Brabranddal.

Arsenkoncentrationer i grundvandet

I kapitel 5 (Vandværker og vandindvinding) fremgår det, at ca. 60 % af de undersøgte indvindingsboringer og 5 % af de aktive vandværker i Århus Syd-området har overskridelser af grænseværdien for arsen i drikkevandet på 5 µg/l. Det samme resultat fremkommer, når alle (128 stk) målte boringer (indvindingsboringer, undersøgelsesboringer, markvandingsboringer etc.) i Århus Syd-området betragtes (se tabel 6.5.1). Her er der nemlig også overskridelse af grænseværdien på 5 µg/l i ca. 60 % af boringerne med råvandsanalyser. Det laveste målte arsenindhold i råvandet i Århus Syd-området er på <0,03 µg/l (detektionsgrænsen), mens den højeste værdi (ved seneste analyse) er på 42 µg/l. Den gennemsnitlige arsenkoncentration i råvandet er på ca. 8 µg/l.

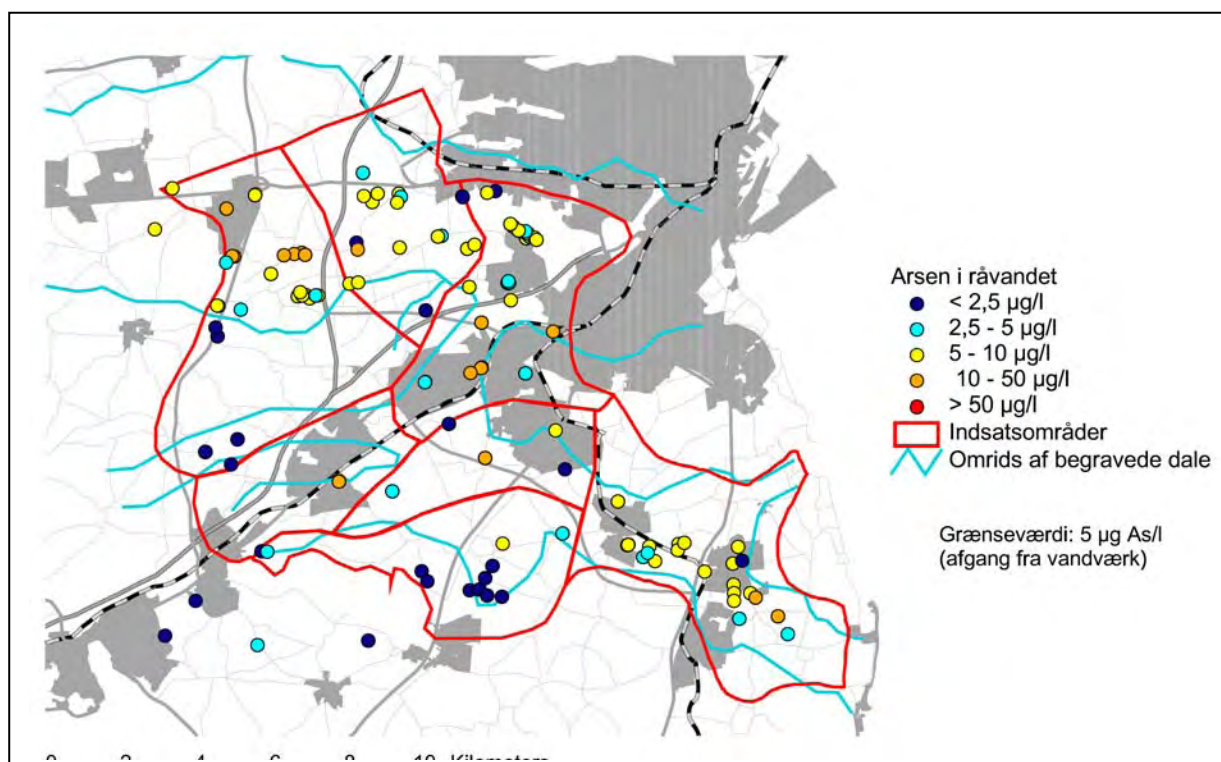
Sammenlignet med hele Århus Amt, hvor der er overskridelser på ca. 23 % af alle undersøgte boringer med råvandsanalyser (Århus Amt, 2004), så er koncentrationerne i grundvandet i Århus Syd-området noget højere.

	Råvand (128 boringer)
Min, µg/l	<0,03
Maks, µg/l	42
Middel, µg/l	8,1
Median, µg/l	6,1
% større end 5 µg/l (grænseværdien)	61
% større end 10 µg/l	19
% større end 20 µg/l	9

Tabel 6.5.1 Arsen i råvandet i Århus Syd området. Baseret på seneste analysetal fra samtlige målte boringer i Århus Syd-området. Ved boringer med flere analyser i forskellige dybder er maksimalværdien anvendt. Dato for dataudtræk: april 2005.

Udbredelsen af arsen i grundvandet i området

På figur 6.5.1 ses udbredelsen af arsen i grundvandet i forhold til de kortlagte begravede dale. Det fremgår, at de fleste vandanalyser for arsen er udtaget fra boringer beliggende i de begravede dale. De få boringer, som er placeret uden for de begravede dale (f.eks. indvindingsboringerne ved Ravnholt-Tiset kildeplads), har generelt et lavt arsenindhold. Boringer med et højt arsenindhold er hovedsagelig lokaliseret i de begravede dale. Inden for dalene findes der dog også enkelte boringer, hvor arsenindholdet er lavt. Specielt er arsenindholdet lavt i den begravede Hasselager-Hørning-Jeksendal (se figur 6.5.1).

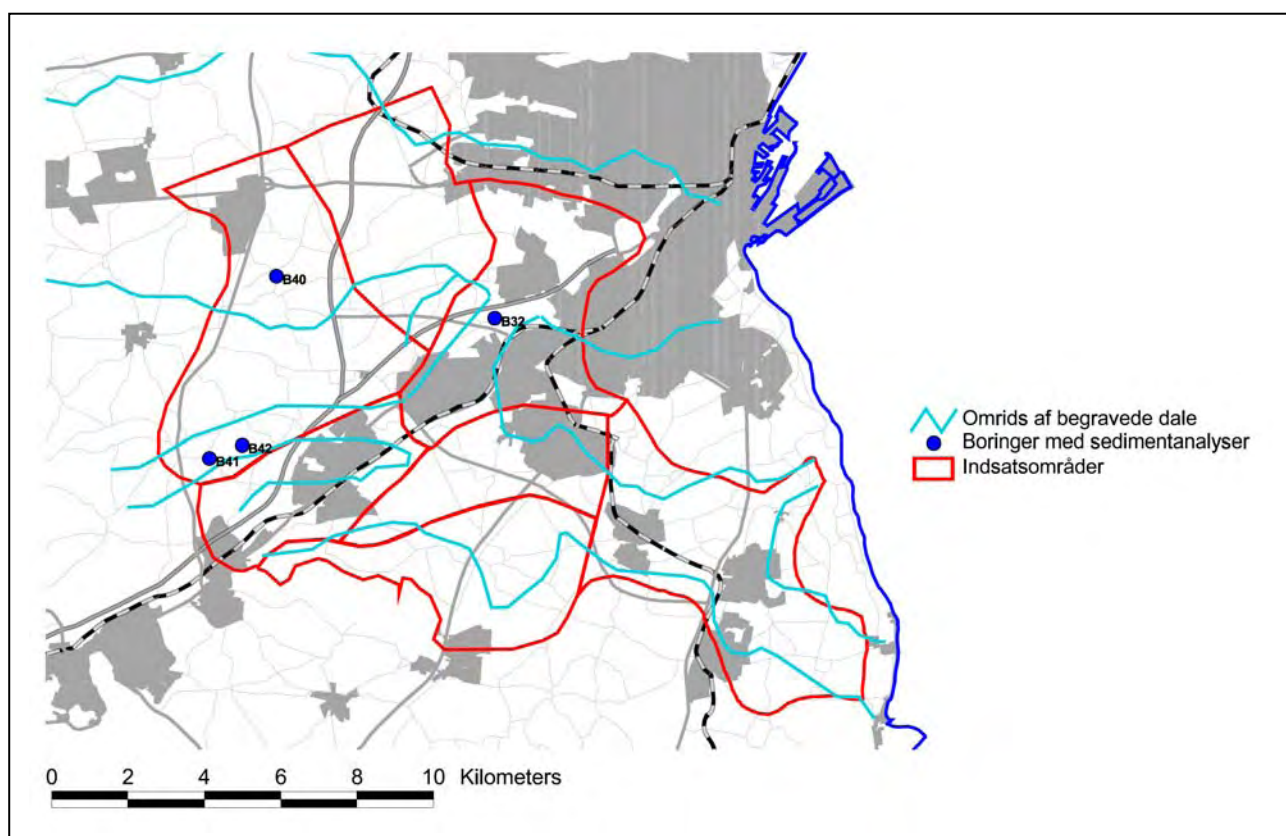


Figur 6.5.1 Arsen i råvandet i Århus Syd-området i alle målte boringer i forhold til de begravede kvartære dale. Resultaterne fra seneste analyse er vist. Dato for dataudtræk: April 2005.

Arsenindholdet i sedimentprøver

Kilden til arsen i grundvandet skal søges i et naturligt højt indhold af arsen i sedimenterne i undergrunden. Arsen er enten indbygget i forskellige sulfidmineraller som f.eks. pyrit og/eller adsorberet på forskellige jern- og manganoxhydroxider. Forvitring og opløsning af jordens mineraler udgør den primære kilde til den store udbredelse af arsen i grundvandet.

Der er lavet sedimentkemiske analyser på 24 udvalgte sedimentprøver fra 4 undersøgelsesboringer i Århus Syd-Fokusområdet (se figur 6.5.2). Resultaterne fra de enkelte boringer er nærmere beskrevet i kapitel 4 afsnit 4.3 og Appendix A.



Figur 6.5.2 Placeringen af de 4 undersøgelsesboringer med sedimentanalyser.

Udover arsenindholdet i pyritfraktionen er pyritindholdet også målt i sedimentprøverne. Disse resultater vil blive beskrevet i kapitel 8 ved beregning af nitratreduktionskapaciteten.

Da undersøgelsesboringerne er udført som lufthæveboringer, er der ikke analyseret for pyritindholdet i jernoxider, som også kan udgøre en kilde til arsen i grundvandet, hvilket resultater fra snegleboringer fra Århus Nord-kortlægningen viste (Århus Amt, 2004b). Det skyldes, at der sandsynligvis er kontaminering fra boremudderet, der er brugt under udførelsen af lufthæveboringerne, på denne parameter.

Geologisk enhed (antal prøver)	Redoxforhold for hver sedimentprøve	As (pyrit) mg/kg
Kvartær smeltevandssand (14)	9 reduceret, 5 oxideret	<0,3 – 10
Kvartær smeltevandsler (3)	3 reduceret	2,2 – 5,7
Kvartær moræneler (2)	2 reduceret	0,6 – 6,3
Miocæn sand (1)	1 reduceret	1,3
Miocæn silt (1)	1 reduceret	11
Eocæn ler (2)	2 reduceret	3,3 - 3,8
Kalk (1)	1 reduceret	2,2

Tabel 6.5.2 Sedimentanalyser for arsen pyritfraktionen i forskellige geologiske enheder fra 4 lufthæveboringer (se figur 6.5.2) i Århus Syd-Fokusområdet. I parentes er angivet antallet af sedimentprøver.

Arsen findes i mange forskellige typer geologiske aflejringer med stor variation fra bjergart til bjergart. I tabel 6.5.2 ses variationen i indholdet af arsen i pyritfraktionen i de undersøgte geologiske aflejringer i Århus Syd-Fokusområdet. Det skal bemærkes, at der ikke er lige mange prøver fra hver geologisk enhed, idet analyser af det kvartære smeltevandssand (14 analyser) er overrepræsenteret i forhold til de andre geologiske enheder (1-3 analyser).

Det højeste indhold af arsen i pyritfraktionen (11 mg/kg) er fundet i en enkelt prøve af Miocæn silt. Indholdet i smeltevandssandet varierer fra <0,3 – 10 mg arsen per kg. Indholdet af arsen i pyritfraktionen i de to sedimentprøver fra det Eocæne ler er relativt lavt (3,3-3,8 mg/kg). Til sammenligning blev der i Oligocæne aflejringer og kvartære moræneaflejringer i Århus Nord-kortlægningen fundet et højt indhold af arsen på omkring 15 mg/kg. I en anden tidligere undersøgelse (Århus Amt, 1992) blev der fundet et højt indhold af arsen på ca. 41 mg/kg i 2 prøver fra Vejle Fjord Formationen (Oligocæn ler).

Ved sammenligning af indholdet af arsen i grundvandet og arsenindholdet i pyritfraktionen ved de 4 undersøgte boringer (tabel 6.5.3), ses det, at der ikke er nogen umiddelbar sammenhæng. Resultaterne indikerer, at høje koncentrationer af arsen i grundvandet altså ikke er sammenfaldende med høje koncentrationer af arsen i sedimentet. Dette indikerer, at der må være andre faktorer, end en arsenrig kildebjergart, som er afgørende for en høj koncentration af arsen i reduceret grundvand.

En mulig medvirkende årsag, til det høje arsenindhold i grundvandet ved Gl. Harlev, kan være en lille cirkulation i magasinet og dermed lav grundvandsgennemstrømning. Dette øger reaktionstiden for forvitring af arsen, som dermed skaber et højt arsenindhold i grundvandet. Dette understøttes af følgende resultater (fremgår af tabel 6.5.3):

1. De mineralogiske og petrografiske analyser viser en lille grad af kalkudvaskning ved boringen ved Gl. Harlev (DGU nr. 88.1350)
2. Simuleringer med grundvandsmodellen (model 25. feb.) fra kapitel 7 viser en forholdsvis lille grundvandsgennemstrømning ved boringen ved Gl. Harlev (DGU nr. 88.1350) sammenlignet med de 2 boringer i Hasselager-Hørning-Jeksen dalen (DGU numre: 88.1346 og 88.1344).

Lokalitet	Begravet dal	Borings nr.	DGU nr.	Arsen i pyrit-fraktion mg/kg	Arsen i grundvandet µg/l	Udvaskning af ustabil kalk-fraktion (Sesam, 2005)	Simuleret grundvandsgennemstrømning (model 25. feb) m/år
Lemming	Stautrup-Hasselager dalen	B32	89.1610	<0,3 – 10	÷	÷	ca. 0,8
Gl. Harlev	Brabrand-dalen	B40	88.1350	0,2 - 5,7	9 - 26	Lav	ca. 0,8
Jeksen	Hasselager-Hørning-Jeksen dalen	B41	88.1346	<0,3 - 3,3	0,5 - 4	Stor	ca. 4,0
Adslev, Jeksen	Hasselager-Hørning-Jeksen dalen	B42	88.1344	0,4 – 11	2,5 – 3,6	Stor	ca. 4 – 7

Tabel 6.5.3 Sammenligning af variationen i arsenindholdet i pyritfraktionen med arsenindholdet i grundvandet ved de 4 undersøgte lufthæveboringer i Århus Syd-Fokusområdet vist på figur 6.5.2. Desuden er vist den simulerede grundvandsgennemstrømning i de vandførende lag i boringen med grundvandsmodellen (model 25. feb.) fra kapitel 7 og en vurdering af kalkudvaskningen af den ustabile fraktion fra Sesam (2005).

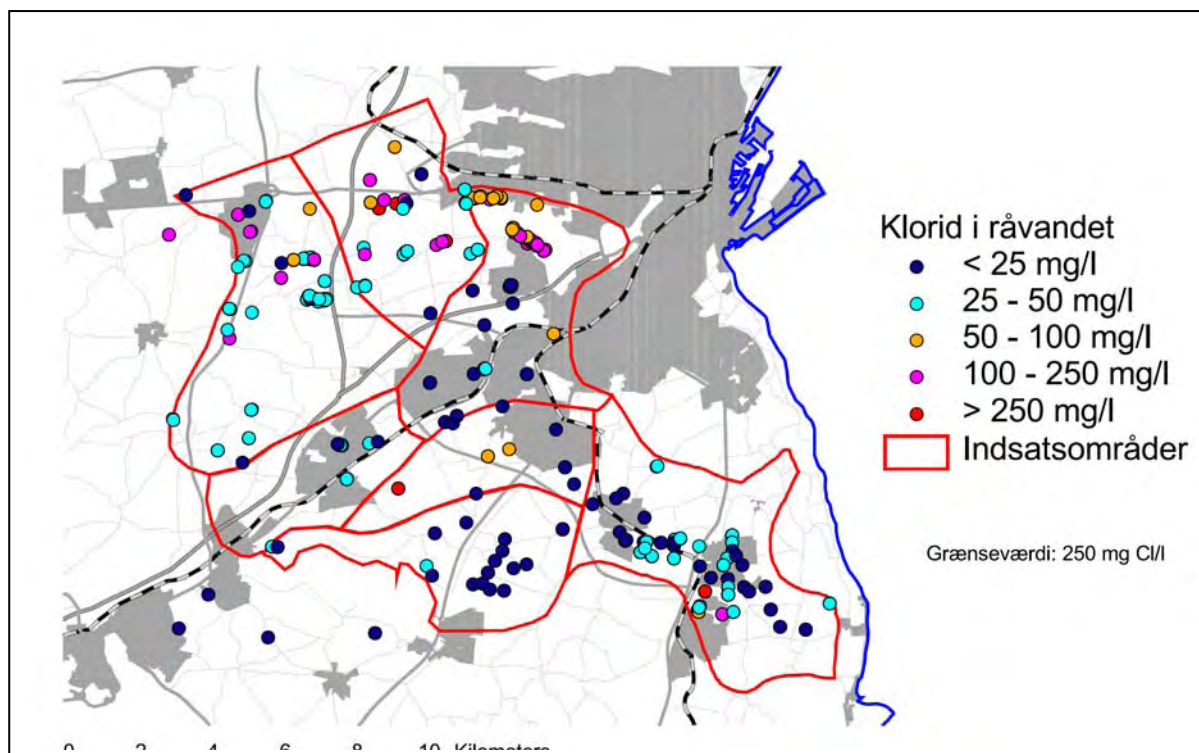
Klorid

Udbredelse af klorid i grundvandet i området

På figur 6.5.3 ses udbredelse af klorid i grundvandet i Århus Syd-området. Boringer med et højt kloridindhold er hovedsagelig lokaliseret til den begravede Brabranddal, hvor der er målt op til 1300 mg klorid pr. l (på den nedlagte Årslev-kildeplads). Der findes også 2 andre områder i Århus Syd-området, hvor der er målt et højt kloridindhold, nemlig en enkelt lokalitet ved Hørning (undersøgelingsboring B34, DGU nr. 98.1128, op til 280 mg Cl/l) og området omkring den nordlige del af Malling og sydlige del af Beder (f.eks. er der er målt op til 450 mg Cl/l i boringen med DGU nr. 99.499). I samme område er der fundet bruntfarvet grundvand med et højt indhold af organisk stof (højt permanganattal) i nu nedlagte boringer ved Mallingværket. Det organiske stof i grundvandet skyldes antagelig en afsmitning fra jordlag i grundvandsmagasinet med et særligt højt indhold af organisk stof.

De saltvandspåvirkede boringer ligger tæt på boringer, som ikke er saltvandspåvirkede. Dette må skyldes den komplekse geologi i området som resultat af hyppige skift i de geologiske aflejringsmiljøer inden for selv korte afstande.

Saltvand i grundvandet i Århus Syd-området skyldes enten tilstedeværelsen af marine, saltholdige aflejringer eller difussion fra det underliggende saltholdige grundvand. Det formodes, at forekomsten af høje koncentrationer af klorid i grundvandet i Århus Syd-området mange steder sandsynligvis skyldes residualt saltvand, som endnu ikke er udvasket af magasinerne, og som stammer fra marine transgressioner i interglaciale perioder.



Figur 6.5.3 Klorid i råvandet i Århus Syd-området i alle målte boringer. Resultaterne fra seneste analyse er vist. Dato for dataudtræk: april 2005.

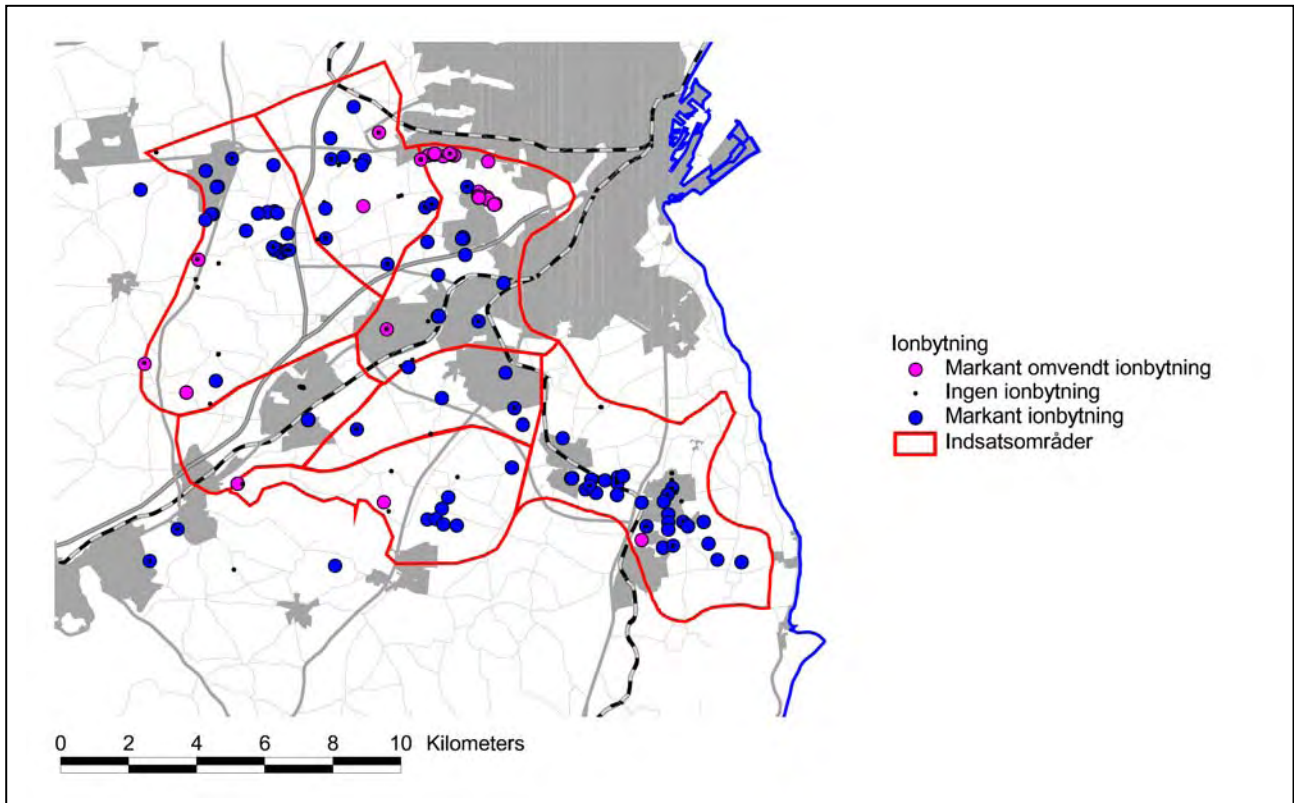
Ionbytning

Ionbytningen beregnes som forholdet mellem antal ækvivalenter af natrium og klorid. Parameteren beskriver ionbytning mellem Ca/Mg og Na.

En ionbytning tæt på 1 indikerer, at der er ligevægt mellem grundvandets og sedimentets indhold af salt. Dette er tilfældet flere steder i Århus Syd-området (se figur 6.5.4).

En høj ionbytning indikerer, at grundvandet er blevet mere ferskt med tiden, idet natriumioner, der blev bundet til sedimentet under de mere salte forhold, frigives til grundvandet, når natriumkoncentrationen falder i det gradvis mere ferske porevand. I dette tilfælde bindes Ca/Mg fra grundvandet til sedimentet, mens Na frigives. I Århus Syd-området er der en markant ionbytning (ionbytning > 1,25) mange steder i grundvandsmagasinerne (se figur 6.5.4). Dette skyldes antagelig ionbytning mellem det ferske grundvand og marine saltholdige lerede tertiære aflejringer.

Omvendt ionbytning finder steder, når saltvand fortrænger ferskvand. Da bindes natrium fra grundvandet til sedimentet, mens Ca/Mg frigives. Der er en markant omvendt ionbytning (ionbytning < 0,75) i den østlige del af Brabranddalen (Figur 6.5.4), hvor der også er et højt kloridindhold i grundvandet (Figur 6.5.3). Dette skyldes sandsynligvis diffusion fra det underliggende saltholdige grundvand. Desuden er der markant omvendt ionbytning på enkelte lokaliteter spredt fordelt i Århus Syd-området (Figur 6.5.4), hvor der samtidig ikke er et højt kloridindhold i grundvandet (figur 6.5.3).



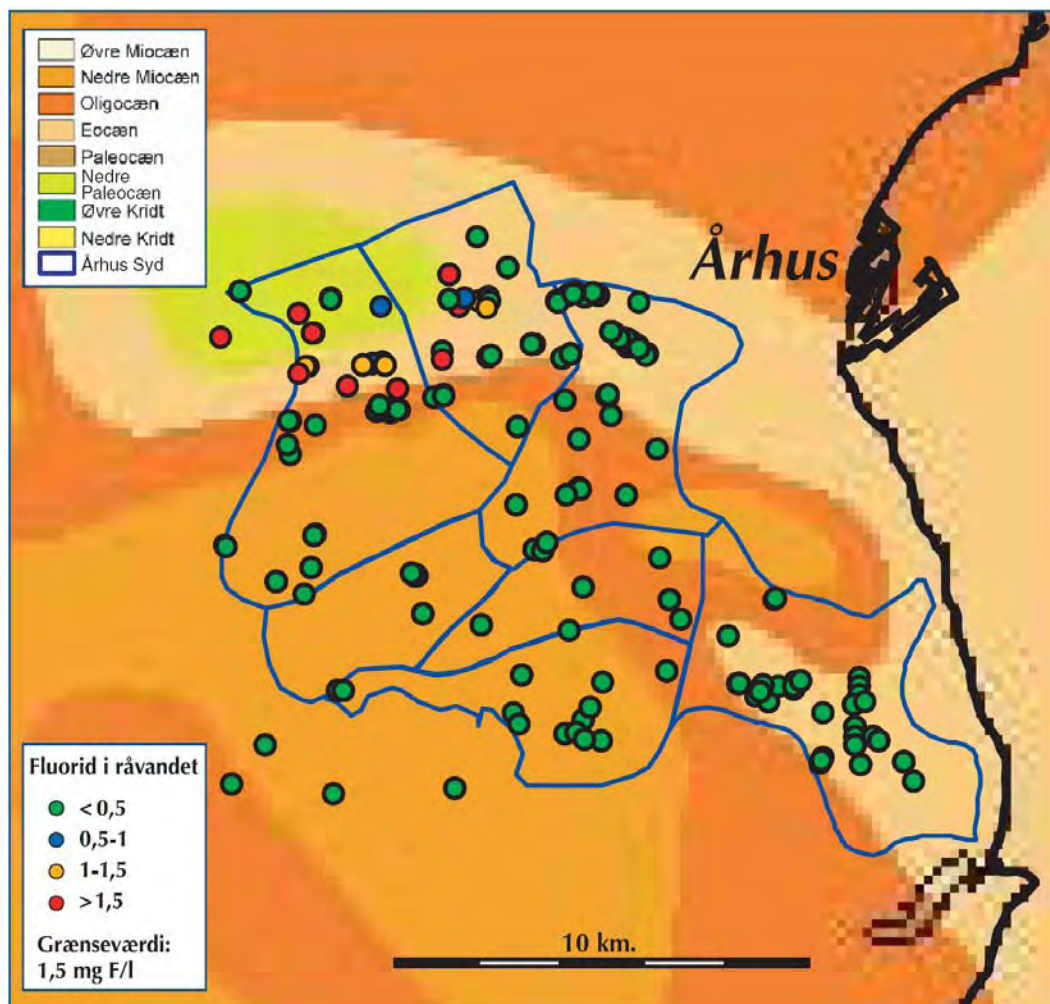
Figur 6.5.4 Ionbytning af råvandet i Århus Syd-området i alle målte borer. Beregnes som forholdet mellem ækvivalenteer af natrium og klorid. Resultaterne fra seneste analyse er vist. Dato for dataudtræk: april 2005.

Fluorid

På figur 6.5.5 ses udbredelsen af fluorid i grundvandet i Århus Syd-området. Boringer med et højt fluoridindhold er hovedsageligt lokaliseret til den vestlige del af den begravede Brabranddal, hvor der er målt koncentrationer op til 4 mg/l.

Fluoridforekomster skyldes en kombination af ældre stagnerende vand og påvirkning fra carbonataflejringer med fluoridholdige mineraler såsom fluorit og apatit (Laursen og Kærgaard Bjerre, 2002).

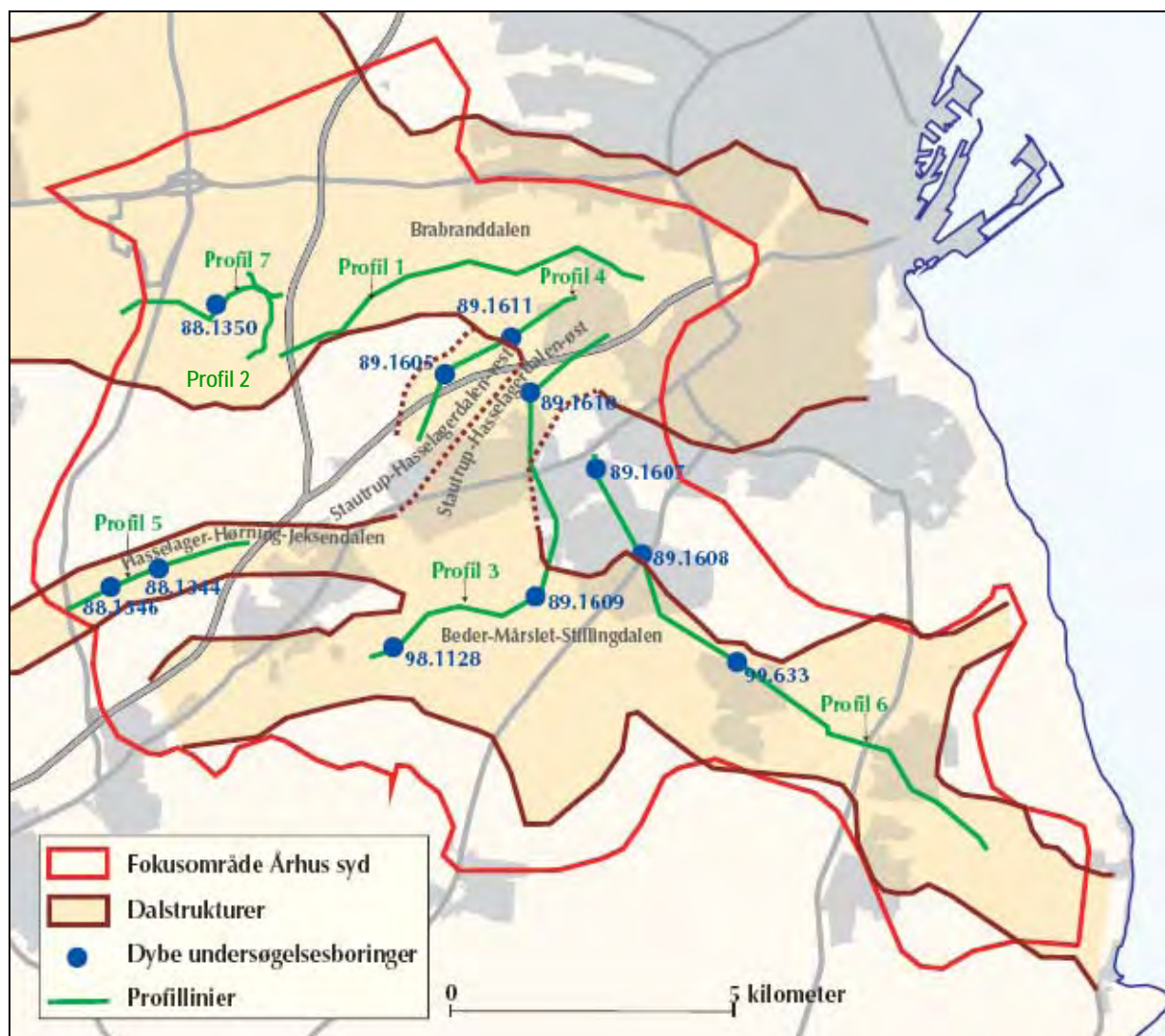
Det fremgår af figur 6.5.5 at det høje fluoridindhold i grundvandet i den vestlige del af Brabranddalen er sammenhængende med forekomsten af kalkaflejringer umiddelbart under grundvandsmagasinet i dette område. Udbredelsen, af de høje fluoridkoncentrationer i grundvandet i dette område indikerer, at kalkoverfladen ligger forholdsvis højt lidt længere mod øst, end det regionale kort fra Varv (1992) viser (Figur 6.5.5).



Figur 6.5.5 Fluorid i råvandet i Århus Syd-området i alle målte boringer. Resultaterne fra seneste analyse er vist. Dato for dataudtræk: april 2005. Desuden er vist undergrunden omkring Århus Syd området (Varv, 1992).

6.6 Geologisk og vandkemisk kompleksitet

Med det formål at give et indtryk af den geologiske og vandkemiske kompleksitet i Århus Syd-Fokusområde er der udvalgt 7 profilsnit fra dette område (fig 6.6.1). De 7 profilsnit er defineret så samtlige de større kildepladser samt OSD-boringer i Fokusområdet er medtaget. I det efterfølgende bliver de udvalgte profilsnit beskrevet både med hensyn til den geologiske opbygning og med hensyn til grundvandets kemiske sammensætning. De valgte snit er karakteristiske for områdets geologi og vandkemi, men giver dog ikke en fuldstændig dækning af alle sider af geologien og vandkemi i området.



Figur 6.6.1 Oversigtskort, der viser beliggenheden af de geologiske og vandkemiske profilsnit, som omtales i teksten.

Profil 1

Brabranddalen – Stautrupværket

Profil 1 (figur 6.6.1) løber overvejende fra vest mod øst fra Brabranddalens sydligste skråning og gennem de centrale og dybeste dele af dalstrukturen. Profilet passerer Ormslev Vandværk i vest, går forbi Constantinsborg og Storskoven kildepladser og ender mod øst ved Stautrupværkets indvindingsboringer. Figur 6.6.2,a viser et tolket geologisk profil, mens Figur 6.6.2,b viser et skematisk vand- og geokemisk profil.

Datagrundlag

Beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.2,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.2,b) bygger primært på oplysninger fra indvindingsboringerne ved Ormslev Vandværk og indvindingsboringer ved Constantinsborg-, Storskoven- og Stautrup-kildepladserne. De 3 sidstnævnte kildepladser hører til Stautrupværket (ÅKV).

Geologi

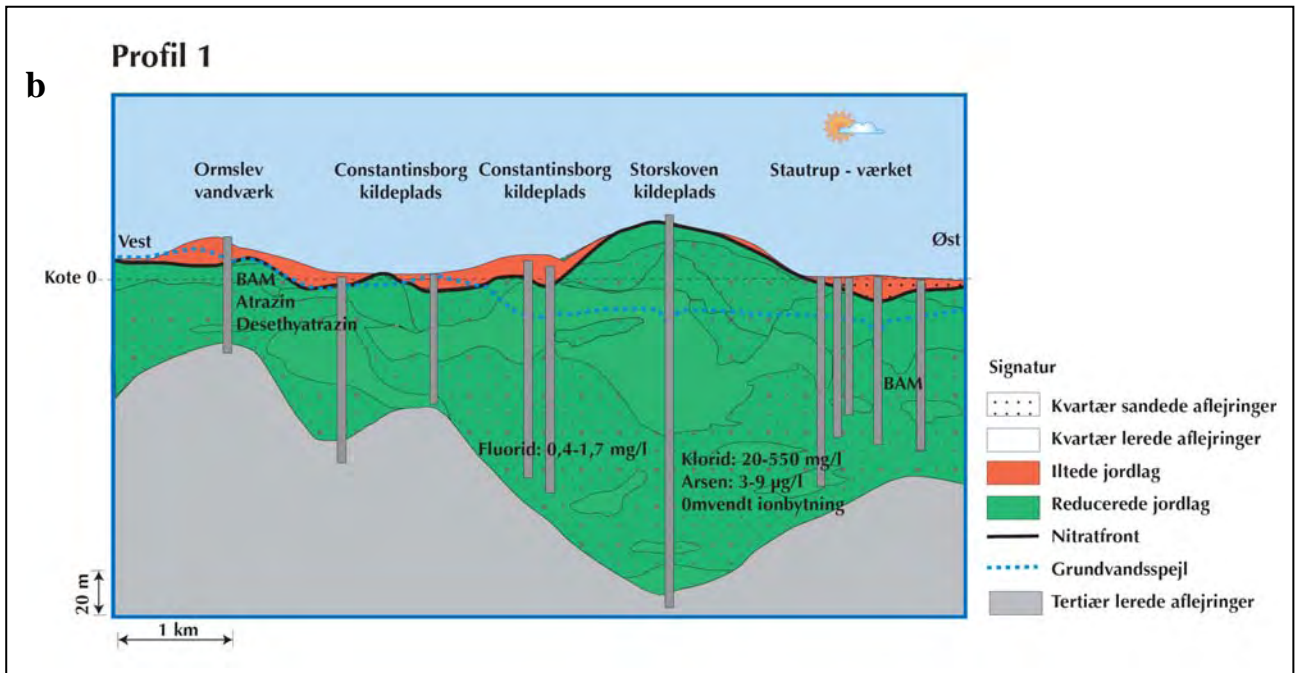
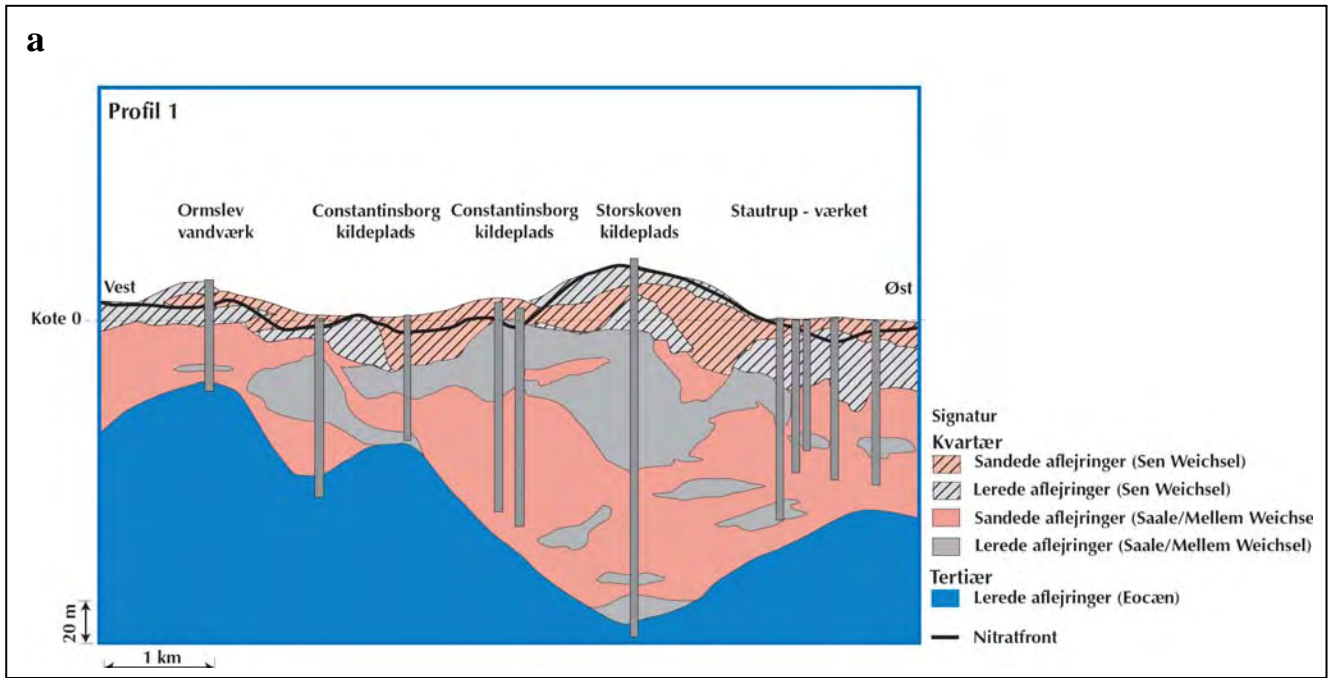
Profilsnittet er tegnet så det strækker sig fra Brabranddalens sydligste skråning og hen over de centrale dele af dalen. Derfor varierer mægtigheden af de kvartære aflejringer langs profilet. Mod vest ved Ormslev Vandværk ses en omkring 80 m mægtig kvartær lagpakke, mens der i den centrale del af Brabranddalen ved Storskoven Kildeplads er påvist mere end 160 m kvartære sedimente. På profilet fremgår det, at det ikke alene er de mægtigste kvartære aflejringer, der findes i de centrale dele af Brabranddalen. Det er også her de mægtigste sandforekomster er gennemboret, og at disse mægtige sandforekomster optræder i de dybeste dele af dalstrukturen. På Figur 6.6.2,a er alderen på de kvartære aflejringer angivet. De dybest liggende, og dermed ældste, kvartære aflejringer er angiveligt af Saale/Mellem Weichsel alder, mens de yngste er af Sen Weichsel alder. De kvartære aflejringeres alder er tolket på baggrund af dateringerne (SESAM, 2005) af de geologiske lag i de boringer, der står i Stautrup-Hasselagerdalene. Den tolkede alder af sedimenterne i Brabranddalen er dermed behæftet med nogen usikkerhed. Den nøjagtige mægtighed af de kvartære aflejringer er ligeledes noget usikker, da dybden til de tertiære aflejringer ikke er veldokumenteret ud fra boringerne, men udelukkende beror på oplysninger fra tolkningen af geofysiske TEM-data.

Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra boringerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser at lerdæklagene flere steder langs profilet er usammenhængende og tynde (< 15 meter i de øverste 30 meter).

Grundvandspotentialet viser sænkninger ved kildepladserne: Ved Stautrupværkets kildepladser, hvor grundvandspotentialet er ca. i kote -15, og ved Ormslev Vandværk er grundvandspotentialet ca. i kote 10.

På Figur 6.6.2,a og b fremgår det, at nitratfronten ligger mindre end 15 meter under terræn langs profil 1 med den største nedtrængningsdybde ved Ormslev-, Constantinsborg- og Stautrup-kildepladser. Ved optegning af nitratfronten på profilet, er det antaget, at nitratfronten ved de 3 kildepladser er trængt længere ned, end de oprindelige farvebeskrivelser fra indvindingsboringer viser. Det skyldes det forhøjede sulfatindhold (op til 220 mg/l) i flere af indvindingsboringerne fra disse 3 kildepladser, som indikerer en forceret omsætning af pyrit i boringernes nærhed på grund af den kraftige indvinding med dannelse af sænkningstragt på grundvandsspejlet.



Figur 6.6.2 a: Tolket geologisk profil og b: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 1 ved Brabranddalen

Det formodes desuden, at nitratfronten ikke er trængt mere end få meter ned ved Storskoven-kildepladsen på grund af tilstedeværelsen af et mere udbredt lerdæklag.

Profilet (Figur 6.6.2,b) viser, at der sandsynligvis er nitrat i de øvre grundvandsmagasiner, ved Ormslev- og Constantinsborg-kildepladser. Ved både Constantinsborg- og Stautrup-kildepladser er sulfatindholdet højt og stigende/fluktuerende i flere boringer. Dette indikerer en risiko for at nitrat også vil kunne trænge ned i det nedre grundvandsmagasin. Dog er det vurderet, at der ikke, under de nuværende indvindingsforhold, er risiko for nitrat og anden forurening i den nederste del af det sandede grundvandsmagasin, som der indvindes fra ved Storskoven-kildeplads.

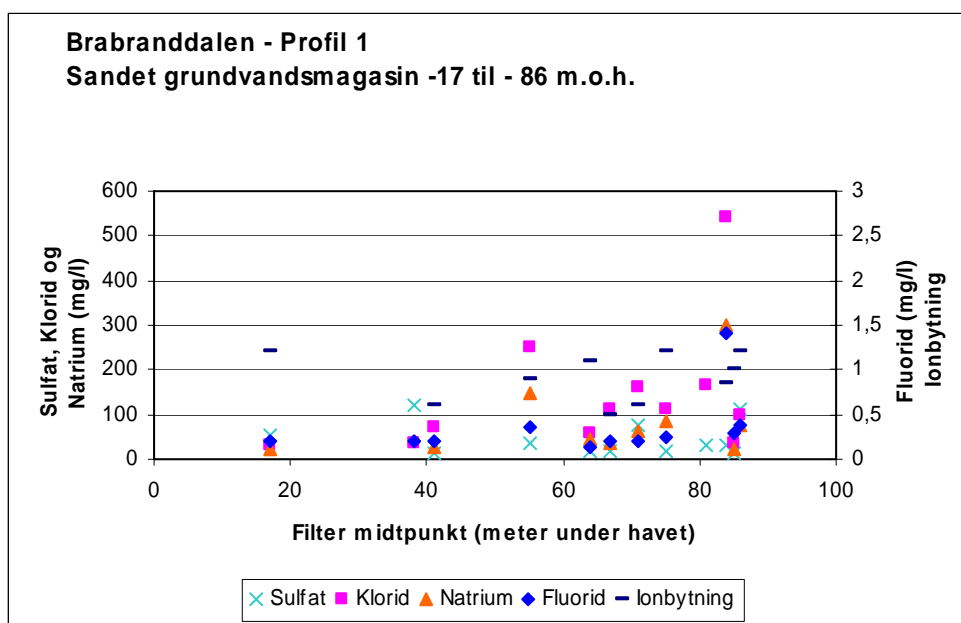
Fund af pesticider i det øverste grundvand

Det øvre grundvand er påvirket af pesticider i Brandbranddalen ved profil 1. Der er fundet pesticiderne BAM, atrazin og desethylatrazin ca. 20 meter under terræn ved Ormslev Vandværk i en nu nedlagt indvindingsboring. Desuden er der fund af BAM i to indvindingsboringer ved Stautrupværket, der indvinder fra 30-55 meter under terræn.

Kemisk tilstand af det nederste grundvandsmagasin

Det nederste grundvandsmagasin, ved profil 1, som der indvindes fra ved Ormslev Vandværk og Stautrupværkets kildepladser, indeholder reduceret til stærk reduceret grundvand af vandtype C og D.

Kloridindholdet er relativt lavt (ca. 30-50 mg/l) i den vestlige del af Brandbranddalen ved profil 1, hvor der indvindes i et øvre niveau fra kote ca. ÷17 til ÷40. (se Figur 6.6.2,b og Figur 6.6.2,c). I den østlige del af profil 1, ved Stautrupværkets kildepladser er kloridindholdet generelt højere og meget varierende (ca. 20-550 mg/l). Her indvindes fra et dybere niveau i det sandede grundvandsmagasin nemlig fra kote ca. ÷40 til ÷86.



Figur 6.6.2,c Udvalgte parametre fra udvalgte boringer ved profil 1 ved Brabranddalen - Stautrupværket. Bemærk enheden på x-aksen, meter under havet.

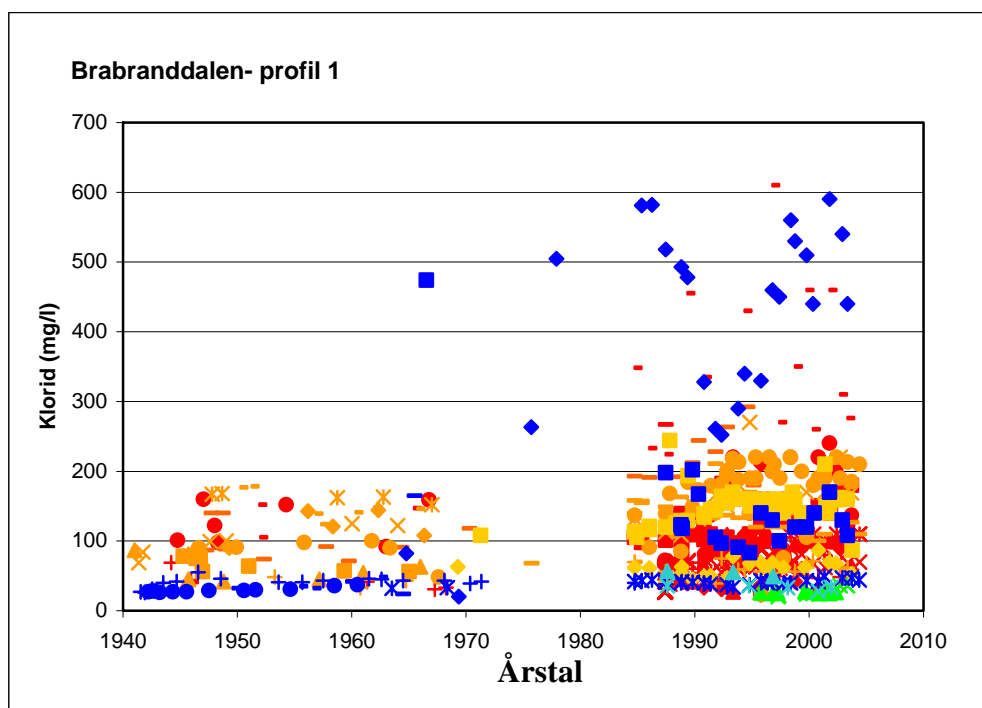
Figur 6.6.2,d viser tidsudviklingen i bl.a. kloridindholdet i samtlige indvindingsboringer (aktive og sløjfede) i Brabranddalen ved profil 1. Det fremgår af figuren at:

1. Kloridindholdet er forholdsvis konstant i mange boringer
2. Enkelte boringer udviser stor variation i kloridindholdet ved Stautrup- og Constantinsborg-kildepladsen
3. Storskoven-kildepladsen har et konstant og lavt kloridindhold
4. I enkelte boringer er der en tendens til et stigende kloridindhold med tiden

Grundvandsmagasinet er dermed i større eller mindre grad præget af saltvand. Dette formodes at være residualt saltvand, som endnu ikke er udvasket af magasinet og som stammer fra marine transgressioner i interglaciale perioder. Saltindholdet i grundvandet kan også stamme fra diffusion fra det underliggende saltholdige grundvand, da der i flere boringer er beregnet et ionbytningsindex mellem 0,5-0,6. Dette indikerer, at grundvandet er omvendt ionbyttet, og at saltvand fortrænger ferskvand.

De saltvandspåvirkede boringer ligger tæt på de boringer, som ikke er saltvandspåvirkede. Dette må skyldes den komplekse geologi i området, som er et resultat af hyppige skift i de geologiske aflejringsmiljøer inden for korte afstande. Fluktuationen i kloridindholdet afspejler derfor sandsynligvis en naturlig variation i grundvandsgennemstrømningen i sedimenterne, som påvirkes af den varierende pumpeintensitet på de forskellige indvindingsboringer.

Natrium- og kloridindholdet er afhængige af hinanden, og natrium er også forhøjet i boringerne med højt kloridindhold og varierer mellem ca. 20-150 mg/l.



Figur 6.6.2,d. Udviklingen i kloridindholdet (mg/l) i samtlige aktive og sløjfede boringer ved Ormslev Vandværk og Stautrupværket, som ligger ved profil 1. Signaturforklaring: Rød, orange og gul: Stautrup-kildepladsen, grøn: Storskoven-kildepladsen, blå: Constantinsborg-kildepladsen og turkis: Ormslev-kildepladsen. Bemærk at de forskellige signaturer refererer til forskellige boringer.

I grundvandsmagasinet ved profil 1 er der desuden et forhøjet arsenindhold på ca. 3-9 µg/l, som dermed ligger lavere end det arsenindhold, der findes længere vestpå i Brabranddalen ved profil 2 og 7 (Harlev). Dog er der fundet et højt arsenindhold i den dybeste indvindingsboring ved Ormslev Vandværk på ca. 20 µg/l.

Fluoridindholdet ligger generelt lavt i grundvandsmagasinet og varierer omkring ca. 0,15-0,35 mg/l. Dog er der i en af boringerne ved Constantinsborg-kildeplads fundet et højt og fluktuerende fluoridindhold på ca. 0,4-1,7 mg/l, som kan indikere tilstedeværelsen af nærtliggende kalkholdige aflejringer.

Hydraulisk kontakt mellem grundvandsmagasinerne ved kildepladserne?

Af det geologiske profilsnit (Figur 6.6.2,a) fremgår det, at der er overvejende sandede aflejringer i de dybeste dele af grundvandsmagasinerne, som der indvindes fra på de 3 kildepladser ved Stautrupværket. Der er dog relativ store forskelle i specielt sulfat-, klorid- natrium- og fluoridindholdet mellem indvindingsboringerne inden for selv små afstande. Dette kan pege på flere magasiner med begrænset hydraulisk kontakt forårsaget af en meget komplekst opbygget geologi med flere skift mellem sand- og lerlag, end det tolkede geologiske profil angiver. Grundvandskvaliteten påvirkes også af den fluktuerende indvinding på de enkelte boringer.

Samlet vurdering

De tynde og usammenhængende lerdæklag ved profil 1 indikerer, at grundvandsmagasinerne er sårbare over for forurening. Forhøjet sulfatindhold i flere af boringerne viser, at der er risiko for, at nitrat også vil kunne trænge ned i det nedre sandede grundvandsmagasin, som der indvindes fra. Det øvre grundvand er flere steder påvirket af pesticider, mens det nedre grundvand flere steder er saltpåvirket med et varierende og højt indhold af klorid og natrium.

Profil 2

Brabranddalen – Åboværket

Profilsnit 2 (figur 6.6.1) løber på tværs af Brabranddalen og er et relativt kort overvejende nord mod syd orienteret profil omtrent vinkelret på profil 7. Profilet passerer mod nord indvindingsboringerne ved Harlev kildeplads og mod syd borerne ved Åbo Kildeplads. Figur 6.6.3,a viser et tolket geologisk profil, mens Figur 6.6.3,b viser et skematisk vand- og geokemisk profil på tværs af Brabranddalen.

Datagrundlag

Beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.3,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.3,b) bygger primært på oplysninger fra indvindingsboringerne fra Harlev-kildepladsen og Åbo-kildepladsen begge hørende til Åboværket (ÅKV).

Geologi

Opbygningen af den kvartære lagserie ved såvel Harlev som Åbo kildeplads er kompleks, hvor relativt mægtige leraflejringer veksler med de sandede aflejringer. Ved Harlev kildeplads er de terrænnære aflejringer overvejende sandede, den mellemste del af den gennemborede lagserie er domineret af moræner, som så igen afløses af smeltevandssand i den dybeste del af profilet. Ved Åbo kildeplads er de overfladenære lag domineret af lerede sedimenter som nedad går over i smeltevandssand med indslag af moræne- og smeltevandsler. Aflejringerens alder er tolket nederst til at være af Saale/Mellem Weichsel alder. Disse overlejres af aflejringer af Sen Weichsel alder (fig. 6.6.3,a). Aldersbestemmelserne er baseret på en korrelation af alderstolkningen fra OSD-boringen med DGU nr. 88.1350 (SESAM, 2005), som ses i det nærtliggende profil 7.

For hele profilsnittets længde gælder det, at den tertiære overflades beliggenhed er meget usikkert bestemt, da ingen af de udførte borer anbror aflejringer, som er ældre end kvartær.

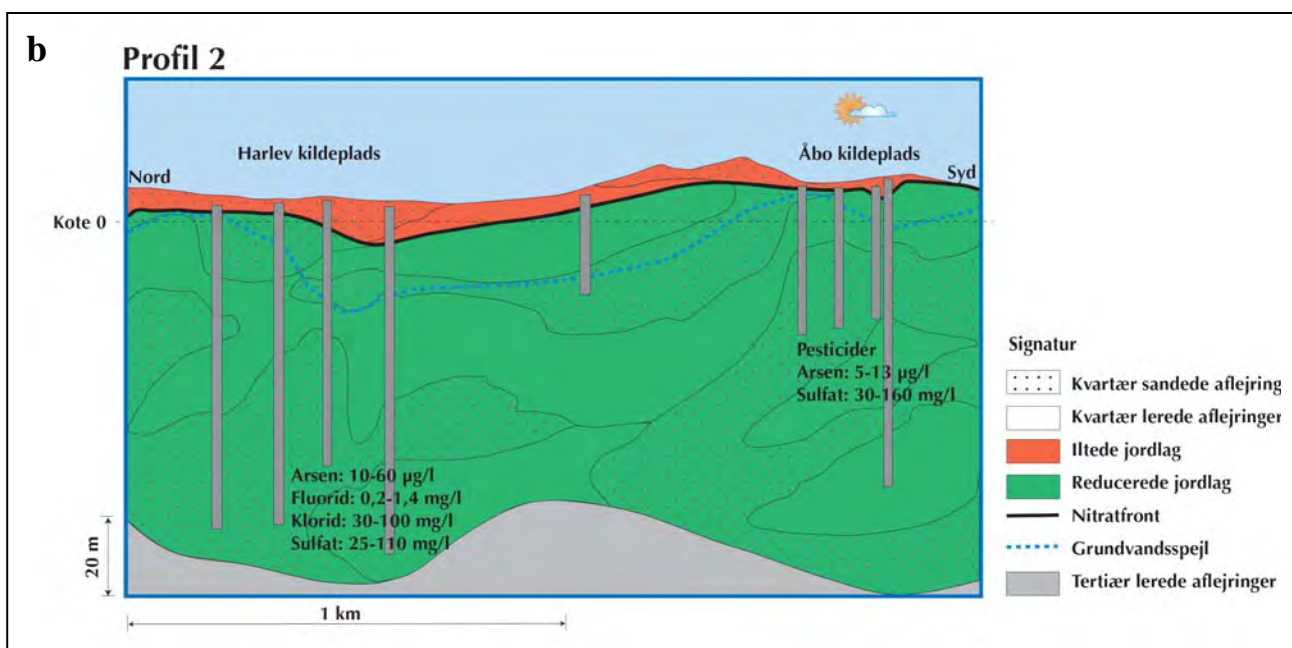
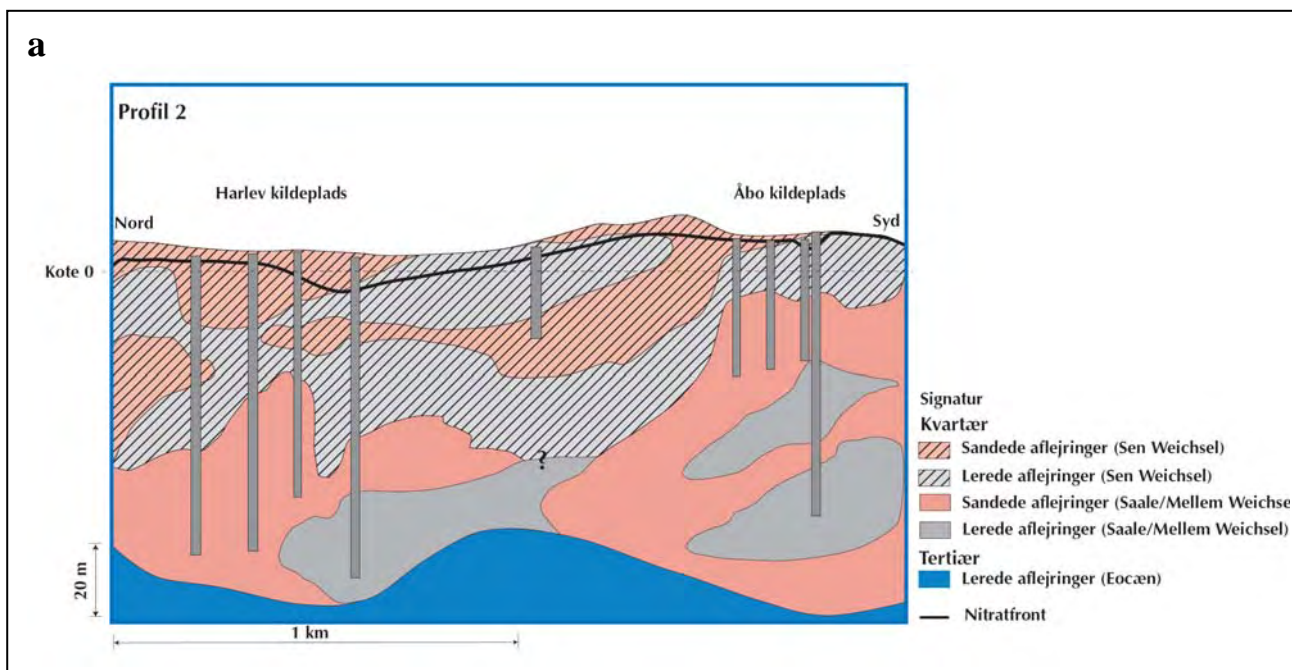
Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra borerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser at lerdæklagen omkring de 2 kildepladser er usammenhængende med lille lagtykkelse (< 15 meter i de øverste 30 meter). Mellem kildepladserne viser de geofysiske målinger og enkelte borer, at der kan optræde mere sammenhængende lerede lag i den øverste del af lagserien.

Grundvandspotentiallet langs profilet viser sænkninger ved de to kildepladser. Ved Harlev-kildeplads er grundvandspotentiallet omtrent 30 meter under terræn, mens det er omtrent 10 meter under terræn ved Åbo-kildepladsen.

Nitratfronten ligger mindre end ca. 10 meter under terræn med den største nedtrængningsdybde ved de to kildepladser. Ved optegning af nitratfronten på profilet er det antaget, at nitratfronten ved de to kildepladser er trængt længere ned end de oprindelige farvebeskrivelser fra indvindingsboringer viser. Det skyldes det forhøjede sulfatindhold i flere af indvindingsboringerne, som indikerer en forceret omsætning af pyrit i borerne nærhed på grund af den kraftige indvinding med dannelse af sænkningstragt på grundvandsspejlet.

Profilet (Figur 6.6.3,b) viser, at der sandsynligvis ikke er nitrat i de grundvandsmagasiner, der indvindes fra ved de to kildepladser, da grundvandsspejlet ligger under nitratfronten. Ved flere af indvindingsboringerne er sulfatindholdet dog højt og stigende. Dette indikerer en risiko for, at nitrat vil kunne trænge ned i grundvandsmagasinerne i fremtiden på grund af den kraftige indvinding.



Figur 6.6.3 a: Tolket geologisk profil og b: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 2 ved Brabranddalen.

Kemisk tilstand af grundvandsmagasinet ved Åbo-kildeplads

Magasinet ved Åbo-kildeplads har vandtype C med et sulfatindhold på ca. 30-160 mg/l. Flere af borerne har et højt og stigende sulfatindhold. Derfor er forvittringsindexet også relativt højt (1,1-

1,5). Dette kan skyldes den allerede omtalte intensive og forcerede vandindvinding, som accelererer omsætningen af nitrat med pyrit i indvindingsboringerne nærhed.

Kloridindholdet er lavt i alle borerne (ca. 25-35 mg/l), og grundvandet er ikke ionbyttet. Desuden er der et forhøjet indhold af methan, og jernindholdet ligger højt med værdier op til ca. 3,7 mg/l.

I magasinet er der fund af pesticiderne BAM, dichlorprop, mechlorprop og 4-CPP. Specielt er indholdet af 4-CPP over grænseværdien i flere indvindingsboringer ved den seneste analyse fra 2004.

Arsenindholdet i magasinet ved Åbo kildeplads ligger mellem ca. 5-13 µg/l, som er over grænseværdien på 5 µg/l.

Kemisk tilstand af grundvandsmagasinet ved Harlev-kildeplads

Magasinet ved Harlev-kildeplads har vandtype C med et sulfatindhold mellem ca. 25-110 mg/l. Sulfatindholdet er dermed lavere end ved Åbo Kildeplads. Der ses en tendens til et stigende sulfatindhold i 2 borer.

Kloridindholdet er højere og mere fluktuerende ved Harlev Kildeplads (ca. 30-100 mg/l) end ved Åbo Kildeplads (ca. 25-35 mg/l). Grundvandet er ionbyttet (ionbytningsindex: 2-2,9), og der er dermed sket ionbytning mellem calcium i den vandige fase med natrium i det saltholdige sediment. Fluoridindholdet (ca. 0,2-1,4 mg/l) er højt i magasinet.

I magasinet ved Harlev Kildeplads er der et meget højt indhold af arsen (10-60 µg/l), som er væsentligt højere end grænseværdien på 5 µg/l og niveauet ved Åbo-kildeplads. Jernindholdet i magasinet ved Harlev Kildeplads er samtidig lavere end ved Åbo Kildeplads (ca. 0,8 mg/l).

Arsen fjernelse på Åboværket

Arsen i råvandet kan fjernes ved vandbehandlingen. En god fjernelse afhænger i høj grad af et højt jernindhold i råvandet. Det skyldes, at arsen bindes til jernoxider under udfældningen. Dette forhold udnyttes på Åboværket, idet et højt jernindhold fra magasinet ved Åbo kildeplads bidrager til at fjerne det høje arsenindhold fra magasinet ved Harlev kildeplads.

Hydraulisk kontakt mellem Åbo- og Harlev-kildeplads?

Det kan diskuteres, om der er hydraulisk kontakt mellem de sandede grundvandsmagasiner af Saale/Mellem Weichsel alder ved Åbo- og Harlev-kildeplads på grund af sparsomme geologiske oplysninger. Vandkemien ved de to kildepladser adskiller sig fra hinanden på flere kemiske parametre, og det kan afspejle, at der ikke er hydraulisk kontakt mellem magasinerne. Forskellen, der er observeret i vandkemien, kan også skyldes, at der ved Harlev kildeplads indvindes fra dybereliggende kvartære aflejringer end ved Åbo kildeplads. Således kan magasinet ved Harlev være umiddelbart underlejret af tertiære enheder, som det fremgår af figur 6.6.3,a, som har en afsmittende virkning på vandkemien.

Samlet vurdering

I magasinerne ved profil 2 (Harlev og Åbo kildepladser) er der risiko for et højt naturligt indhold af arsen, fluorid og klorid i grundvandet. Samtidig er der fund af flere pesticider og et højt og stigende

sulfatindhold i flere boringer ved begge kildepladser. Dette indikerer, at magasinerne også er sårbare over for forurening med bl.a. nitrat og pesticider.

Profil 3

OSD-boringer og Stautrup-Hasselagerdalen-øst

Profil 3 er lavet med det formål at illustrere geologien og vandkemien såvel i nærheden af de to OSD-boringer DGU nr. 98.1128 og 89.1609, som i Stautrup-Hasselagerdalen-øst (se profil 6.6.1). Profilet krydser dale og plateauer i området, hvorfor forløbet af den tolkede tertiære overflade fremstår ujævn. Profilet passerer Hasselager Kolt Vandværk, Skovvej. I den nordlige del af profilet, hvor profilsnittet nærmer sig Brabranddalen ses, at både terrænoverfladen og den tertiære overflade falder mod nord. Dette godtgør, at Brabranddalen skal betegnes som en delvist begravet dal. Figur 6.6.4,a viser den tolkede geologi, mens Figur 6.6.4,b viser vand- og geokemien skematisk langs profilet.

Datagrundlag

Beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.4,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.4,b) bygger på oplysninger fra indvindingsboringerne fra det private Hasselager Kolt Vandværk, Skovvej samt de 3 OSD-boringer med DGU numrene: 98.1128 (B34), 89.1609 (B31) og 89.1612 (B43). Derudover er der inddraget en række andre boringer til tolkning af geologien.

Geologi

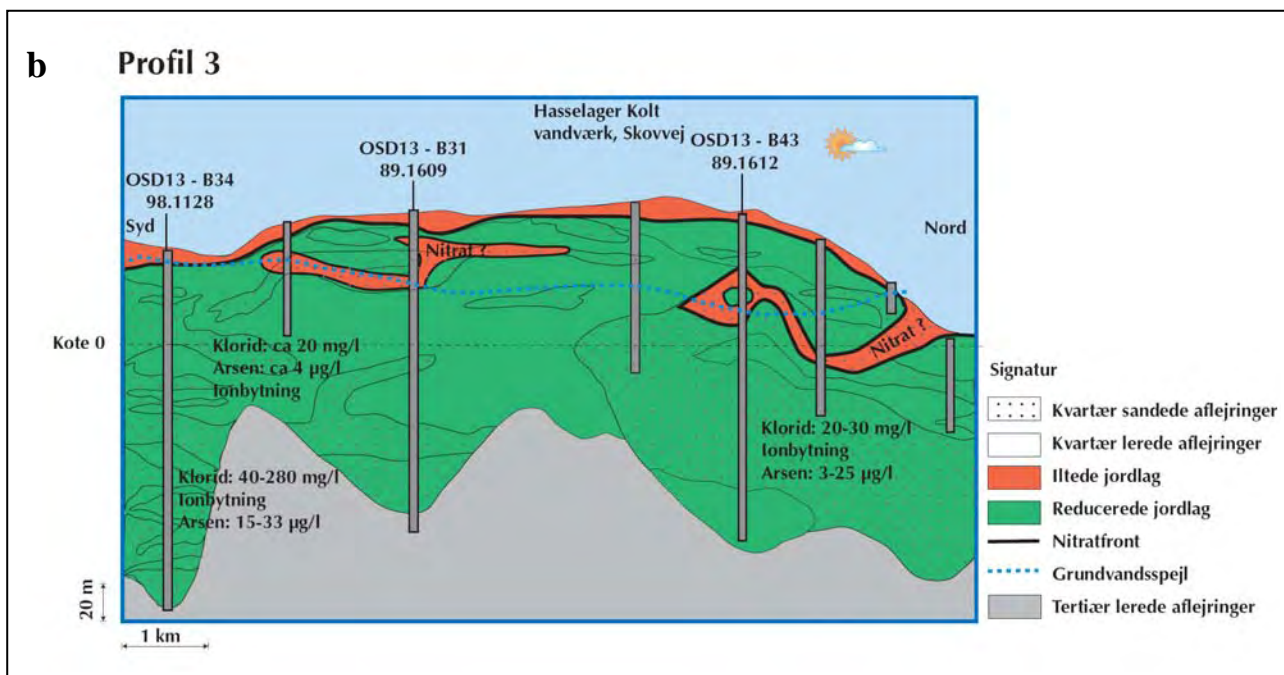
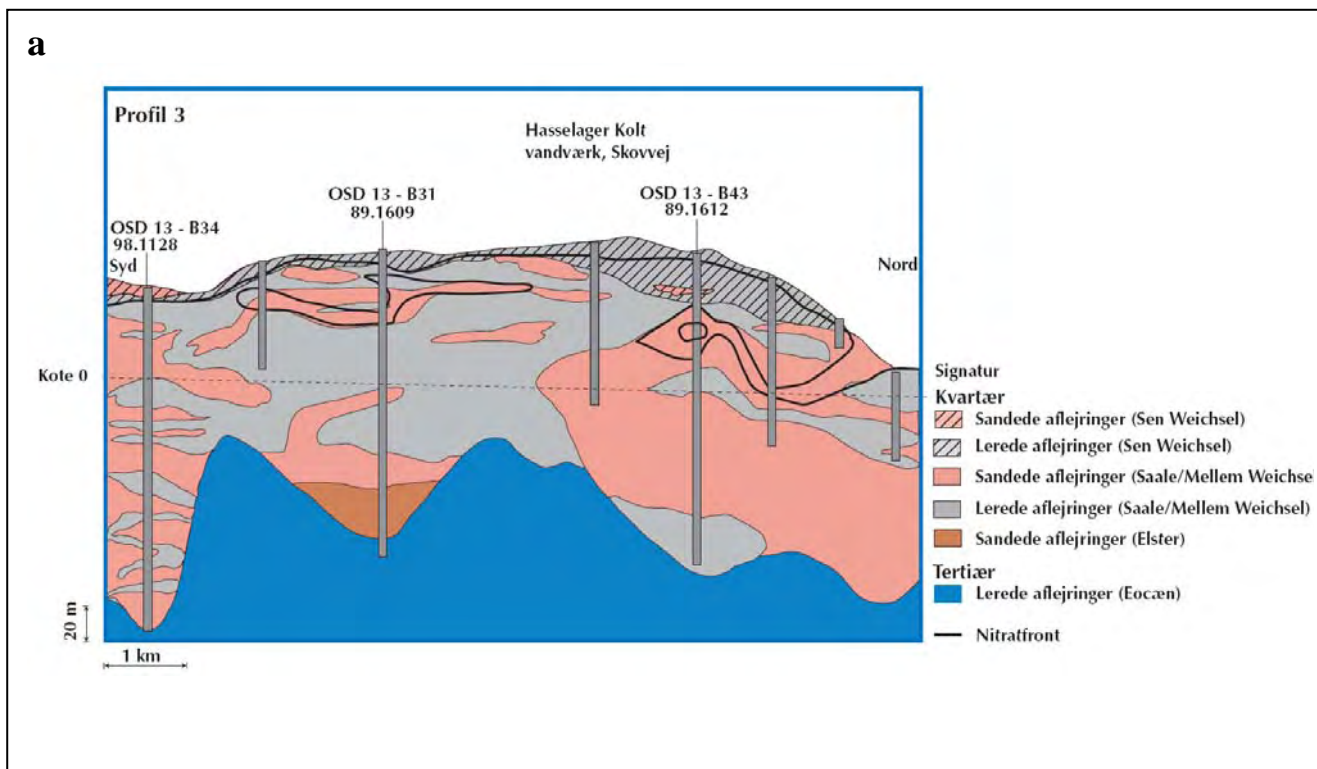
De to OSD-boringer DGU nr. 98.1128 og 89.1609 længst mod syd i profilsnittet er placeret i den vestlige og mindre veldefinerede del af Beder-Mårslet-Stillingdalen. Den sydligst beliggende boring DGU nr. 98.1128 har gennemboret næsten 200 m kvartære aflejringer som i den dybeste del hovedsageligt består af kvartære aflejringer afsat ved skred- og flydeprocesser (SESAM, 2005). Længere mod nord indikerer boringerne, at lagserien bliver mere lerrig og OSD-boring DGU nr. 89.1609 har påvist næsten 120 m smeltevands- og moræneler der overlejrer bare 45 m smeltevandssand. Hermed er noget af den geologiske kompleksitet i Århus Syd-Fokusområdet fint illustreret. Det er således ikke alle mægtige kvartære forekomster, der er sandrige.

Længst mod nord strækker profilet sig ind gennem Stautrup-Hasselagerdalen-øst. OSD-boring DGU nr. 89.1612 er placeret i den sydligste del af denne dalstruktur. Boringen gennemborer i alt omkring 170 m kvartære aflejringer, hvoraf ca. 110 m overvejende består af smeltevandssand. Boring 89.1612 er således boret til kote ca. -110 m uden at påvise den tertiære overflade.

Langs profilet varierer alderen af de kvartære sedimenter fra Elster over Saale/Mellem Weichsel til aflejringer fra Sen Weichsel nedisningen som de yngste kvartære sedimenter. Aflejringerne fra Sen Weichsel underinddeles i Fårup Stadiet (NØ-isen) og Højvang Stadiet (ungbalten) (SESAM, 2005). Profilet gengiver mod nord en geologisk opbygning i Stautrup-Hasselagerdalen-øst, som tilsvarende den geologi, der karakteriserer den centrale del af Brabranddalen. Dog er det muligt, at de kvartære aflejringer i Stautrup-Hasselagerdalen stedvis er mere sanddominerede end de tilsvarende aflejringer i dele af Brabranddalen.

Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra boringerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser, at lerdæklagen er forholdsvis tykke (> 15 meter i de øverste 30 meter) langs profil 3. Dog er der 2 mindre områder, hvor lerdæklagen er tyndere (< 15 meter i de øverste 30 meter) i den sydlige del af profilet.



Figur 6.6.4a: Tolket geologisk profil og **b**: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 3 ved OSD-boringer og Staurup-Hasselagerdalen-øst.

Grundvandspotentialer viser et svagt fald fra syd mod nord. På grund af de mange skiftende sand- og leraflejringer, og fordi profilet krydser flere forskellige dalstrukturer, så veksler grundvandsspejlet mellem at være spændt eller frit. Tykkelsen på den umættede zone varierer ved

profilet. I den sydlige og nordlige del er grundvandsspejlet tæt på terræn og den umættede zone derfor begrænset. I den centrale del af profil 3 når den umættede zone en maksimal udbredelse på ca. 50 meter.

På Figur 6.6.4,b fremgår det, at nitratfronten er tæt på terræn langs store dele af profil 3. Farveskiftene i sedimentet fra de undersøgte boringer indikerer dog, at der antagelig 2 steder forekommer kontakt til geologiske vinduer, hvor nitraten er trængt dybere ned i jordlagene. Den dybeste nitratfront (60 meter under terræn), er fundet ved OSD-boringen med DGU nr. 89.1612 (B43). Disse vurderinger er alene baseret på farveskift i sedimentet, da der ikke findes direkte målinger af nitratholdigt grundvand fra boringerne langs profil 3.

Kemisk tilstand af de dybeste grundvandsmagasiner

De dybeste grundvandsmagasiner langs hele profilet har reduceret til stærkt reduceret grundvand af vandtype C-D, hvor sulfatindholdet varierer fra ca. 20-50 mg/l.

Der er stor variation i kloridindhold langs profilet. De steder, hvor kloridindholdet er lavt, ligger niveauet på ca. 20-30 mg/l. Men i de dybeste sydligste magasiner, ved OSD-boringer med DGU numrene 98.1128 (B34) og 89.1609 (B31), er der et højt kloridindhold på 40-280 mg/l. Aldersdateringen af de kvartære sedimenter viser, at der har været gentagne isoverskridelser i området. Disse isoverskridelser kan være afløst af marine transgressioner, som har givet anledning til saltvandsindtrængning i sedimenterne. Det høje kloridindhold kan dermed skyldes, at det residuale saltvand endnu ikke er udvasket i indesluttede lommer i grundvandsmagasinet, hvor strømningshastigheden er lille.

Langs hele profilet viser målingerne at grundvandet er ionbyttet (ionbytningsindex 1,2-2,0). Dette indikerer, at grundvandet er påvirket af lerede marine saltholdige aflejringer.

Arsenindholdet er flere steder højt og varierer fra ca. 3-33 µg/l. De højeste koncentrationer af arsen er tilsyneladende sammenfaldende med en lille kalkudvaskning af den ustabile kalkfraktion i sedimentprøverne fra de 3 undersøgelsesboringer med DGU numrene: 98.1128 (B34), 89.1609 (B31) og 89.1612 (B43) (SESAM, 2005). Dette indikerer en lav grad af cirkulation af grundvandet, som kan være en afgørende faktor for et forhøjet indhold af arsen i grundvandet, idet der herved sker en opkoncentration. Kilden til arsen er formodentlig de tertiære lerede sedimenter.

Hydraulisk kontakt mellem grundvandsmagasinerne

Variationen i vand- og sedimentkemien samt potentialeforskellene langs profil 3 viser, at der antagelig er flere hydraulisk afgrænsede sandede grundvandsmagasiner. Dette er også forventeligt, da profilet er tegnet på tværs af flere adskilte dalstrukturer i Århus Syd-Fokusområdet.

Samlet vurdering

Grundvandskvaliteten afspejler den komplekse geologiske opbygning, ved på forskellig vis at være påvirket af de tilgrænsende lerede aflejringer, residualt saltvand og varierende strømningsforhold i grundvandsmagasinerne.

Profil 4

Stautrup-Hasselagerdalen-vest

Århus Amt har udført to dybe OSD-boringer, DGU nr. 89.1605 (B35) og 89.1611 (B36) i den begravede Stautrup-Hasselagerdalen-vest, som er den ene af to mindre parallelle dalsystemer syd for Brabranddalen. Profilsnit 4 (figur 6.6.1) er tegnet på langs af denne dal fra sydvest mod nordøst. Figur 6.6.5,a viser et tolket geologisk profil, mens Figur 6.6.5,b viser et skematisk vand- og geokemisk profil langs Stautrup-Hasselagerdalen-vest.

Datagrundlag

Geologi, vand- og sedimentkemi i de 2 OSD-boringer: DGU nr. 89.1605 (B35) og 89.1611 (B36) er nærmere beskrevet i Appendix A.

Geologi

De to OSD-boringer DGU nr. 89.1605 og 89.1611 er udført i den begravede dal Stautrup-Hasselagerdalen-vest med en indbyrdes afstand på omkring 1,5 km. Af profil 4 (figur 6.6.5,a) fremgår det, at den tertiære overflade i de to boringer er anboret omkring henholdsvis kote -60 og -80 m. Det er væsentligt højere end den forventede tertiære overflades beliggenhed i Stautrup-Hasselagerdalen-øst, hvor OSD-boring DGU nr. 89.1612 stopper i kote -110 m uden at have påvist tertiære lag. Dette kan betyde, at Stautrup-Hasselagerdalen-vest er knap så dyb som den østligere liggende dal. Alternativt er Stautrup-Hasselager-vest og Stautrup-Hasselager-øst dalene egentlig én sammenhængende bred dal, hvor de to boringer i Stautrup-Hasselagerdalen-vest er placeret nærmere dalskråningen end OSD-boringen i Stautrup-Hasselagerdalen-øst. Det vil som tidligere nævnt (Kap. 6.3) kræve flere detaljerede undersøgelser at kunne fastlægge Stautrup-Hasselagerdalens forløb og dens strukturelle opbygning.

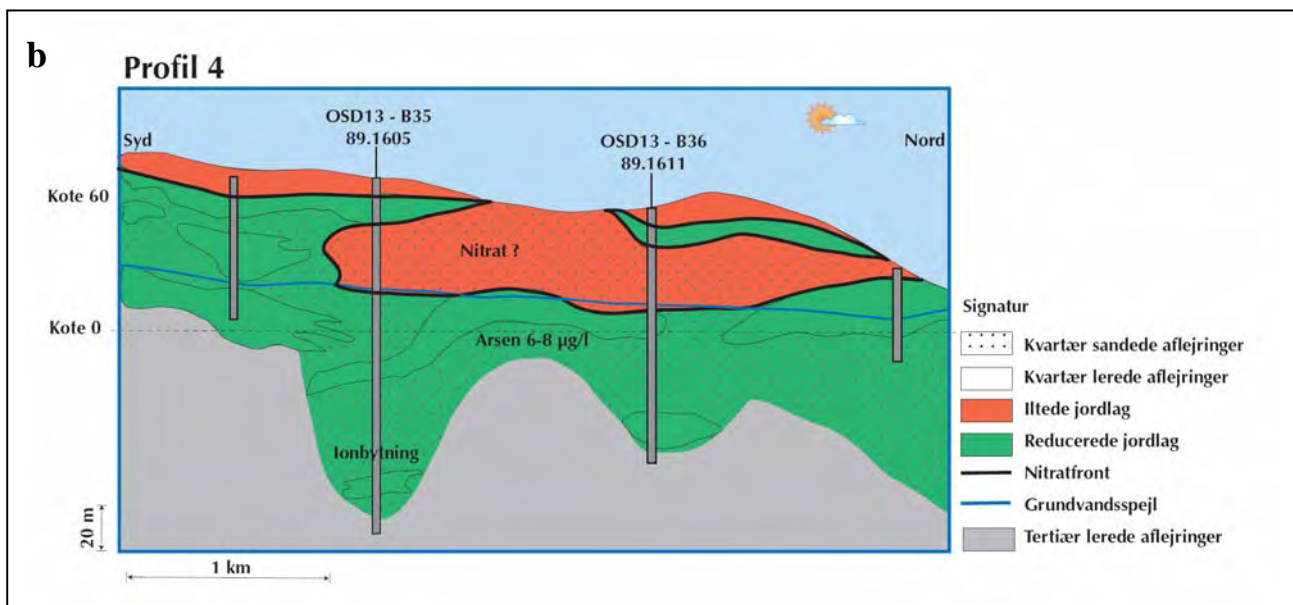
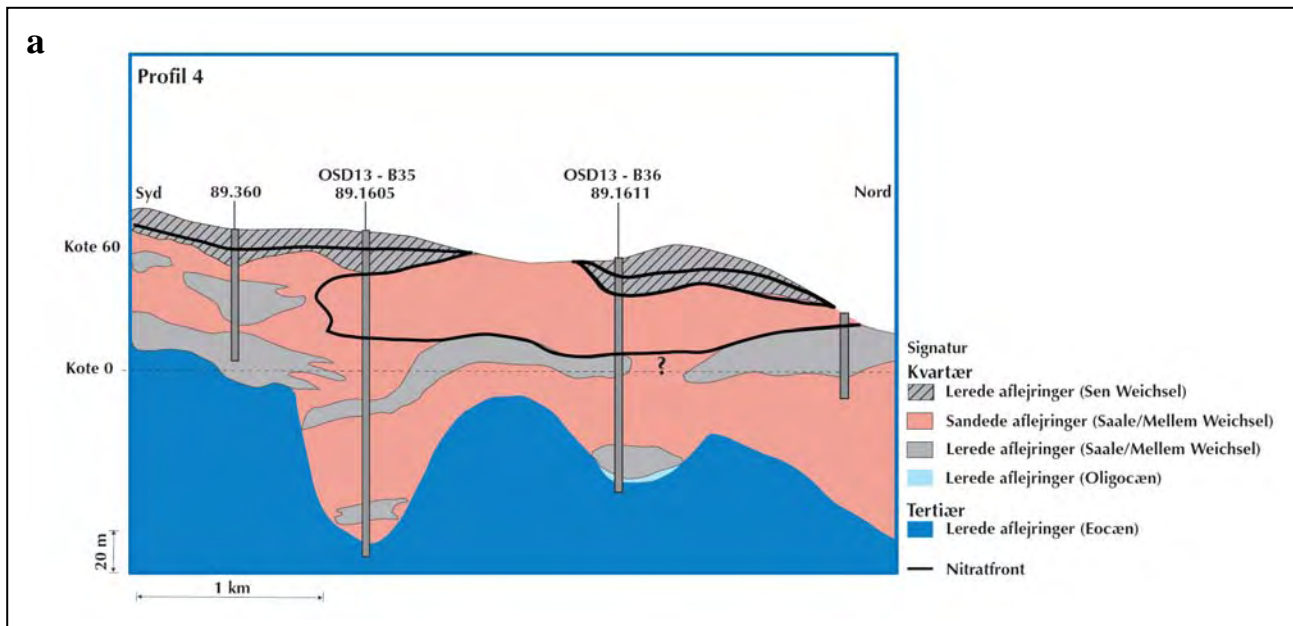
De to dybe OSD-boringer i Stautrup-Hasselagerdalen-vest gennemborer en tyk sekvens af smeltevandssand med en mægtighed på mellem 80 og 100 m. De mægtige sandaflejringer i dalstrukturen står i skarp kontrast til de lerdominerede aflejringer, der kan ses på plateauet syd for dalen illustreret på profil 4 ved boring DGU nr. 89.360 (figur 6.6.5,a). Aflejringerne i de to boringer DGU nr. 89.1605 og 89.1611 er aldersdateret (SESAM, 2005) og består nederst af eocænt og oligocænt ler, der overlejres af sandede og lerede aflejringer af Saale/Mellem Weichsel alder. Øverst i profilet ses lerede aflejringer af Sen Weichsel alder.

Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra boringerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser at lerdæklagene syd for boring DGU nr. 89.1611 er tynde (<15 meter i de øverste 30 meter).

Grundvandspotentiallet varierer fra kote ca. 40 i nordvest til kote ca. 10 i den nordøstlige del af profilet. Den umættede zone er forholdsvis stor, idet grundvandsspejlet ligger ca. 20 - 45 meter under terræn. Farvebeskrivelser af jordlagene i de to undersøgelsesboringer angiver flere farveskift fra rødlige til grålige nuancer i den umættede zone. Dette kan skyldes foretrukken vandbevægelse og kontakt til geologiske vinduer.

Farvebeskrivelserne angiver, at nitratfronten er nået ca. 45 meter under terræn, og det er sandsynligt, at den øvre del af det sandede grundvandsmagasin er nitratholdigt. Der findes dog ikke direkte målinger af nitratholdigt grundvand i området.



Figur 6.6.5, **a**: Tolket geologisk profil og **b**: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 4 ved Staurup-Hasselagerdalen-vest.

De geologiske samt vand- og geokemiske profiler (Figur 6.6.5, a og b) viser, at der sandsynligvis, ved profil 4, er et geologisk vindue, hvor der er risiko for indtrængning af nitrat og anden forurening til grundvandsmagasinet.

Grundvandsmagasinets kemiske tilstand

De to undersøgelsesboringer monitorer begge vandkemi i 3 filtre placeret i det reducerede sandede grundvandsmagasin. De i alt 6 filtre har et meget ensartet kemisk indhold.

Det sandede grundvandsmagasin indeholder reduceret grundvand af vandtype C med et sulfatindhold mellem ca. 20-45 mg/l. Kloridindholdet er lavt og varierer fra ca. 20-30 mg/l. I det

nederste filter i den sydligste undersøgelsesboring DGU nr. 89.1605 (B35) er grundvandet ionbyttet (ionbytningsindex 1,4), hvilket antagelig skyldes påvirkning fra lerede saltholdige marine aflejringer. Det nederste filter er da også placeret lige over det tertiære marine Lillebæltssler, som således kan være ophav til ionbytningen. Arsenindholdet ligger omtrent på 6-8 µg/l i grundvandsmagasinet.

Hydraulisk kontakt

Det vurderes, at der er hydraulisk kontakt langs profilet i den nederste del af det sandede grundvandsmagasin.

Samlet vurdering

Lerdæklagene er relativ tynde ved profil 4, og det vurderes at den øvre del af det sandede grundvandsmagasin er nitratholdigt på grund af kontakt til geologiske vinduer. Vandkemien er meget ensartet i det reducerede grundvand i den nederste del af det sandede magasin. Her ses et lavt klorid- og sulfatindhold. Dog er grundvandet i den sydlige del af profil 4 antagelig påvirket af ionbytning med det tertiære marine Lillebæltssler.

Profil 5

Hasselager-Hørning-Jeksendalen

Århus Amt har udført to dybe OSD-boringer, DGU nr. 88.1346 (B41) og 88.1344 (B42) i den begravede Hasselager-Hørning-Jeksendalen. Profilsnit 5 (figur 6.6.1) er tegnet på langs af denne dal fra vest mod øst. Figur 6.6.6,a viser et tolket geologisk profil, mens Figur 6.6.6,b viser et skematisk vand- og geokemisk profil for den begravede Hasselager-Hørning-Jeksendal. Profilet passerer det nedlagte Dørup Bjertrup Vandværk.

Datagrundlag

Geologi, vand- og sedimentkemi i de 2 OSD-boringer: DGU nr. 88.1346 (B41) og 88.1344 (B42) er nærmere beskrevet i Appendix A. Udover disse oplysninger bygger beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.6,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.6,b) også på oplysninger fra en indvindingsboring fra det nedlagte Dørup Bjertrup Vandværk. Dette vandværk lukkede i 1989 på grund af tekniske og administrative årsager.

Geologi

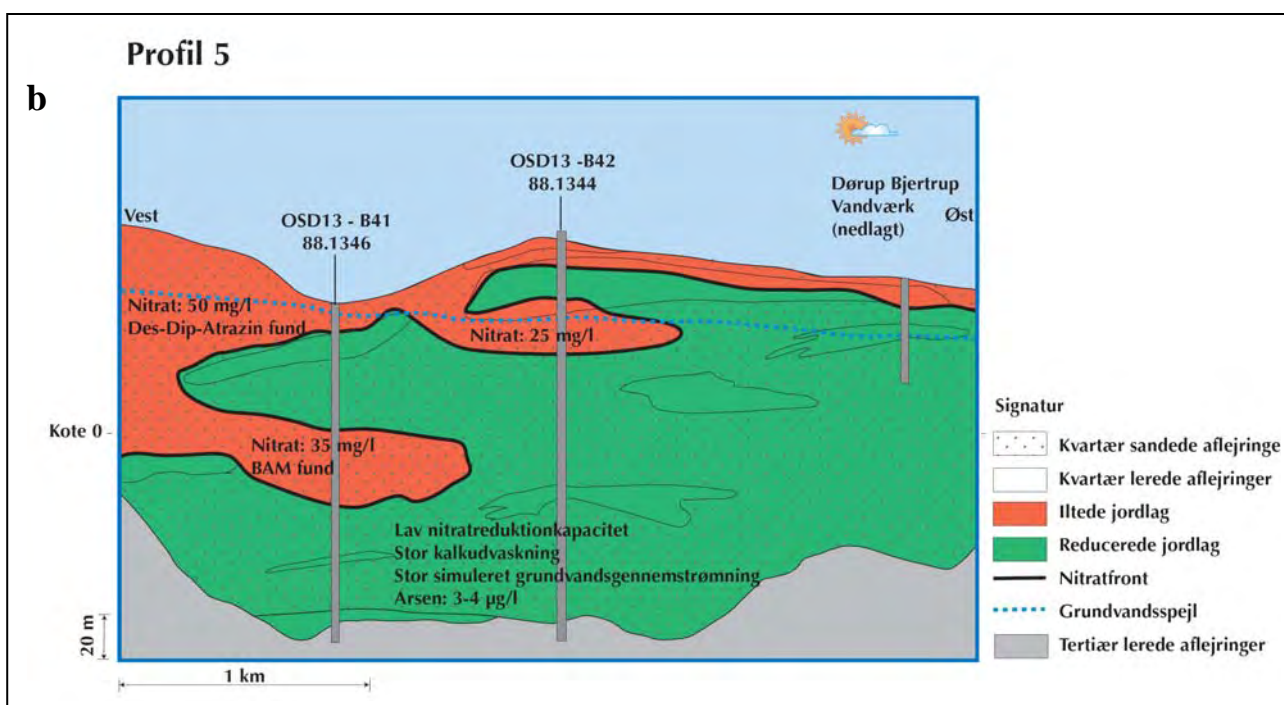
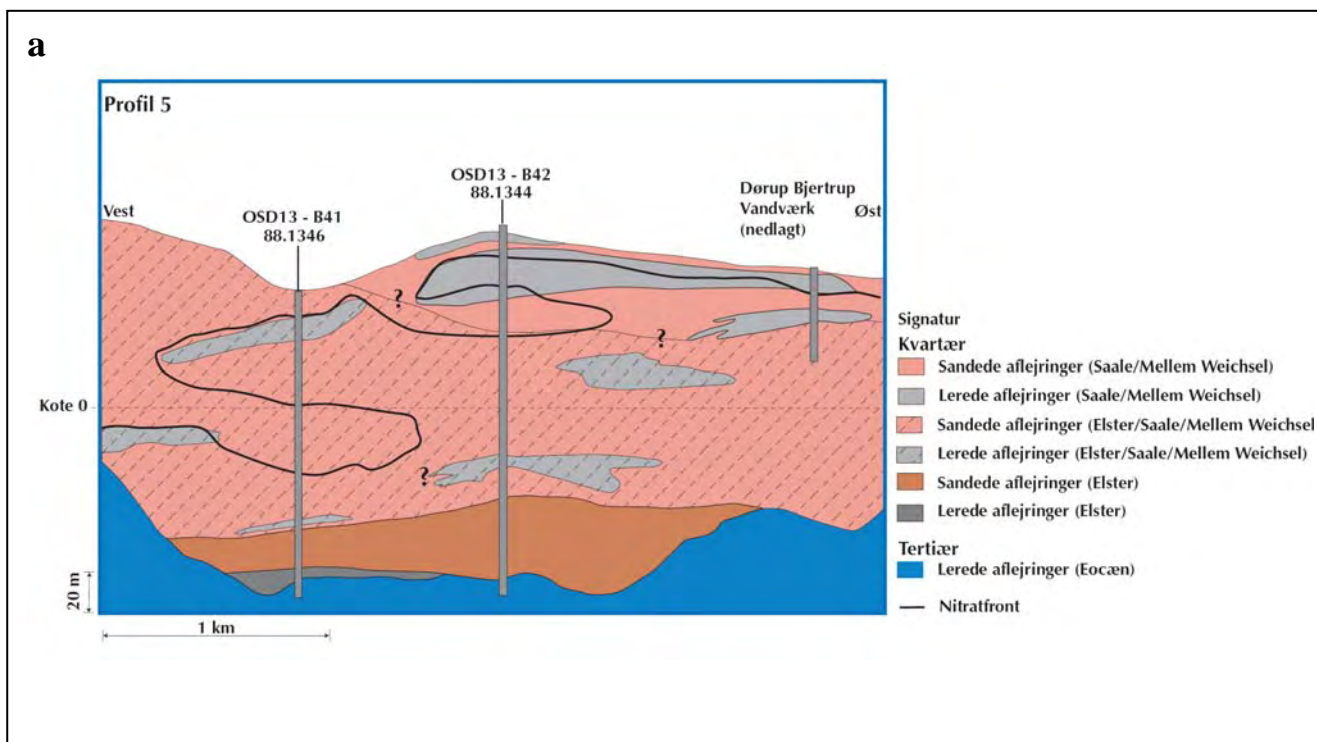
Profilsnittet (Figur 6.6.6,a) passerer begge de dybe OSD-boringer DGU nr. 88.1346 og 88.1344, der er placeret med en afstand på ca. 1 km. Boringerne viser samstemmigt tilstedeværelsen af mægtige kvartære sandforekomster, op til omkring 120 m, med indslag af moræne- og smeltevandsler. De påviste lerlag er mægtigst i den øverste del af den gennemborede lagserie, og det kan betyde, at de lerede aflejringer her er mere sammenhængende, men der er stor usikkerhed om lerlagenes laterale udstrækning. Sedimentære studier (SESAM, 2005) fra de to OSD-boringer viser, at der i den dybeste del af dalstrukturen overvejende findes sandede smeltevandsaflejringer fra Elster nedisningen. Disse aflejringer overlejres igen af overvejende sandede lag af mere usikker alder. Den øverste del af den kvartære lagserie i dalstrukturen kan henføres til Saale og Mellem Weichsel nedisningen. Den kvartære og overvejende sandede lagserie afgrænses nedadtil i ca. kote - 90 m af Eocænt Lillebæltssler.

Nitratsårbarhed

Geologiske oplysninger fra boringerne sammenholdt med geoelektriske målinger viser at lerdæklagene langs profilet er meget tynde (<15 meter i de øverste 30 meter).

Der er stor variation i nitratfrontens beliggenhed langs profilet. I de 2 OSD-boringer er der fundet flere skift mellem iltede og reducerede forhold, og det er vurderet, at dette skyldes kontakt til geologiske vinduer. Den geologiske tolkning peger også på, at lerdæklaget ikke er sammenhængende, og da der er sandede aflejringer ved overfladen, er der risiko for nedsivning af bl.a. nitrat og pesticider til grundvandet.

Grundvandspotentiallet i det primære grundvandsmagasin ligger omkring kote 40 – 50 med et svagt fald mod øst. Nitratfronten når dybt ned i grundvandsmagasinet. I den vestligste OSD boring når nitratfronten ned til ca. 90 meter under terræn, mens nitratfrontens maksimale dybde i den østligste OSD-boring er ca. 50 meter under terræn. Det vil sige, at store dele af grundvandsmagasinet er nitratholdigt.



Figur 6.6.6, a: Tolket geologisk profil og b: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 5 ved Hasselager-Hørning-Jeksendalen.

Grundvandsmagasinet kemiske tilstand

Der er truffet iltet grundvand (vandtype A) i det overfladenære grundvandsmagasin med et nitratinhold på ca. 50 mg/l. Pesticidet Des-Dip-Atrazin (0,014 µg/l) er også fundet her. Ved den vestlige OSD boring er der desuden fundet iltet grundvand (vandtype A) 72-74 meter under terræn med et nitratinhold på ca. 35 mg/l. I samme niveau er der desuden fundet BAM (0,011 µg/l). I den østlige OSD boring er der også fundet nitratholdigt grundvand, under reducerede jordlag, med et indhold på ca. 25 mg nitrat/l (vandtype B). I den nitratholdige del af grundvandsmagasinet er forvittringsindexet højt (ca. 1,7-2,0), som tegn på nitratreduktion ved pyritoxidation.

I den reducerede del af grundvandsmagasinet, med vandtype C, er der forhøjet indhold af jern (ca. 1-4 mg/l) og mangan (ca. 0,2-0,5 mg/l) samt ammonium (0,05-0,1 mg/l) i de dybeste niveauer. Kloridindholdet er lavt og ligger ca. på 15-20 mg/l. Arsenindholdet er ligeledes lavt og varierer mellem 3-4 µg/l.

Nitratreduktionskapacitet og udvaskning

Beregninger af nitratreduktionskapaciteten er udført på sedimentprøver fra de 2 OSD undersøgelsesboringer. Forudsætningerne, som ligger til grund for beregningen, beskrives i kapitel 8 afsnit 8.3.

Målingerne af pyritindholdet viser et lavt indhold (0,04-0,08 mg/kg) i de iltede sandede jordlag. Dette indikerer, at nitratreduktionskapaciteten er opbrugt.

Den beregnede nitratreduktionskapacitet er relativ lav i den reducerede del af grundvandsmagasinet i den begravede dal (ca. 0-400 år/m). Bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten bygger alene på målinger af pyritindholdet, og må derfor betragtes som en minimumsværdi. Det kan ikke udelukkes, at den aktuelle nitratreduktionskapacitet ligger højere, idet Fe(II) og specielt organisk stof (TOC) også kan bidrage. Sedimentprøverne, som er analyseret fra boringerne, er desuden udtaget som punktmålinger i felten og ikke ved hjælp af en standard metode. Derfor er der store usikkerheder forbundet med at generalisere resultaterne til hele den begravede dal. De beregnede nitratreduktionskapaciteter kan derfor ikke stå alene, men må tolkes i sammenhæng med de andre kemiske og hydrologiske observationer.

Den lave beregnede nitratreduktionskapacitet i grundvandsmagasinet kan forklares ved en relativ stor grundvandsgennemstrømning. Mineralogiske studier fra de to OSD-boringer (SESAM 2005) viser, at der både i det iltede og reducerede smeltevandssand er en stor udvaskning af de ustabile kalkkomponenter.

De geokemiske indikationer på en stor grundvandsgennemstrømning passer fint med, at grundvandsmodellen (model 25. feb.) for området simulerer en relativ høj grundvandsgennemstrømning i det vandførende smeltevandssand ved de to OSD boringer i forhold til f.eks. undersøgelsesboringen (B40, DGU nr. 88.1350) i Brabranddalen ved profil 7.

Hydraulisk kontakt

Det vurderes, at der er hydraulisk kontakt i grundvandsmagasinet langs hele profil 5.

Samlet vurdering

Grundvandsmagasinet er sårbart over for nitrat og andre forurenende stoffer. På nuværende tidspunkt indvindes der ikke grundvand i den begravede dal ved Jeksen fra de dybe dele af

magasinet. Det er sandsynligt, at grundvandskvaliteten vil blive forringet yderligere med hensyn til indtrængning af nitrat og andre forurenende stoffer ved en eventuel fremtidig indvinding af det dybereliggende grundvand. Dette vil nemlig øge den i forvejen høje grundvandsgennemstrømning.

Profil 6

Beder-Mårslet-Stillingdalen – Bederværket samt højtliggende plateau

Den geologiske kompleksitet er stor i området omkring Beder-Mårslet-Stillingdalen. Profil 6 løber fra et højtliggende plateauområde nord for Beder-Mårslet-Stillingdalen videre mod sydøst og gennem selve dalstrukturen (figur 6.6.1). Figur 6.6.7,a viser den tolkede geologi, mens Figur 6.6.7,b viser vand- og geokemien langs profilet. Profilet passerer Østerbyværket, Bederværket og Ajstrup Kildeplads.

Datagrundlag

Beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.7,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.7,b) bygger på oplysninger fra de 3 OSD-boringer: DGU nr. 89.1607 (B29), 89.1608 (B30) og 99.633 (B28), som er nærmere beskrevet i Appendix A. Desuden er der brugt oplysninger fra andre nærtliggende boringer inklusiv indvindingsboringerne ved Østerbyværket, Bederværket og Ajstrup Kildeplads, som alle hører til ÅKV.

Geologi

Der er udført to OSD-boringer DGU nr. 89.1607 og 89.1608 på plateauet med en indbyrdes afstand på ca. 2 km. Boringerne viser tilstedeværelsen af vekslende kvartære og tertiære aflejringer. Den vekslende geologi kan forklares ved enten, at smeltevandsfloder fra istiden har eroderet ned i et eksisterende tertiært underlag, eller den kan være forårsaget af glacialtektonik. Kompleksiteten understreges ved Østerbyværkets kildeplads, hvor der indvindes fra kvartære aflejringer i én boring, mens der i en nærliggende boring 50 m derfra indvindes fra tertiære aflejringer (se figur 6.6.7,a).

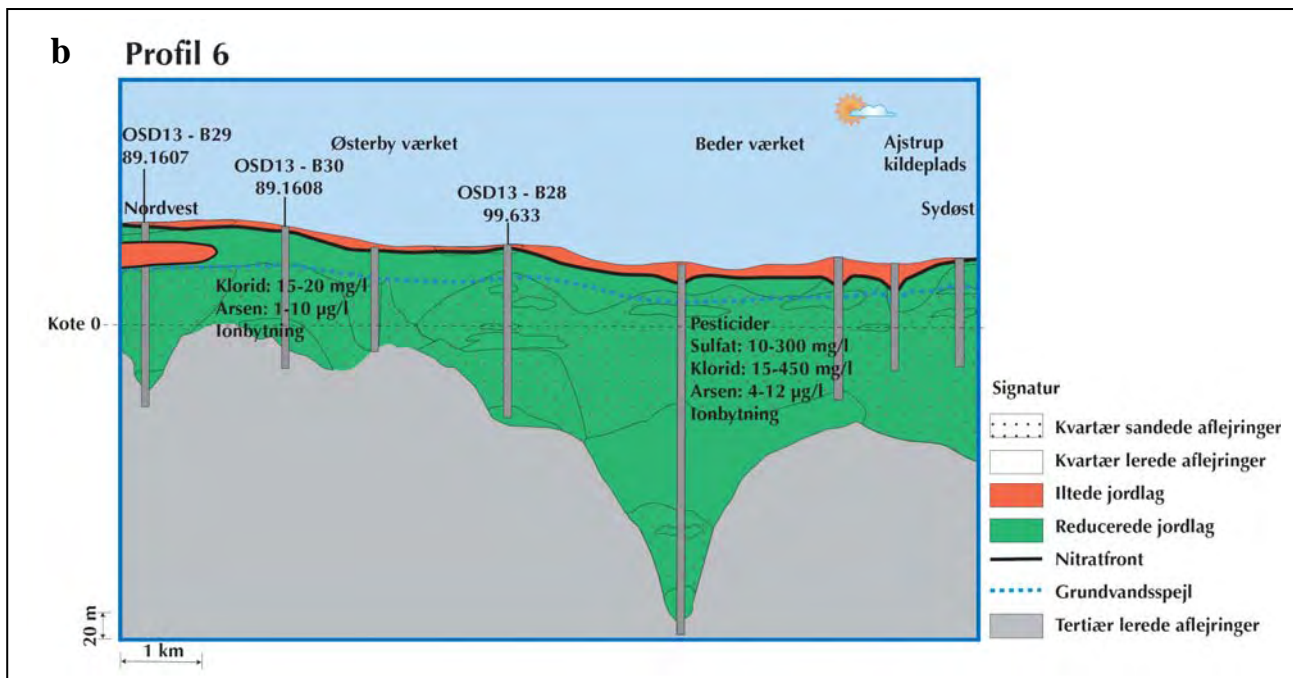
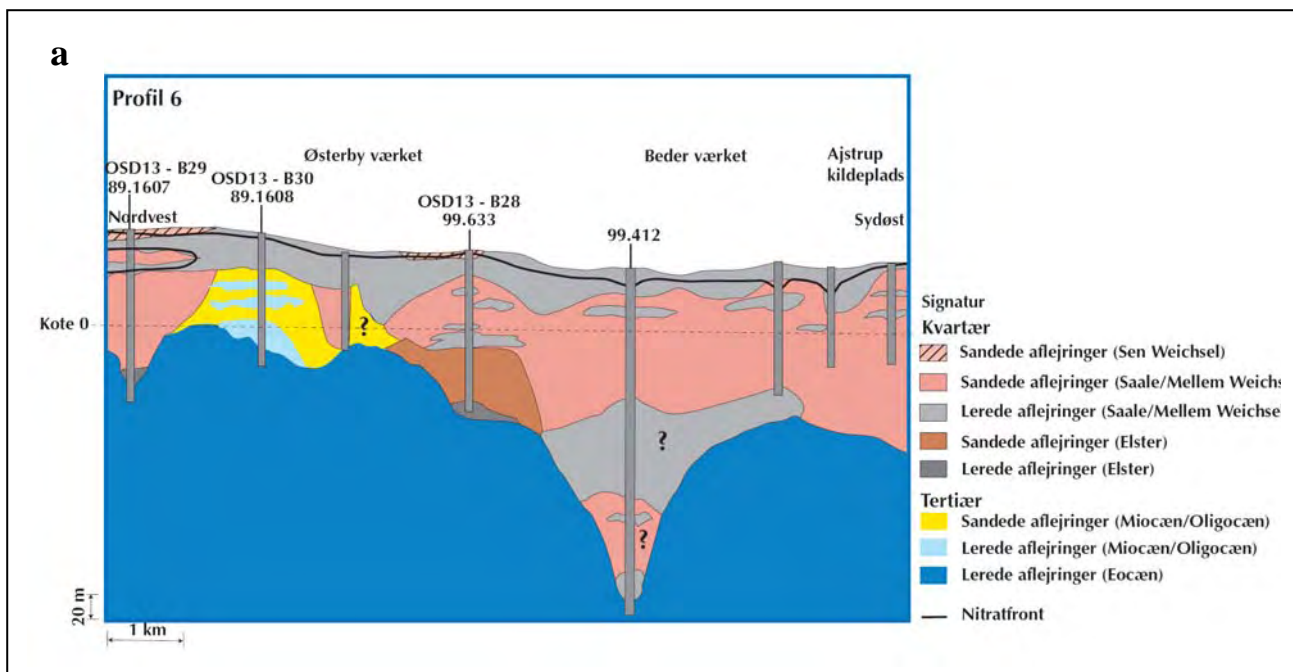
Længere mod sydøst indikerer Bederværkets 280 m dybe boring DGU nr. 99.412 (figur 6.6.7,a), at de tertiære aflejringer er begravet under et mægtigt dække af kvartære sand og lerforekomster i den centrale del af Beder-Mårslet-Stillingdalen. Længst mod sydøst, stadig ved Bederværkets boringer, indvindes der fra kvartære sandlag af 50 – 60 m's mægtighed. Der er ikke med sikkerhed truffet lag af tertiær alder i denne del af Beder-Mårslet-Stillingdalen, og mægtigheden af den kvartære lagserie er dermed ukendt i dette område.

Aldersdateringer af de kvartære aflejringer fra de tre undersøgelsesboringer DGU nr. 89.1607, 89.1608 og 99.0633, viser at der er truffet aflejringer fra Elster nedisningen, som overlejres af Saale/Mellem Weichsel sedimente. Der er allerøverst påvist meget tynde forekomster af sand fra Sen Weichsel (SESAM, 2005).

Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra boringerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser at lerdæklagene ved profil 6, generelt er sammenhængende og tykke (> 15 meter i de øverste 30 meter). Dog er der to mindre områder længst mod sydøst, hvor lerdæklagene er tyndere (< 15 meter i de øverste 30 meter).

Grundvandspotentialer ligger omkring i kote 23-28, i den nordvestlige del af profilet ved de 3 undersøgelsesboringer. I den sydøstlige del af profil 6, ved Bederværkets kildepladser, er der sænkninger på grundvandsspejlet, og grundvandsspejlet ligger ca. i kote 15.



Figur 6.6.7, **a**: Tolket geologisk profil og **b**: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 6 ved Beder-Mårslet-Stillingdalen – Bederværket samt højtliggende plateau.

På Figur 6.6.7,a og b fremgår det, at nitratfronten ligger mindre end 25 meter under terræn langs profil 6 med den største nedtrængningsdybde ved kildepladserne ved Bederværket og ved det geologiske vindue ved undersøgelsesboringen (DGU nr. 89.1607, B29) i nordvest. Ved optegning af nitratfronten på profilet, er det antaget, at nitratfronten ved Bederværket er trængt længere ned end de oprindelige farvebeskrivelser fra indvindingsboringerne viser. Det skyldes det forhøjede sulfatindhold (op til 100 mg/l) i flere af indvindingsboringerne fra disse 3 kildepladser, som indikerer en forceret omsætning af pyrit i boringernes nærhed på grund af den kraftige indvinding med dannelse af sænkningstragt på grundvandsspejlet.

Figur 6.6.7,b viser, at der sandsynligvis ikke er nitrat i grundvandsmagasinerne ved profil 6, da nitratfronten ligger over grundvandsspejlet. Ved flere af indvindingsboringerne ved Bederværket er sulfatindholdet dog som nævnt højt og stigende (op til 100 mg/l), ligesom der er truffet et højt sulfatindhold (op til 300 mg/l) i det øvre grundvand i dette område. Dette indikerer dermed risiko for at nitrat og anden forurening vil kunne trænge ned i grundvandsmagasinerne på grund af den kraftige indvinding. Der er da også fundet pesticiderne dichlorprop, mechlorprop og BAM i flere boringer i Bederområdet.

Kemisk tilstand af de kvartære grundvandsmagasiner i den nordvestlige del

De kvartære sandede grundvandsmagasiner i den nordvestlige del (undersøgelsesboringerne og Østerbyværkets kildeplads) har reduceret til stærkt reduceret grundvand af vandtype C-D, hvor sulfatindholdet varierer fra ca. 10-55 mg/l. Kloridindholdet er lavt og ligger på ca. 15-25 mg/l. Grundvandet er ionbyttet (ionbytningsindex 1,2-3). Dette indikerer, at grundvandet er påvirket af lerede marine saltholdige aflejringer. Der er målt et højere arsenindhold i den øvre del af magasinerne (7-10 µg/l) end i den nedre (1-5 µg/l).

Kemisk tilstand af de kvartære grundvandsmagasiner i den sydøstlige del

De kvartære sandede grundvandsmagasiner i den sydøstlige del, i området omkring Bederværkets kildepladser, har hovedsagelig svagt reduceret til reduceret grundvand af vandtype C, hvor sulfatindholdet kan variere meget fra ca. 10-300 mg/l. Dog indvindes der ved Ajstrup-kildepladsen, stærkt reduceret grundvand af vandtype D med et sulfatindhold på ca. 20 mg/l.

Kloridindholdet er forholdsvis lavt og ligger på ca. 15-40 mg/l. Dog er der fundet et højt kloridindhold i 2 pejleboringer med værdier op til 450 mg/l. Dette kan være residualt saltvand, som endnu ikke er udvasket af magasinet og som antagelig stammer fra en marin transgression i en interglacial periode. Desuden er grundvandet organisk rigt (højt permanganantal) og ionbyttet (ionbytningsindex 1,2-2,0). Dette indikerer, at der lokalt er en lille vandgennemstrømning i lommer i grundvandsmagasinet, hvor grundvandet påvirkes af organisk rige, lerede, marine og saltholdige aflejringer. Arsenindholdet ligger relativt højt på ca. 4-12 µg/l.

Hydraulisk kontakt mellem grundvandsmagasinerne

Variationen i vand- og sedimentkemien samt potentialeforskellene langs profil 6 viser, at der antagelig er flere hydraulisk afgrænsede sandede grundvandsmagasiner.

Samlet vurdering

Variationen i såvel geologi som vandkemi mellem de nordvestlige (undersøgelsesboringerne og Østerbyværkets kildeplads) og sydøstlige (Bederværkets kildepladser) grundvandsmagasiner ved profil 6 afspejler den komplekse strukturelle geologi i området med stor sandsynlighed for tilstedeværelse af hydrauliske barrierer. Profilet er tegnet hen over såvel et højtliggende

plateauområde mod nordvest samt gennem en dalstruktur mod sydøst, og dermed er de to mest dominerende geologiske strukturer i Århus Syd-Fokusområdet repræsenteret på profilet.

Profil 7

Cirkulær struktur

Århus Amt har udført en dyb OSD-boring, DGU nr. 88.1350 (B40), som er beliggende midt i profil 7 (figur 6.6.1). Mod vest støder Brabranddalen op til den cirkulære struktur (figur 6.3.2) og profilsnit 7 gengiver overgangen mellem boringerne ved Harlev kildeplads i Brabranddalen og den formodede strukturelt noget anderledes opbyggede undergrund mod vest. Figur 6.6.8,a viser et tolket geologisk profil, mens figur 6.6.8,b viser et skematisk vand- og geokemisk profil.

Datagrundlag

Geologi, vand- og sedimentkemi i OSD-boringen: DGU nr. 88.1350 (B40) er nærmere beskrevet i Appendix A. Udover disse oplysninger bygger beskrivelsen af det geologiske profil (Figur 6.6.8,a) og det vand- og geokemiske profil (Figur 6.6.8,b) også på oplysninger fra en undersøgelsesboring (DGU nr. 88.676) fra 1971, der er filtersat i kalken. Boringen ses længst mod vest i profilerne. Endelig er profilerne også beskrevet ved hjælp af oplysninger fra indvindingsboringerne ved Harlev Kildeplads, som hører til Åboværket (ÅKV).

Geologi

Boring DGU nr. 88.676, der ses i den vestlige del af profilsnittet, viser en leret lagserie bestående af kvartært moræne- og smeltevandsler i de øverste næsten 100 m. Leret underlejres af ca. 30 m smeltevandssand, som ligger direkte ovenpå kalken. Længere mod øst består den kvartære lagserie fortsat hovedsageligt af ler påvist med OSD-boringen DGU nr. 88.1350. Sedimentære studier (SESAM, 2005) af denne boring har vist, at de kvartære aflejringer i den dybeste halvdel af boringen, kan henføres til Saale til Mellem Weichsel nedisningen. De øverste 60 m af boringen udgøres af moræneler af Sen Weichsel alder og kan henføres til det ungbaltiske isfremstød (Højvang stadiet).

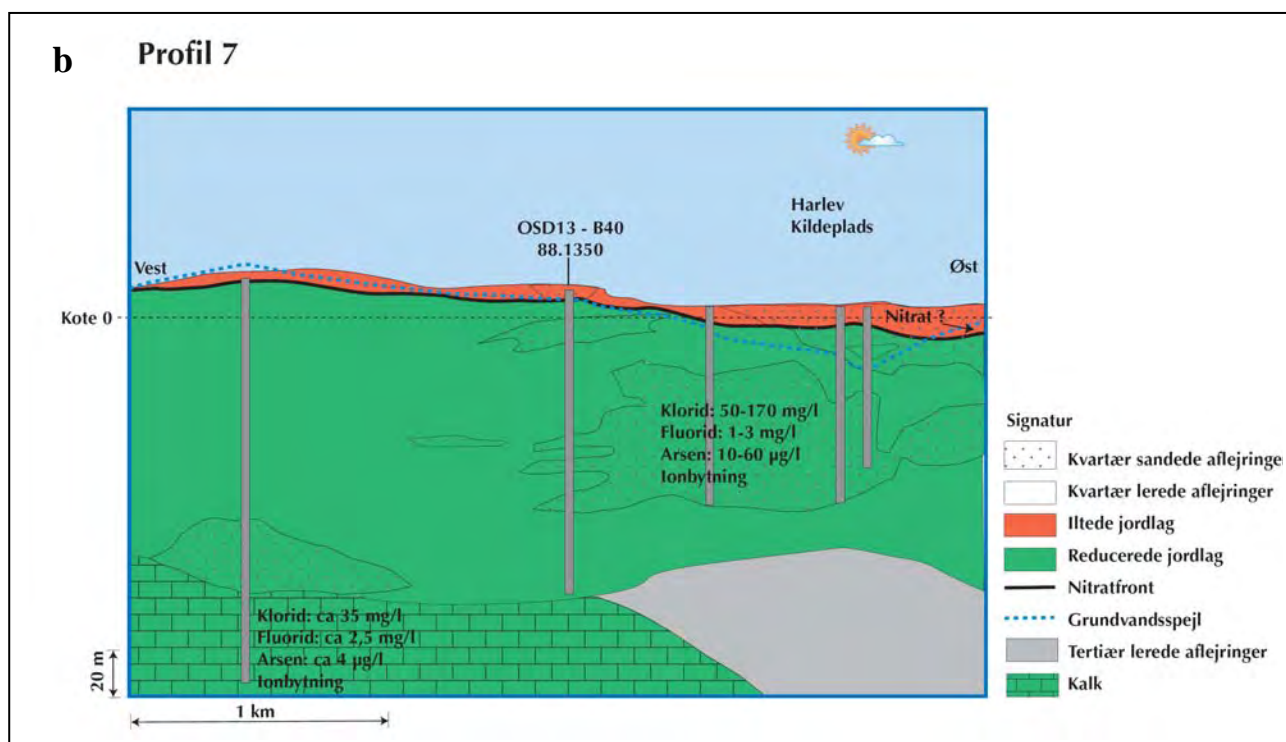
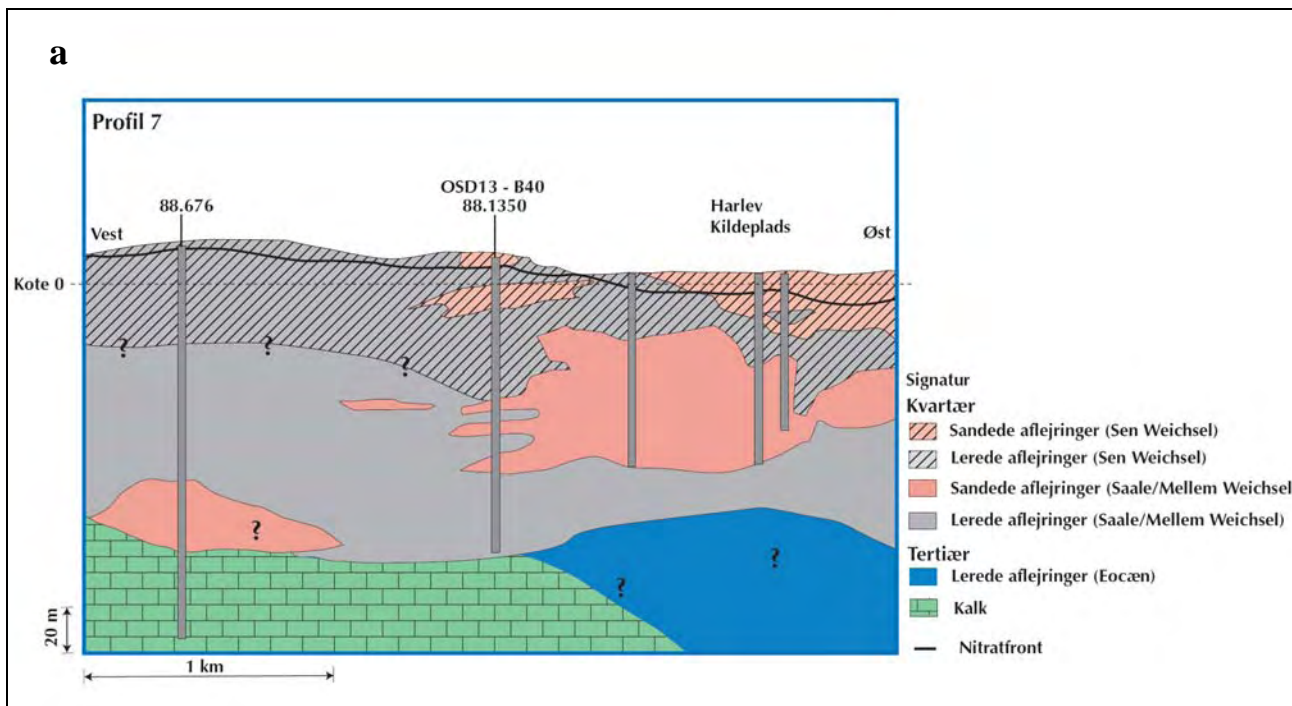
Ved Harlev Kildeplads begynder de sandede kvartære aflejringer at blive noget mere dominerende. Dette kan tyde på, at ikke alene er den dybere undergrund strukturelt forskellig fra den øvrige del af området, men også de kvartære aflejringer synes at ændre karakter på overgangen mellem Brabranddalen og den cirkulære struktur. De dybeste sandede lag ved Harlev Kildeplads, grundvandsmagasinet, tolkes i profil 7 til at være af Saale til Mellem Weichsel alder. Som tidligere nævnt, vil det kræve flere detaljerede undersøgelser, før der kan opnås en bedre forståelse af de processer, der har ført til dannelsen af den cirkulære struktur.

Nitratfronten

Geologiske oplysninger fra boringerne, sammenholdt med geoelektriske målinger, viser at lerdæklagene langs hele profilet er sammenhængende og meget tykke i den vestlige del (>15 meter i de øverste 30 meter), mens de er tynde (<15 meter i de øverste 30 meter) i den østlige del ved Harlev Kildeplads.

Grundvandspotentiallet varierer fra kote ca. 20 i vest til kote ca. -5 i den østlige del af profilet, og der er langs profilet tale om spændte grundvandsmagasiner.

Nitratfronten ligger mindre end ca. 10 meter under terræn, med den største nedtrængningsdybde mod øst. Det er sandsynligt, at de overfladenære magasiner omkring Harlev Kildeplads er nitratholdige. Der findes dog ikke målinger af nitratholdigt grundvand i området.



Figur 6.6.8, **a**: Tolket geologisk profil og **b**: Skematisk vand- og geokemisk profil af profil 7 ved den cirkulære struktur.

Nitratreduktionskapacitet

Beregninger af nitratreduktionskapaciteten er udført på sedimentprøver fra OSD-boringen. Forudsætningerne, som ligger til grund for beregningen beskrives i kapitel 8 afsnit 8.3.

Den beregnede nitratreduktionskapacitet er forholdsvis lav i det reducerede grundvandsmagasin (200-350 år/m). Det sandede grundvandsmagasin, med den forholdsvis lave nitratreduktionskapacitet, er beskyttet af reducerede lerdæklag. Her er nitratreduktionskapaciteten, også på baggrund af pyritmålingerne, bestemt til ca. 120.000 år/m.

Bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten bygger alene på målinger af pyritindholdet, og må derfor betragtes som en minimumsværdi. Det kan ikke udelukkes, at den aktuelle nitratreduktionskapacitet ligger højere, idet Fe(II) og specielt organisk stof (TOC) også kan bidrage. Sedimentprøverne, som er analyseret fra boringerne, er desuden udtaget som punktmålinger i felten, og ikke ved hjælp af en standard metode. Derfor er der store usikkerheder forbundet med at generalisere resultaterne til hele den begravede Brabranddal. De beregnede nitratreduktionskapaciteter kan derfor ikke stå alene, men må tolkes i sammenhæng med de andre kemiske og hydrologiske observationer.

Kalkmagasinets kemiske tilstand

Kvaliteten af grundvandet i kalkmagasinet, kan vurderes ud fra målinger fra boringen med DGU nr. 88.676. Kalkmagasinet har stærkt reduceret grundvand af vandtype D (sulfatindhold ca. 10 mg/l). Kloridindholdet er forholdsvis lavt, ca. 35 mg/l. Derimod er fluoridindholdet højt (ca. 2,5 mg/l), som er typisk for kalkmagasiner på grund af opløsning af fluoridholdige mineraler. Ionbytningsindexet er højt (ca. 2,6), hvilket vidner om ionbytning mellem calcium i det ferske grundvand og natrium i sedimentet, som dermed har saltvandspræg.

Kemisk tilstand af det nederste sandede grundvandsmagasin

Det sandede grundvandsmagasin, som Harlev Kildeplads indvinder fra, og som der også monitoreres på i OSD-boringen, indeholder reduceret grundvand af vandtype C og D. Kloridindholdet er forhøjet og ligger i intervallet 50-170 mg/l. Ligesom i kalkmagasinet er grundvandet ionbyttet (ionbytningsindex 1,6-2,4). Grundvandet må derfor være påvirket af saltholdigt sediment.

Fluoridindholdet er højt, i det sandede grundvandsmagasin, hvilket må skyldes påvirkning fra kalken, og varierer mellem ca. 1-3 mg/l. Disse kemiske forhold indikerer, at kalken ligger relativt højt også øst for OSD-boring (DGU 88.1350), men som angivet i Figur 6.6.8,a, er beliggenheden af kalkoverfladen mod øst i profilet meget usikker, da der mangler dybe boringer i området.

Arsenindholdet, i det nedre sandede grundvandsmagasin, er meget højt, og der er målt mellem 10-60 µg/l (grænseværdi 5 µg/l). Et højt arsenindhold i grundvandet skyldes sandsynligvis en kombination af følgende 3 forhold:

1. Reducerende forhold
2. Påvirkning fra arsenrig-kildebjergart (f.eks. tertiære lerbjergarter)
3. Lav cirkulation i grundvandsmagasinet

I grundvandsmagasinet er der de rette redoxforhold til at arsen kan findes i opløsning, da der er reducerende til stærkt reducerende forhold (vandtype C og D).

I OSD-boringen er arsenindholdet i pyrit målt i flere sedimentprøver. Det højeste indhold er fundet i den nedre del af de lerede aflejringer. Derimod er arsenindholdet lavt i det sandede grundvandsmagasin og i lerdæklaget (ca. 0,3-0,6 mg arsen per kg). Målingerne af arsenindholdet (i pyrit) i en prøve fra smeltevandsleret (ca. 6 mg arsen per kg) nederst i boringen indikerer, at dette kan være kilden til arsen opløst i grundvandet.

Mineralogiske studier fra OSD-boringen (SESAM, 2005) viser, at de ustabile kalkkomponenter er bevaret i sedimentet. Dette tyder på en meget lille kalkudvaskning i det sandede grundvandsmagasin. Den lille kalkudvaskning kan skyldes en relativ lav vandgennemstrømning i magasinet. Det virker dermed plausibelt, at det høje indhold af arsen i grundvandet, til dels skyldes en lille grundvandscirkulation. Det kan nævnes, at den opstillede grundvandsmodel (model 25. feb.) for området ligeledes indikerer en relativ lav grundvandsgennemstrømning i de sandede vandførende lag ved OSD-boringen, sammenlignet med f.eks. grundvandsgennemstrømningen i Hasselager-Hørning-Jeksendalen ved profilsnit 5.

Hydraulisk kontakt

Det vurderes, at der ikke er kontakt mellem kalkmagasinet i vest og det sandede grundvandsmagasin i den østlige del af profil 7.

Samlet vurdering

Resultaterne indikerer, at de rette betingelser er til stede, for at få et højt arsenindhold i det sandede grundvandsmagasin i området omkring profil 7. De reducerede forhold, kildebjergarten, den lave kalkudvaskning og den relative lave simulerede vandgennemstrømning i det sandede grundvandsmagasin er sandsynligvis alle medvirkende årsager. Desuden er grundvandet påvirket af saltholdigt sediment, idet kloridindholdet flere steder er relativt højt. Ligeledes indikerer det relative høje fluoridindhold, at grundvandet flere steder også er påvirket af kalkaflejringer.

7. Hydrologisk model

Der er blevet opstillet en hydrogeologisk model for Århus Syd-området som dels tager udgangspunkt i en regional grundvandsmodel fra 1997 og dels anvender nye borer og geofysiske kortlægninger udført efter 1997.

Dernæst er der ligeledes for Århus Syd-området opstillet en stationær grundvandsmodel, som anvender den hydrogeologiske model. Under kalibreringen blev områdets meget komplekse geologiske forhold tydeliggjort, hvilket konkret resulterede i to kalibrerede grundvandsmodeller (model 18. feb. og model 25. feb.), der geologisk adskilte sig fra hinanden i et område ved Jeksen Bæk. Efterfølgende analyser viste, at det på det nuværende datagrundlag ikke var muligt at vælge den ene model frem for den anden.

Partikelbanekørsler med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at langt størstedelen af Århus Syd-Fokusområdet er grundvandsdannende opland til områdets kildepladser. Dette betyder med andre ord, at vandindvindingsanlæggene i området stort set indvinder vand fra alle områder inden for fokusområdet. Partikelbanekørslerne viser endvidere, at grundvandsmodellen kan udpege det samlede grundvandsdannende opland. På grund af dels geologisk kompleksitet dels vekslende og stor vandindvinding inden for fokusområdet er det derimod ikke muligt at afgrænse et præcist grundvandsdannende opland knyttet til den enkelte kildeplads.

Det skal dog bemærkes, at der i området hhv. syd for Jeksen Bæk og mellem Jeksen Bæk og Århus Å er stor forskel mellem de grundvandsdannende områder i de to grundvandsmodeller. På grund af geologisk usikkerhed i dette område, som resulterer i ukendt strømningsmønster, vil modelresultaterne for begge grundvandsmodeller her være behæftet med stor usikkerhed. Resultaterne fra de to grundvandsmodeller kan derfor ikke direkte anvendes i dette område. Den endelige udpegning af områder, der skal beskyttes, skal her derfor alene findes ved brug af de nitratsårbare områder.

Usikkerheden i den geologiske model afspejler sig endvidere i tydelige forskelle i både grundvandsdannelse og vandbalancer i dele af fokusområdet for de to grundvandsmodeller.

Vandbalanceopgørelser for både model 18. feb. og model 25. feb. viser, at når grundvandsdannelsen opgøres som det grundvand, der samlet er tilrådighed for de beregningslag, der indvindes fra inden for fokusområdet, så udgør den samlede oppumpning, svarende til den aktuelle indvinding, over 80 % af den samlede grundvandsdannelse. Anvendes i stedet grundvandsdannelsen til de beregningslag med den væsentligste oppumpning, udgør oppumpning svarende til den aktuelle indvinding fra disse beregningslag over 97 % af grundvandsdannelsen til de pågældende beregningslag.

Som nævnt tidligere har det for de enkelte kildepladser ikke været muligt at fastlægge præcise grundvandsdannende oplande. I stedet er der, hvor det har været muligt, blevet udpeget kerneoplande og sandsynlighedsområder til de enkelte kildepladser. Udpegning er foretaget på baggrund af en analyse af dels modelresultaterne og dels udvalgte inddata til grundvandsmodellen.

Det har dog ved anvendelse af modelresultaterne været nødvendigt at dele modelområdet op i en nordlig og i en sydlig del. På grund af specielt den meget komplekse opbygning af Brabranddalen, som endnu ikke er fuldstændig forstået, har grundvandsmodellen i den nordlige del begrænset anvendelighed. Dette betyder, at der i den nordlige del er udpeget et samlet sandsynlighedsområde.

For kildepladser beliggende her har der ikke været et tilstrækkeligt datagrundlag til at kunne opdele det samlede sandsynlighedsområde til de enkelte kildepladser, lige som der heller ikke har kunnet udpeges kerneoplande til kildepladser. I den sydlige del af modelområdet har grundvandsmodellen derimod større gyldighedsområde. For kildepladser beliggende i den sydlige del har det for de enkelte kildepladser derfor været muligt at udpege sandsynlighedsområder og evt. kerneoplande.

For en række kildepladser beliggende i den sydlige del af fokusområdet har det ikke været muligt at afgrænse et kerneopland. Dette er bl.a. tilfældet for kildepladser med en lille indvinding, hvor indvindingen ikke påvirker grundvandspotentialen set i forhold til grundvandsmodellens opløsning. Andre årsager til, at der ikke har kunnet udpeges et kerneopland, har været for stor usikkerhed i det geologiske datagrundlag samt at oplande til forskellige kildepladser har været flettet så meget ind i hinanden, at det ikke har været muligt at udskille et kerneopland til den enkelte kildeplads.

7.1 Baggrund og formål

Der er tidligere blevet opstillet grundvandsmodeller for kortlægningsområdet Århus syd. Den første model, der blev opstillet i 1993, havde til formål at fastlægge størrelsen af den nødvendige regulering af de store vandindvindingstilladelser, der var blevet givet i 1960'erne.

Grundvandssænkningen i området var på det tidspunkt i gennemsnit 0,5 meter pr. år, og det var tydeligt, at grundvandsressourcen var mindre end antaget, da oppumpningstilladelserne blev givet. Modellen blev kalibreret så vandbalancen og den fremtidige oppumpning blev bæredygtig i forhold til sænkning af grundvandsspejlet og påvirkningen af vandløbene. Den samlede tilladelse til oppumpning blev reguleret ved en samlet tilladelse i 1993.

I forbindelse med opstilling og kalibrering af modellen blev det klart, at den geologiske beskrivelse var meget usikker i dele af modelområdet. Århus Amt og Århus Kommunale Værker indledte derfor et samarbejde med Århus Universitet med det formål at detailkortlægge Århus Kommune med nyudviklede geofysiske metoder. I årene derefter blev der gennemført en omfattende kortlægning. Kortlægningen har givet et meget præcist billede af grundvandsmagasinerne udbredelse og beskyttelse.

I 1997 blev der opstillet en ny model for at kontrollere, om den nye viden om geologien gav anledning til en ny regulering af oppumpningen. Det blev konkluderet, at der ikke på det nye grundlag var behov for at ændre den tilladte oppumpning ved vandværkerne i området. I forbindelse med detailkortlægningen blev det muligt at udarbejde et lertykkelseskort, der nærmere angiver, hvilke områder der er særlig vigtige at beskytte imod forurening. Samme år blev områder med særlige drikkevandsinteresser udpeget i Regionplan 1997.

I forbindelse med udarbejdelse af indsatsplaner, som blev besluttet af folketinget i 1998, er der i de senere år blevet udført supplerende kortlægning for nærmere at kunne bestemme, hvilke områder der skal beskyttes med en indsatsplan. I forbindelse med kortlægningen er der blevet udarbejdet kort over sårbare områder, som skal beskyttes for at sikre, at grundvandet ikke forurenes. Den nye 2005 opdatering af grundvandsmodellerne fra 1993 og 1997, skal benyttes til at støtte vurderingen af hvilke og hvor meget af de sårbare områder, der skal beskyttes, for dels at sikre de dybe grundvandsmagasiner og dels for at fastlægge hvilke sårbare områder, der kan henføres til specifikke vandværkers grundvandsdannende oplande.

Modellen skal derfor bruges til at besvare følgende spørgsmål:

1. Vil nedsivningen fra de sårbare områder indenfor indsatsområdet indgå i grundvandsdannelsen til de dybe magasiner, der benyttes til vandforsyning?

2. Indenfor indsatsområdet påvirker oppumpningen fra vandværkerne hinanden kraftigt. Er det muligt med partikelbaneberegninger at fastlægge, hvilke dele af de grundvandsdannende oplande der med en rimelig sikkerhed kan henføres til et specifikt vandværk? (fastlæggelse af kerneoplande). Ønsket om at kunne henføre kerneoplande til specifikke vandværker har baggrund i, at det må forventes at kunne komme på tale at betale erstatning til landbruget for at sikre beskyttelsen af grundvandet. Udpegning af kerneoplande kan samtidig benyttes til en prioritering af beskyttelsesforanstaltninger indenfor de sårbare områder i indsatsområderne.

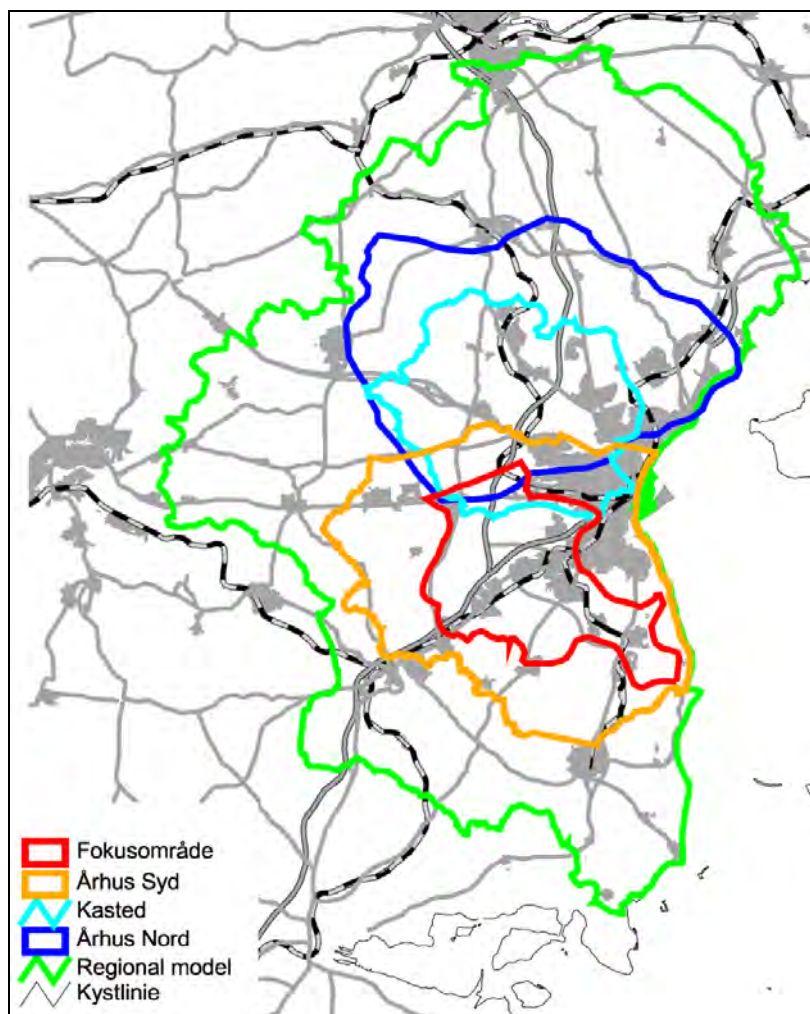
Oppumpningstilladelsernes størrelse i forhold til en bæredygtig indvinding er som nævnt behandlet i tidligere udført arbejde. Oppumpningstilladelsene er således fastlagte. Grundvandsmodellen har ikke haft som formål at foretage en vurdering af tilladelsernes størrelse i forhold til påvirkning af vandbalancen. Dette vil derfor ikke blive omtalt i denne rapport.

GEUS har foretaget review af modelresultaterne. Der har i den forbindelse været særlig fokus på metoden, der er anvendt til udpegning og afgrænsning af grundvandsdannende oplande til kildepladser beliggende inden for Århus Syd-Fokusområdet (GEUS, 2006).

7.2 Tidligere grundvandsmodeller

Der er som nævnt i afsnit 7.1 tidligere blevet opstillet grundvandsmodeller, som helt eller delvist dækker Århus Syd-området. Som nævnt blev der i 1997 opstillet en regional grundvandsmodel. Denne blev dog opstillet med andre mål end dem, der kræves til indsatsplanlægningen. I 2000 blev en lokal grundvandsmodel for Kasted opstillet, og i 2002 blev der opstillet en grundvandsmodel for Århus Nord. Alle tre grundvandsmodeller er dynamiske og opstillet i softwareprogrammet MIKE SHE.

Århus Syd Modelområde er indeholdt i den regionale grundvandsmodel fra 1997. Derimod dækker grundvandsmodellerne for Kasted og Århus Nord kun en begrænset del af den nordlige del af Århus Syd Modelområde (figur 7.2.1).



Figur 7.2.1 Modelafgrænsninger for grundvandsmodeller. Området markeret med orange angiver modelområdet for Aarhus Syd. Fokusområdet for Aarhus Syd er området angivet med rødt.

Modelområdet for Aarhus Syd er vist med orange på figur 7.2.1. Området dækker et areal på 412 km². Både den hydrogeologiske model og grundvandsmodellen er opstillet inden for dette modelområde. Fokusområdet (også kaldet Aarhus Syd-Fokusområde) for modelopstillingen udgøres af indsatsområderne Beder, Åbo, Stautrup, Storskoven, Østerby, samt dele af Stilling og Ravnholt/Tiset. Aarhus Syd-Fokusområdet, der er vist med rødt på figur 7.2.1, dækker et areal på 153 km².

7.3 Hydrogeologisk model

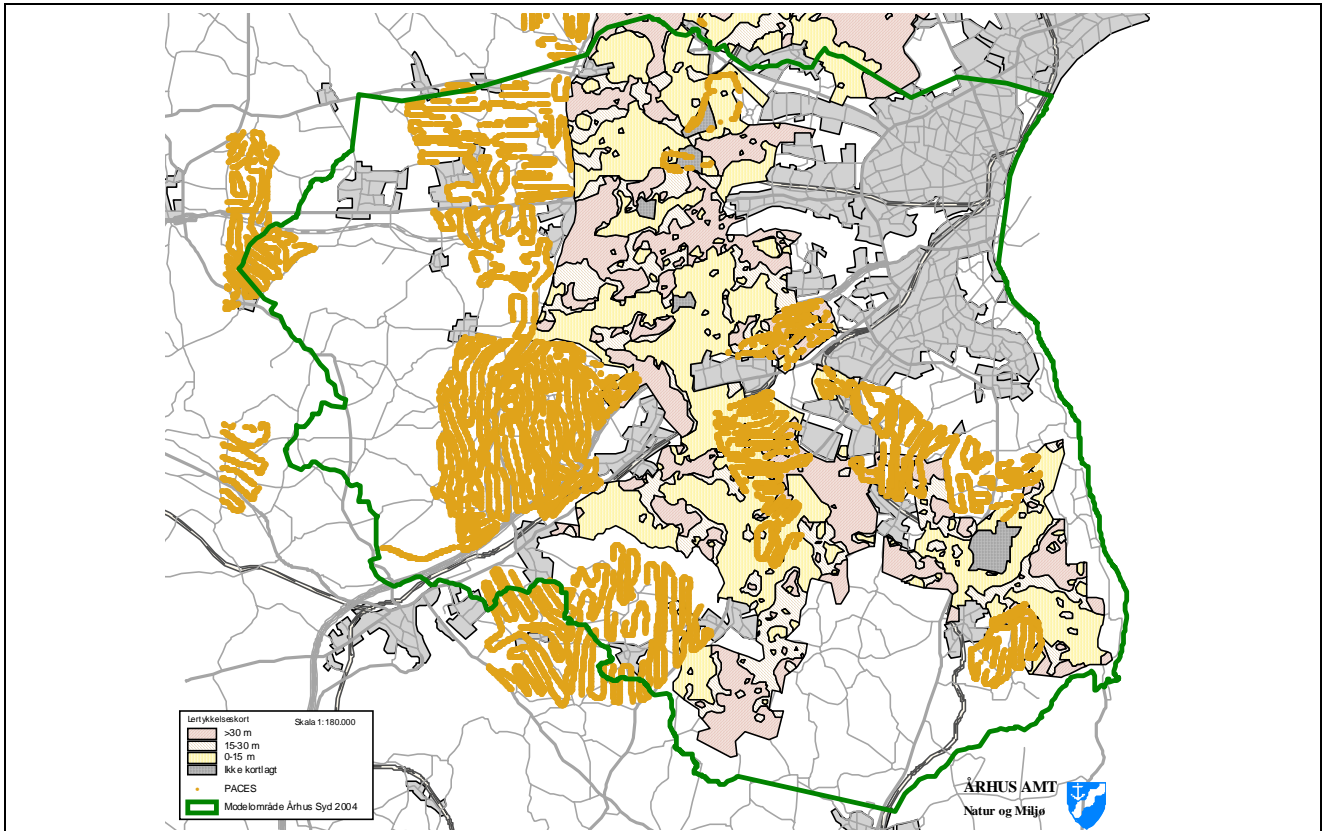
Den hydrogeologiske model for Aarhus Syd-området er opstillet med udgangspunkt i den regionale grundvandsmodel, der blev udarbejdet for Aarhus Amt i 1997 (DHI, 1998). Siden 1997 er der yderligere udført en lang række nye borer i undersøgelsesområdet, ligesom der er gennemført flere nye geofysiske kortlægninger. Disse nye oplysninger er blevet indarbejdet i den opdaterede hydrogeologiske model, som danner udgangspunktet for det videre arbejde med grundvandsmodellen. I DHI's rapport "Aarhus Syd indsatsplanlægning – Hydrologisk og Numerisk Model. Januar 2005" (DHI, 2005b) er der i bilag C redegjort detaljeret for, hvordan den hydrogeologiske model er opstillet.

Datagrundlaget for den hydrogeologiske model har været:

- Den regionale grundvandsmodel udarbejdet for Århus Amt i 1997, Model-97
- Boringer fra amtets boredatabase, BORIS
- Dybe OSD-undersøgelserboringer udført i forbindelse med den gebyrfinansierede grundvandskortlægning
- Århus Amts lertykkelseskort fra november 1998
- Geofysiske TEM og PACES data
- Grundvandsmodellen der er opstillet i 2002 i kortlægningsområdet Århus Nord, Model Århus Nord-02 (DHI, 2002), jf. figur 7.2.1.

Den hydrogeologiske model er opstillet med en cellestørrelse på 125 x 125 m, og den er opbygget af 27 geologiske lag. Lagtykkelsen af de øverste 3 lag er fastlagt ud fra PACES data til henholdsvis 5, 10 og 15 m, mens de resterende 24 lag hver har en tykkelse på 5 m. For hvert geologisk lag er der i hver enkelt modelcelle defineret en af de 5 fastlagte geologiske enheder varierende fra sand over sand med ler, sand/ler, ler med sand til ler (DHI, 2005b).

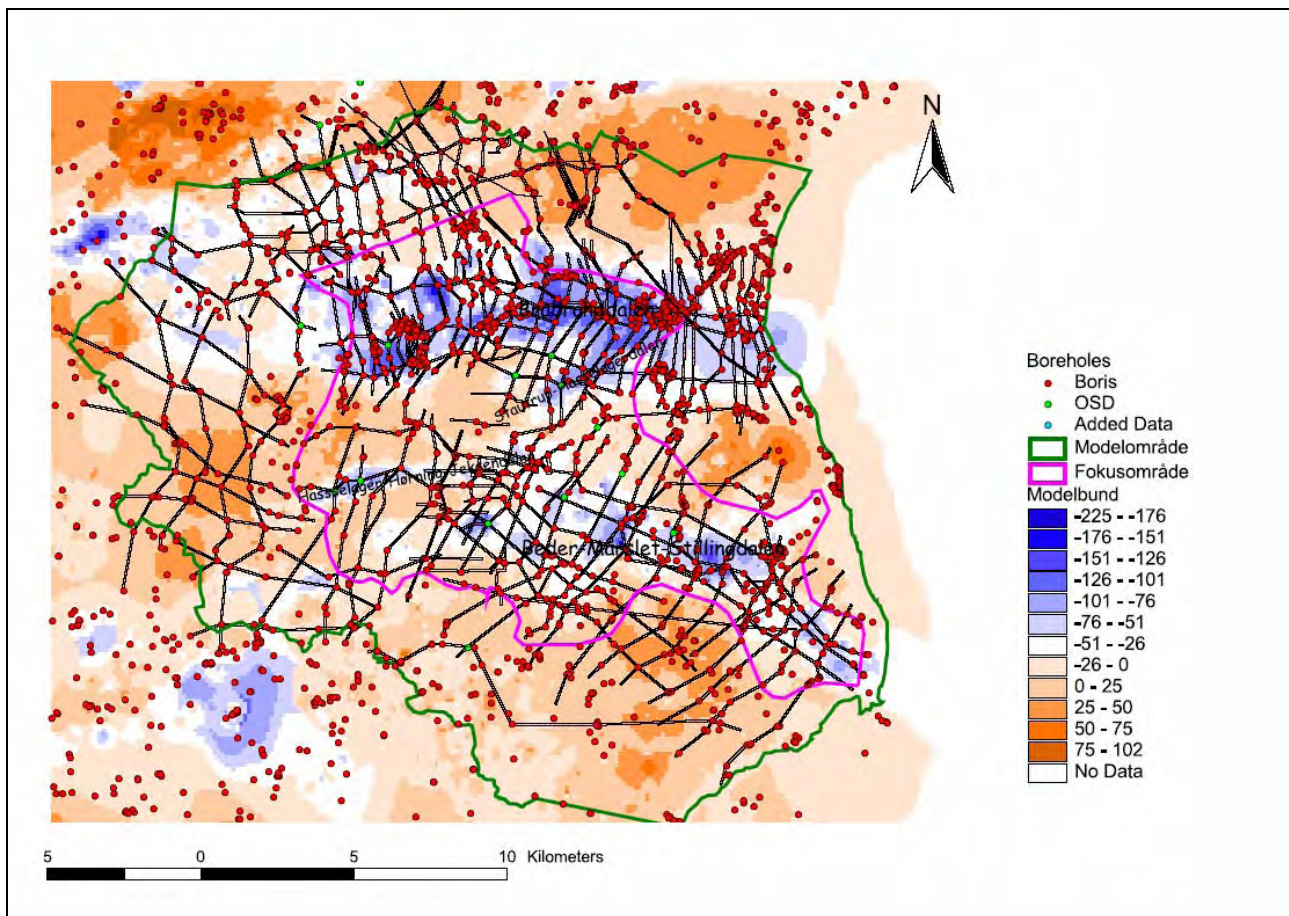
Datagrundlaget for den geologiske model er omfattende, og der er anvendt flere forskellige datatyper i forbindelse med modelopstillingen. Lithologiske beskrivelser fra boringer er anvendt i vid udstrækning til at fastlægge de geologiske variationer, der har betydning for strømmingen i jordlagene. Geofysiske TEM-data er blevet anvendt til fastlæggelse af magasinbunden samt til en detaljeret udlægning af geologiske enheder mellem boringerne i modelområdet (DHI, 2005b). Geofysiske PACES-data er ligeledes anvendt til udlægning af geologiske enheder mellem boringerne, som en del af datagrundlaget for de øverste 3 lag af modellen, det vil sige de øverste 30 m (figur 7.3.1).



Figur 7.3.1 PACES-data og lertykkelseskort der har dannet en del af datagrundlaget for de øverste 30 m i den hydrogeologiske model.

Da der ikke eksisterer geofysiske TEM- og PACES-data for hele modelområdet har det været nødvendigt at supplere med geoenheder fra Model-97 og fra Model Århus Nord-02 (DHI, 2005b). Især er geoenhederne fra Model-97 behæftet med nogen usikkerhed, da de er fremkommet på baggrund af hydrauliske ledningsevner fra Model-97 og dermed implicit bestemt. I dele af modelområdet, hvor der ikke findes geofysiske PACES-data, er også amtets lertykkelseskort anvendt til at udlægge geologien i modellen i de øverste 30 m (figur 7.3.1).

Den geologiske opbygning af Århus Syd-området er karakteriseret ved flere dybe kvartære dale, der indeholder mægtige sandede aflejringer. Hovedparten af områdets vandindvindning foregår fra disse dale, og de mere end 100 tolkede profilsnit gennem de hen ved 1000 borer (se figur 7.3.2), som modellen bygger på, er primært tegnet i disse centrale dalområder. De geologiske enheder, der er udlagt i modellen på baggrund af geofysiske data eller fra de tidligere modeller i området, er i hvert profil kontrolleret mod de lithologiske oplysninger fra borer. Især i de centrale dalstrøg er der gennemført tilretninger af geoenhederne ved og mellem borerne for dels at sikre overensstemmelse med oplysningerne fra borerne og for dels at indbygge den generelle geologiske forståelse i modellen.



Figur 7.3.2 Modelområdet med angivelse af boringer og profiliniers placering.

Den geologiske model viser en samlet lagtykkelse af den overvejende kvartære lagserie i modelområdet fra terræn til den hydrauliske modelbund, der varierer fra ganske få meter og op til 265 m. Denne lagfølge har i modellen størst mægtighed i den centrale del af de begravede dalstrukturer og mindst mægtighed på platauerne imellem dalene. Dette svarer til observationerne i boringerne i området, og til den overordnede forståelse af områdets geologiske opbygning.

Lagene i den hydrogeologiske model er overført til beregningslag i grundvandsmodellen. Da det er uhensigtsmæssigt at arbejde med 27 lag i grundvandsmodellen, er de geologiske modellag grupperet til i alt 7 beregningslag i grundvandsmodellen.

7.4 Ny modelopsætning for grundvandsmodel

I modsætning til tidligere grundvandsmodeller i området er det valgt at opstille en stationær grundvandsmodel. En stationær grundvandsmodel kan belyse beliggenheden af grundvandsdannende områder, hvilket er det primære formål med grundvandsmodellen. En stationær grundvandsmodel er baseret på gennemsnitsbetragtninger af nettonedbør, indvindingsmængder, pejledata, vandføringsdata mm. Grundvandsmodellen repræsenterer således en form for gennemsnitssituation.

Som konsekvens af, at modellen er opstillet stationært, er den ikke egnet til formål, der kræver en dynamisk beskrivelse af inddata eller af modelresultaterne. Den stationære grundvandsmodel er

således ikke velegnet til vurderinger af dynamisk samspil mellem indvindingsstruktur og vandløbsafstrømning.

Grundvandsmodellen er opstillet af DHI i modelværktøjet MIKE SHE inden for modelområdet vist på figur 7.2.1. Der er anvendt en cellestørrelse på 250 m x 250 m. Antallet af beregningslag er 7. Beregningslagene nummereres oppefra og ned således, at beregningslag 1 ligger tættest på terræn og beregningslag 7 ligger dybest.

For detaljeret beskrivelse af nettonedbørsberegninger, modelopstilling, kalibreringsresultater, scenarieberegninger samt udpegning af grundvandsdannende oplande henvises til følgende rapporter: DHI 2005a, DHI 2005b, DHI 2005c, DHI 2005d, DHI 2005e og DHI 2005f.

I det følgende foretages en kort præsentation af inddata og randbetingelser til grundvandsmodellen.

Valg i forbindelse med opstilling af stationær model

Inden den stationære grundvandsmodel kan opstilles, er det nødvendigt at gøre sig nogle overvejelser omkring, hvordan det system, der skal modelleres, bedst muligt beskrives stationært. En stationær grundvandsmodel vil altid repræsentere en form for gennemsnitssituation. Det er derfor vigtigt, at inddata til modellen og de data, modellen kalibreres mod, beskriver samme stationære situation. For inddata og observationsdata, der varierer med tiden, er det derfor nødvendigt at vurdere, hvilken periode der er mest velegnet til en stationær beskrivelse af det område, der skal modelleres.

Grundvandsmodellen i Århus Syd er kalibreret mod to typer observationsdata - pejlinger af grundvandsspejlet og vandføringsmålinger i vandløb, mens de tidsvarierende inddata til modellen er nettonedbør og indvindingsmængder. I det følgende vil det blive beskrevet, hvilke valg, der er gjort i Århus Syd, for at opnå samhoørende værdier for de tidsvarierende inddata og kalibreringsdataene.

På baggrund af en analyse af peyledata er det valgt at benytte synkronpejlerunden fra 2004 som udgangspunkt for kalibreringen. Pejlerunden giver en god rumlig dækning. Derudover er denne pejlerunde den nyeste i området og beskriver således grundvandsstanden svarende til indvindingsituationen på kalibreringstidspunktet bedst.

For at modsvare pejlegrundlaget er det valgt at benytte de på kalibreringstidspunktet nyeste indvindingsdata. For ÅKV's kildepladser er der således benyttet indvindingsmængder for perioden januar til september 2004. Indvindingsmængderne er efterfølgende opskaleret til årlige indvindinger. For øvrige indvindingsanlæg er der benyttet årlige indvindingsmængder fra 2003.

Da det ikke er muligt at beskrive vandbalancer og dermed grundvandspotentialer i dybere magasiner med nettonedbøren for blot et enkelt år, er det valgt at benytte en middelværdi for en 5-årig periode. For nettonedbøren er der således anvendt en distribueret middelværdi for perioden fra juni 1999 til og med maj 2004 svarende til en 5-årig periode op til tidspunktet for den synkronpejlerunde, der kalibreres mod.

Ud over peyledata kalibreres grundvandsmodellen mod vandføringsmålinger i vandløb. Vandføringer i vandløb antages at reagere relativt hurtigt i forhold til ændringer i nedbøren. Dette betyder, at der for at opnå overensstemmelse mellem nettonedbørmængder og afstrømninger i vandløb under kalibreringen af grundvandsmodellen, er benyttet vandføringsdata fra nogenlunde

samme periode, som den der er anvendt for nettonedbøren. For vandføringsmålinger er der således anvendt en middelværdi for perioden januar 1999 til og med december 2003.

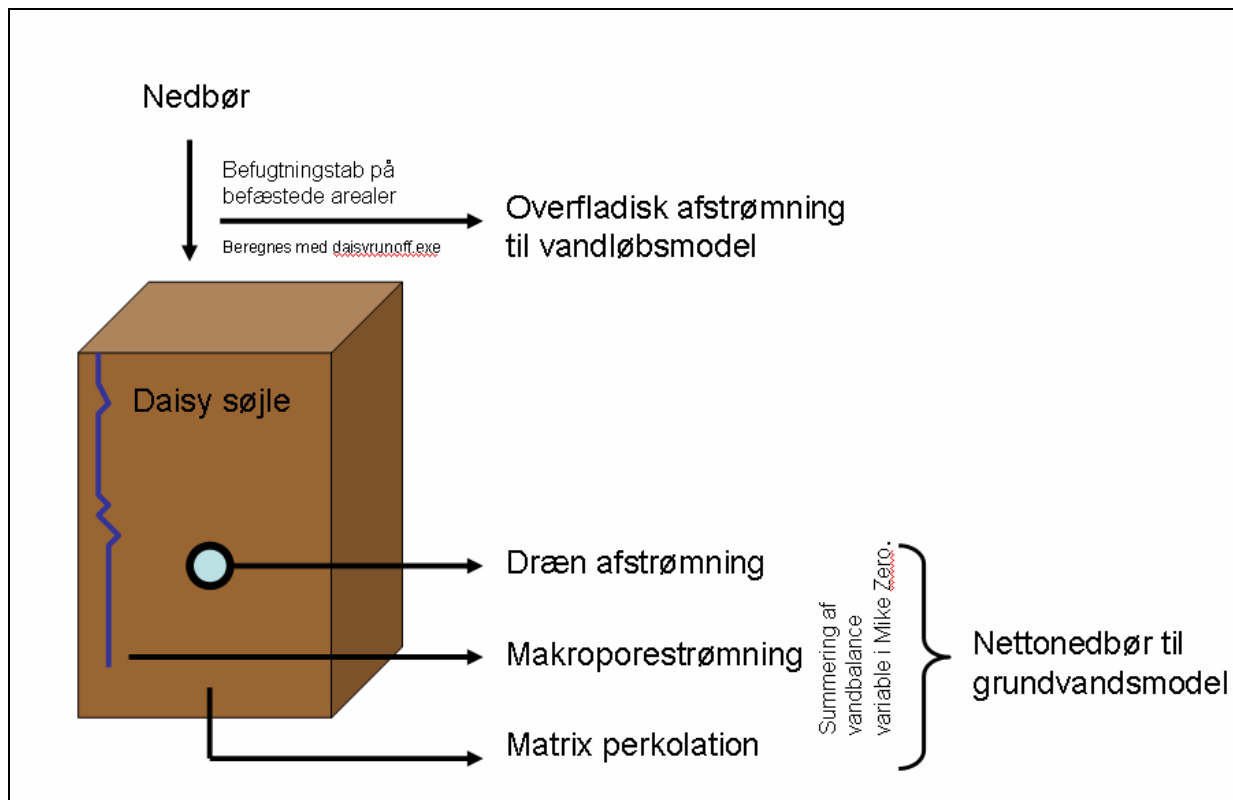
Samme procedure er benyttet ved udvælgelse af samhørende data til valideringen af grundvandsmodellen (DHI, 2005b, DHI, 2005c).

Inddata til grundvandsmodellen herunder randbetingelser og observationsdata vil blive gennemgået enkeltvis i det efterfølgende.

Nettonedbør

Nettonedbøren er en vigtig inputparameter til grundvandsmodellen. Beregningen af nettonedbøren er foretaget ved brug af DaisyGIS.

På figur 7.4.1 er vist, hvilke vandbalancevariable der fås som output fra DaisyGIS beregningen. Nettonedbøren er, som den er anvendt i grundvandsmodellen, beregnet som summen af drænastrømningen, makroporestrømningen og matrix perkolationen.



Figur 7.4.1 Skitse over vandbalanceparametre, der fås som output fra DaisyGIS (DHI, 2005a).

Nettonedbøren er beregnet for perioden januar 1981 til juni 2004. Nettonedbøren findes som dagværdier for hele perioden.

Nettonedbørsberegningerne med DaisyGIS er baseret på Århus Amts rodzonedatabase, meteorologiske tidsserier, arealanvendelseskort (AIS-data) samt information om landbrugsarealernes afgrødetypeforening (blokkort med GLR udtræk for år 2000). Til fastlæggelse af de drænedede arealer og drændybdere, som bliver benyttet som nedre randbetingelse i DaisyGIS, er

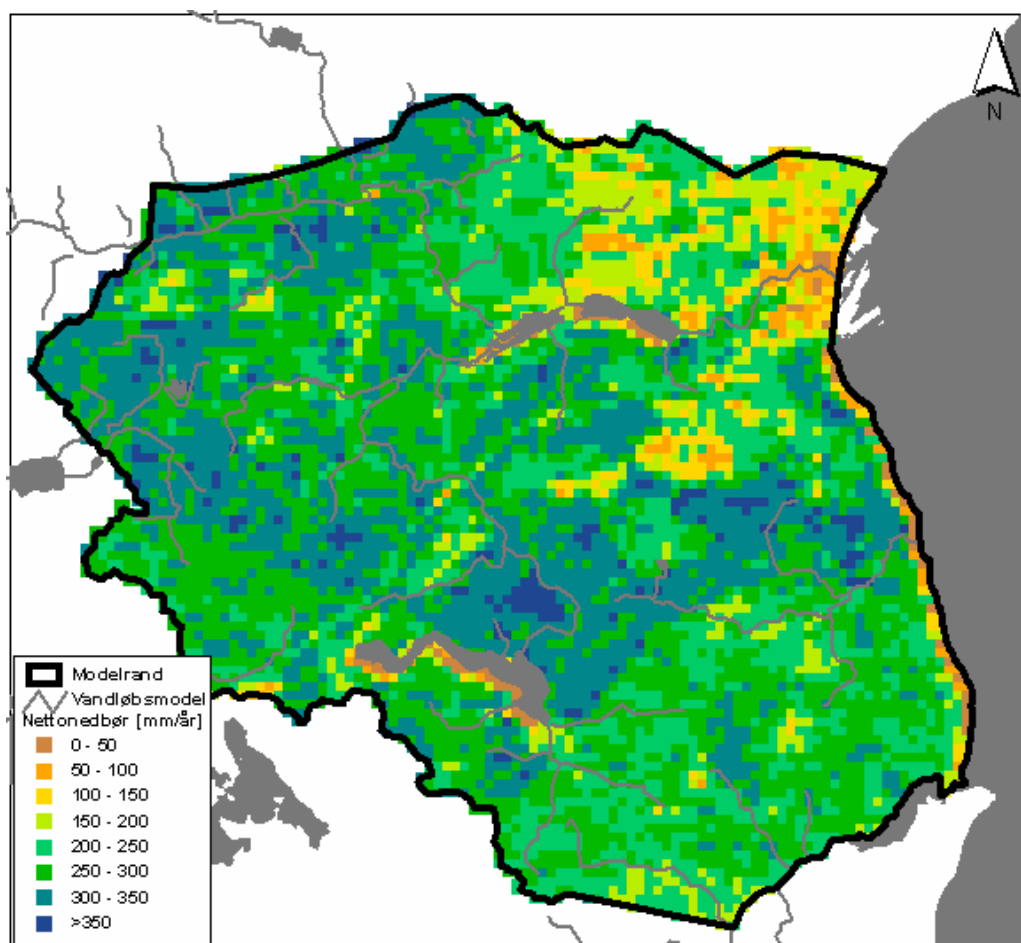
anvendt dybden til grundvandsspejlet ud fra et etableret potentialekort samt udbredelsen af lerede landbrugsjorde.

Opdateringen af de meteorologiske tidsserier, der anvendes som input til DaisyGIS, er foretaget under hensyntagen til den seneste udmelding fra forskningsinstitutionerne omkring nedbørskorrektion og beregning af fordampning (Plauborg m.fl., 2002). Fordelingen af nedbøren er foretaget på baggrund af den fordeling, der blev anvendt i Kasted grundvandsmodel (DHI, 2000).

For befæstede arealer er der foretaget en beregning af overfladisk afstrømning til vandløb via en overfladeafstrømningsmodel, der tager hensyn til et initial tab ved regnhændelser. Beregningen foregår uden for DaisyGIS. Den overfladiske afstrømning overføres ikke til grundvandsmodellen, men linkes i stedet til en vandløbsmodel, hvor den vil bidrage til vandføringen i vandløb, jf. figur 7.4.1.

Opsætningen af DaisyGIS er foretaget med samme overordnende opsætning, som den der benyttes til de senere nitratudvaskningsberegninger.

Som nævnt i det tidligere afsnit anvendes der som nettonedbør i grundvandsmodellen en distribueret middelværdi for perioden fra juni 1999 til og med maj 2004. Middelnettonedbøren som den er anvendt i grundvandsmodellen er vist på figur 7.4.2.



Figur 7.4.2 Middelnettonedbør for perioden fra juni 1999 til og med maj 2004 (DHI, 2005c).

En detaljeret beskrivelse af nettonedbørsberegningerne findes i DHI, 2005a.

Vandløb

Vandløbsopsætningen fra den regionale grundvandsmodel fra 1997 er anvendt som basis for en MIKE 11 model. Vandløbsopsætningen er dernæst blevet opdateret ved anvendelse af opmålte vandløbstværsnit for de største af vandløbene, vandløbsregulativer, betydende hydrauliske bygværker samt dybdekurver for større søer.

Ud over afstrømningen fra befæstede arealer som er nævnt under gennemgangen af nettonedbøren er der i MIKE 11 modellen medtaget bidrag til vandføringen i vandløbene fra rensningsanlæg, afværganlæg samt udledning af vand fra regnvandsbassin til sikring af minimumsvandføringen i Giber Å.

I den stationære grundvandsmodel foregår samspillet mellem MIKE 11 og MikeShe ved, at koten for vandspejlet i vandløbene, som beregnes i MIKE 11, overføres til MikeShe. Vandføringen i vandløbene beregnes efterfølgende ved brug af MikeShes vandbalance program.

Til kalibrering og validering af grundvandsmodellen er følgende vandløbsstationer anvendt: 27.09 Fulden, Giber Å, 21.61 Sophiendal, Knud Å, 26.14 A 15, Lyngbygårds Å, 26.01 Skibby, Århus Å, 26.02 Museumsbro, Århus Å og 26.05 Aldrup Mølle, Århus Å.

Tidsserier for ovenstående vandløbsstationer er i MIKE 11 blevet opdateret med målinger til og med 2003.

Pejledata

Der er inden for modelområdet foretaget synkronpejlerunder i årene 2001, 2002 og 2004. I pejlerunden foretaget i 2002 ligger kun få af pejlingerne inden for modelområdet, og denne kan derfor ikke benyttes til kalibrering af grundvandsmodellen. Pejlingerne fra 2001 og 2004 har derimod en bedre geografisk dækning – dog er dækningen for pejlerunden i 2004 bedst. Denne runde er valgt som kalibreringsgrundlag.

Som valideringsgrundlag er først og fremmest benyttet synkronpejlerunden fra 2001. Da denne runde ikke dækker hele modelområdet er der i valideringen af grundvandsmodellen endvidere benyttet pejledata fra 1995. Pejledataene fra 1995 er ikke synkronpejledata.

Indvindingsanlæg

Indvindingsanlæg beliggende inden for modelområdet med en indvindingstilladelse eller en maksimal indvinding inden for perioden 1981 til 2003 højere end 25.000 m³/år er medtaget i grundvandsmodellen.

I forhold til den regionale grundvandsmodel er indvindingstidsserierne for indvindingsanlæggene i grundvandsmodellen blevet opdateret med årene 1997 til 2003.

Afværganlæg og øvrige oppumpninger

Afværganlæggene Eskelund, Viby Ringvej, Rugholm og Glamhøjvej er medtaget i grundvandsmodellen. Derudover er medtaget oppumpning af grundvand til regnvandsbassin beliggende opstrøms Giber Å. Regnvandsbassinet anvendes til sikring af minimumsvandføringen i Giber Å.

Randbetingelser

Modelområdet afgrænsning er primært bestemt ved at følge topografiske oplandsgrænser til vandløb, kystlinie, vandløbsstrækninger samt højderygge i den prækvartære overflade. Dette afspejles i de anvendte randbetingelser, som består af lukkede rande samt rande med fastholdt trykniveau. Rande med fastholdt trykniveau er enten fastlagt ud fra vandstand i vandløb eller potentialekort. I den forbindelse er der etableret et potentialekort for de dybereliggende formationer bl.a. baseret på alle tilgængelige pejlinger herunder de udførte synkronpejlinger.

7.5 Kalibrering og validering

Kalibrering og validering af grundvandsmodellen er detaljeret beskrevet i DHI, 2005c og DHI, 2005d.

Grundvandsmodellen er kalibreret mod en kombination af pejlinger og vandløbsafstrømninger, hvilket sikrer, at den både kan beskrive vandbalancen samt de overordnede gradientforhold i magasinerne.

Kalibrering af grundvandsmodellen er hovedsageligt foretaget ved både at justere geologiske enheder og hydrauliske ledningsevner.

Kalibreringen af grundvandsmodellen har været en krævende proces. Dette skyldes meget komplekse geologiske forhold, der til trods for det omfattende arbejde, der er udført under opstilling af den hydrogeologiske model, ikke har kunnet gengives detaljeret nok. Indledende kalibrering viste, at det var nødvendigt at foretage mange strukturelle ændringer i den geologiske model for, at grundvandsmodellen kunne gengive observationsdata tilfredsstillende. Dette har for kalibreringsprocessen betydet, at der både inden og i forbindelse med de strukturelle ændringer i den geologiske model har været foretaget manuelle eller delvis automatiske optimeringer inden endelige automatiske optimeringer har kunnet gennemføres.

Kvalitative og kvantitative kalibreringskriterier angivet i GEUS, 2000b er anvendt ved kalibrering af grundvandsmodellen. I de kvalitative kriterier kræves, at de estimerede parametre skal have realistiske værdier, residualerne skal have en fornuftig fordeling, samt at grundvandsmodellen kan gengive områdets hydrogeologiske karakteristika. De kvantitative kriterier beskriver krav til afvigelserne mellem observerede og simulerede værdier.

Resultatet af kalibreringsprocessen blev to kalibrerede grundvandsmodeller som geologisk adskilte sig fra hinanden i et område ved Jeksen Bæk i den sydvestlige del af fokusområdet. Da der blev foretaget automatiske optimeringer på begge grundvandsmodeller er der ligeledes forskel i de estimerede parameterværdier. Der ses i området mellem Jeksen Bæk og Århus Å væsentlige forskelle i strømningsmønstret i de to modeller som konsekvens af den ændrede geologiske tolkning. De to grundvandsmodeller kaldes i det efterfølgende hhv. model 18. feb. og model 25. feb.

Både model 18. feb. og model 25. feb. overholder de statistiske krav til afvigelserne mellem simulerede og observerede peyledata. Model 25. feb. simulerer dog pejlingerne dårligere ved at have flere ekstreme afvigelser end model 18. feb. Model 25. feb. overholder kravene til de simulerede vandføringer. Bortset fra st. 26.01 Skibby, Århus Å overholder model 18. feb. ligeledes kravene til de simulerede vandføringer. I begge modeller simuleres der for lidt vand i vandløbet opstrøms st.

26.01 Skibby, Århus Å. I model 18. feb. er afvigelsen mellem observeret og simuleret vandføring ved målestationen på 12,5 %, mens den i model 25. feb. er 8.4 %. Det kvantitative krav til kalibreringen af vandføringen i målestation st. 26.01, Skibby, Århus Å er, at afvigelsen mellem observeret og simuleret vandføring maksimalt må være 10 %.

Begge modeller overholder de ovennævnte kvalitative kriterier.

Valideringen foretaget på baggrund af synkronpejlerunden fra 2001 viser nogenlunde samme resultater som resultatet af kalibreringen.

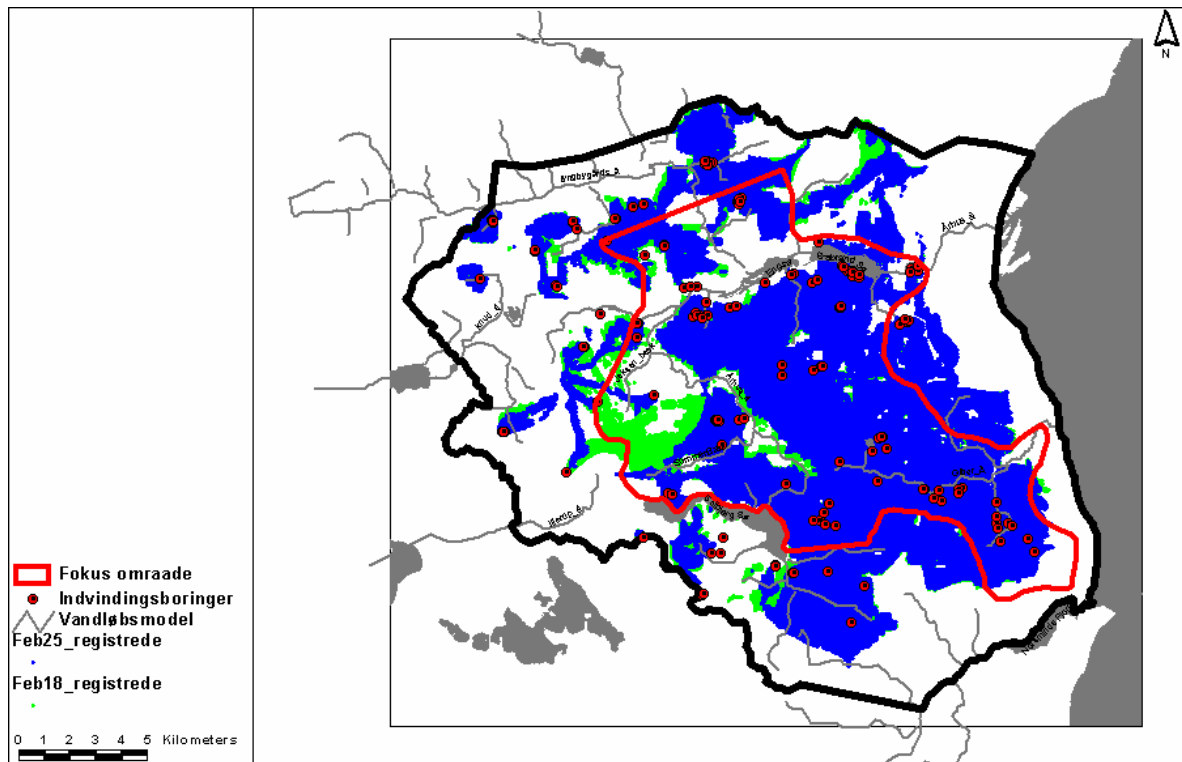
Ved valideringen med pejlingerne fra 1995 overskrides de kvantitative krav til pejlingerne i begge modeller. Derudover tørlægges 7 indvindingsboringer. I alle vandføringsstationer er den simulerede vandføring større end den observerede. Afvigelserne mellem observeret og simuleret vandføring ligger for flere af vandføringsstationerne meget tæt på de øvre grænser af de kvantitative krav til kalibreringen af vandføringen og for en enkelt målestation ses en begrænset overskridelse af kravet i model 25. feb.

Det skal kort nævnes, at der i tillæg til den stationære modelløsning, er gennemført en dynamisk evaluering af grundvandsmodellen. Der er foretaget en dynamisk simulering over perioden fra januar 1981 til og med maj 2004. Den dynamiske evaluering viser, at grundvandsmodellen simulerer vandbalancen og afstrømningen tilfredsstillende gennem hele perioden, hvilket peger på, at nettonedbøren er beskrevet tilfredsstillende. Som det er tilfældet i valideringen med pejlinger fra 1995, viser den dynamiske model ligeledes problemer med boringer, der løber tørre.

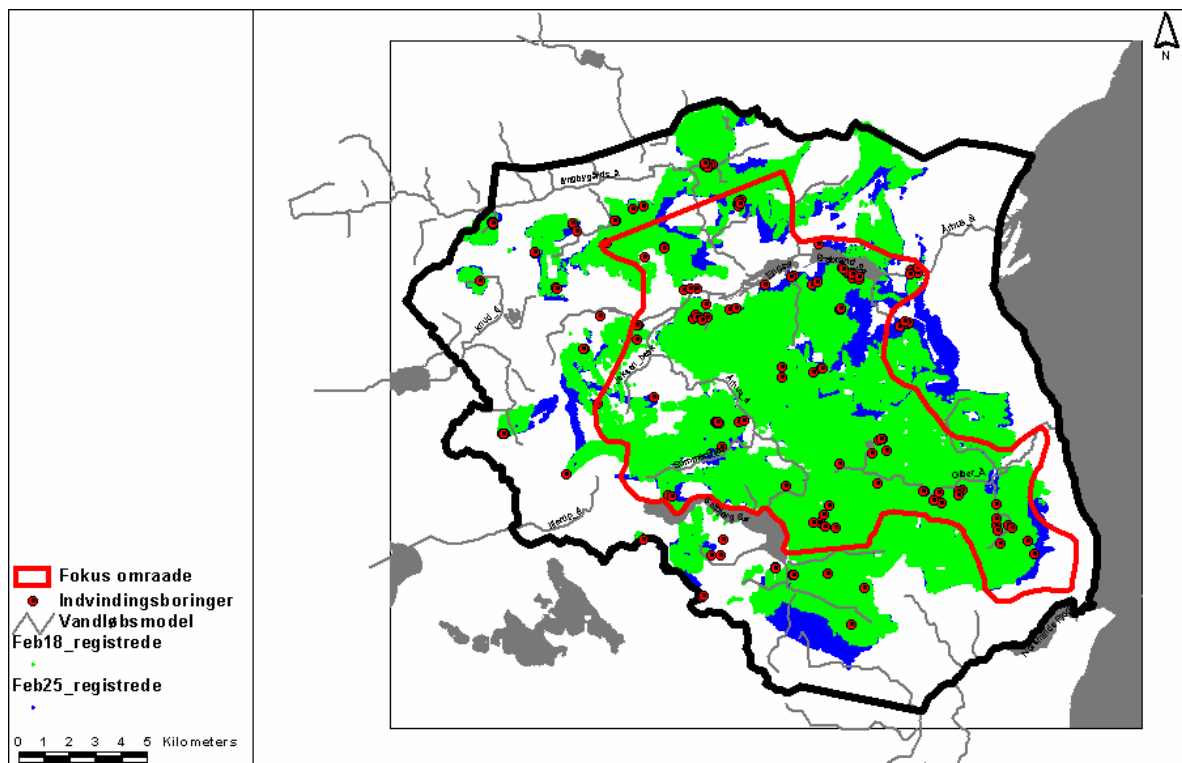
7.6 Partikelbanekørsler med de to kalibrerede grundvandsmodeller

Partikelbanekørsler med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at langt størstedelen af fokusområdet er grundvandsdannende opland til områdets kildepladser. Dette betyder, at vandindvindingsanlæggene i området stort set indvinder vand fra alle områder inden for fokusområdet.

Den samlede udbredelse af de grundvandsdannende oplande for hhv. model 18. feb. og model 25. feb. er vist i figur 7.6.1 og figur 7.6.2.



Figur 7.6.1 Samlet grundvandsdannende opland afbildet som model 25. feb. over model 18. feb. (DHI, 2005d).



Figur 7.6.2 Samlet grundvandsdannende opland afbildet som model 18. feb. over model 25. feb. (DHI, 2005d).

På baggrund af partikelbaneberegninger med de to grundvandsmodeller samt ved sammenligning af partikeltransporttider til udvalgte borerer præsenteret i form af gennembrudskurver med alder af grundvandet vurderet ved hjælp af vandkemiske analyser (vandtyper) blev det undersøgt, hvorvidt det var muligt at vælge den ene grundvandsmodel frem for den anden. For detaljeret beskrivelse af de udførte analyser samt konklusioner henvises til Århus Amt, 2005b samt DHI, 2005d.

Sammenligning af de grundvandsdannende områder fra de to modeller viser, at udformningen af de grundvandsdannende oplande for de enkelte kildepladser varierer for en stor del af kildepladserne, (Århus Amt, 2005b). Ser man imidlertid på det samlede grundvandsdannende opland for alle kildepladserne, er det nogenlunde de samme områder, der er i spil i de to grundvandsmodeller, jf. figur 7.6.1 og 7.6.2. Dog skal det bemærkes, at der i området hhv. syd for Jeksen Bæk og mellem Jeksen Bæk og Århus Å er stor forskel mellem de grundvandsdannende områder i de to modeller. På grund af geologisk usikkerhed i dette område, som resulterer i ukendt strømningsmønster vil modelresultaterne fra begge grundvandsmodeller her være behæftet med stor usikkerhed. Resultaterne fra de to grundvandsmodeller kan derfor ikke direkte anvendes i dette område. Den endelige udpegning af områder, der skal beskyttes, skal her derfor alene findes ved brug af de nitratsårbare områder.

Begge grundvandsmodeller viser, at de grundvandsdannende oplande til de enkelte kildepladser, som følge af den høje vandindvinding inden for fokusområdet, er flettet ind i hinanden.

Sammenligning af partikeltransporttider med vandkemiske analyser (vandtyper) viste, at de to modeller generelt rammer de grundvandkemiske forhold godt. Gennemgangen har dog vist, at der er en tendens til, at model 25. feb. for en del af kildepladserne giver bedre resultater end model 18. feb. Modellerne er dog også i flere tilfælde lige gode til at simulere vandets alder.

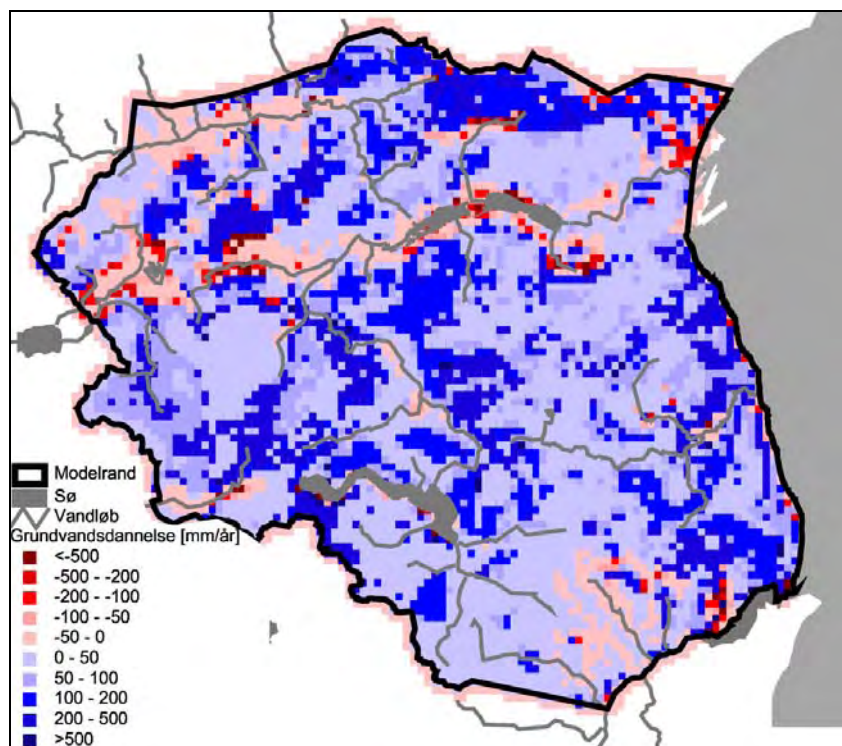
På trods af resultaterne fra sammenligningen af partikelaldre og vandkemiske analyser (vandtyper) blev det vurderet, at der ikke var et tilstrækkeligt statistisk grundlag til at kunne vælge den ene model frem for den anden. Derudover var der ikke et dokumenteret kendskab til, hvor store forskelle der kræves i gennembrudskurverne fra de to modeller for, at det for hver undersøgt boring klart kunne afgøres, hvilken model der beskrev de geologiske og strømningsmæssige forhold bedst.

På baggrund af de udførte analyser var det således ikke muligt at vælge den ene grundvandsmodel frem for den anden.

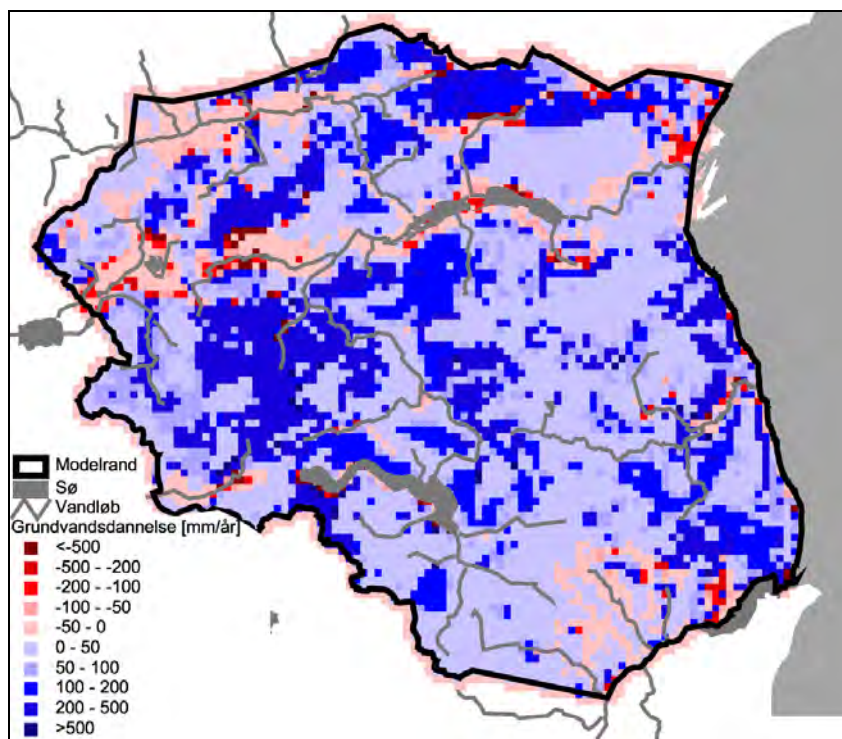
Grundvandsmodellen kan udpege det samlede grundvandsdannende opland. På grund af dels geologisk kompleksitet dels vekslende og stor vandindvinding inden for fokusområdet er det ikke muligt at afgrænse et præcist grundvandsdannende opland knyttet til den enkelte kildeplads.

7.7 Fladekort over grundvandsdannelsen for model 18. feb. og model 25. feb.

På figurerne 7.7.1 og 7.7.2 er grundvandsdannelsen beregnet som udvekslingen mellem beregningslag 1 og 2 vist for både model 18. feb. og model 25. feb.



Figur 7.7.1 Grundvandsdannelse beregnet som udvekslingen mellem beregningslag 1 og 2. Positive værdier (blå områder) viser, hvor der sker grundvandsdannelse. Model 18. feb.



Figur 7.7.2 Grundvandsdannelse beregnet som udvekslingen mellem beregningslag 1 og 2. Positive værdier (blå områder) viser, hvor der sker grundvandsdannelse. Model 25. feb.

Den største forskel mellem grundvandsdannelsen til beregningslag 2 ses i området vest for Jeksen bæk og i området mellem Jeksen Bæk og Århus Å. Det er dog også inden for dette område, at de to

grundvandsmodeller adskiller sig geologisk fra hinanden, således at grundvandsdannelsen i dette område er større i model 25. feb. end i model 18. feb.

7.8 Sammenligning af vandbalancer fra model 18. feb. og model 25. feb.

Forskellene i vandbalancerne for de to grundvandsmodeller afspejler tydeligt, hvordan usikkerheden i den geologiske model resulterer i usikkerhed på vandbalancerne bestemt med grundvandsmodellen.

I tabel 7.8.1 og 7.8.2 er vandbalancerne for de to kalibrerede grundvandsmodeller vist. I det nedenstående er forskelle mellem vandbalancerne fra de to grundvandsmodeller kommenteret for hvert af indsatsområderne.

Område	Nettonedbør	Rand	Vandløb	Oppumpning	Oppumpning		Grundvandsdannelsen	
		Alle lag	Alle lag	Alle lag	Lag 5	Lag 6	Lag 5	Lag 6
Model	262	20	209	32	13	13	20	14
Fokus	272	15	190	67	27	31	28	32
Beder	264	13	153	98	56	41	49	34
Stautrup	246	4	146	96	48	44	26	32
Storskoven	243	-3	205	41	1	29	4	22
Østerby	302	102	142	58	22	36	51	51
Åbo	283	42	189	52	18	6	18	7

Tabel 7.8.1 Vandbalancenøgletal for model 18. feb. Enhed: mm/år (DHI, 2005c).

Område	Nettonedbør	Rand	Vandløb	Oppumpning	Oppumpning		Grundvandsdannelsen	
		Alle lag	Alle lag	Alle lag	Lag 5	Lag 6	Lag 5	Lag 6
Model	262	18	211	32	13	13	20	14
Fokus	272	7	199	67	27	31	26	32
Beder	264	10	156	98	56	41	53	36
Stautrup	246	20	130	96	48	44	36	31
Storskoven	243	24	179	41	1	29	12	30
Østerby	302	101	143	58	22	36	44	47
Åbo	283	-20	251	52	17	6	-2	10

Tabel 7.8.2 Vandbalancenøgletal for model 25. feb. Enhed: mm/år (DHI, 2005c).

Grundvandsdannelsen er bestemt som forskellen mellem det lagene i grundvandsmodellen netto tilføres oppefra og mister til laget under. Vandløbsudveksling er ikke fratrukket grundvandsdannelsen.

Opgørelserne for randstrømningen, vandløbsudvekslingen samt oppumpningen er opgjort samlet for alle 7 beregningslag. Da den væsentligste del af oppumpningen foregår fra beregningslag 5 og 6, er det i tabel 7.8.1 og 7.8.2 derudover valgt at udspecificere oppumpningen og grundvandsdannelsen for disse to beregningslag.

For en stationær grundvandsmodel af denne type er der kun fire komponenter i en dybdeintegreret vandbalance, nemlig nettonedbøren, strømning over rand, indvinding og udveksling med vandløb, Vandbalanceligningen, når alle beregningslag, medtages bliver således:

$$\text{nettonedbør} = \text{rand} + \text{vandløb} + \text{oppumpning}$$

Den største forskel mellem vandbalancerne for hhv. model 18. feb. og model 25. feb. ses for Åbo indsatsområde. Dette er forventeligt, da det er inden for dette indsatsområde, at de to grundvandsmodeller adskiller sig geologisk fra hinanden. Der ses dog også forskelle for de øvrige indsatsområder.

Fokusområde

For fokusområdet ses, at den samlede nettoudstrømning over randen mindskes i model 25. feb. og den samlede vandløbsudveksling øges med den tilsvarende mængde. Når alle beregningslagene medtages er fokusområdet derfor et grundvandsgenererende område.

Størrelsen af oppumpningen i beregningslag 5 og 6 svarer stort set til størrelsen af grundvandsdannelsen til de respektive beregningslag. Dog skal nævnes, at oppumpningen i beregningslag 5 i model 25. feb. overstiger grundvandsdannelsen til laget med 1 mm/år.

Beder Indsatsområde

For Beder Indsatsområde ses begrænsede forskelle i vandbalancen bestemt med de to grundvandsmodeller. Beder Indsatsområde er et grundvandsgenererende område, når alle beregningslag medtages.

For beregningslag 5 og 6 er der et misforhold mellem grundvandsdannelsen og oppumpningen ved, at oppumpningen er større end grundvandsdannelsen. Dette vil sige, at der inden for indsatsområdet i begge grundvandsmodeller ikke kan genereres tilstrækkeligt med grundvand til oppumpningen i beregningslag 5 og 6. Underskuddet dækkes primært ved, at der i beregningslag 5 foregår grundvandsstrømning ind over randen til Beder Indsatsområde.

Stautrup Indsatsområde

For Stautrup Indsatsområde er den samlede nettoudstrømning over randen øget i model 25. feb. og den samlede vandløbsudveksling er mindsket med den tilsvarende mængde. Når alle beregningslag medtages er Stautrup Indsatsområde et grundvandsgenererende område.

Grundvandsdannelsen til beregningslag 5 er øget i model 25. feb. I begge grundvandsmodeller er der dog for beregningslag 5 og 6 et misforhold mellem grundvandsdannelsen og oppumpningen ved, at oppumpningen er større end grundvandsdannelsen. Dette vil sige, at der inden for indsatsområdet i begge grundvandsmodeller ikke kan genereres tilstrækkeligt med grundvand til oppumpningen i beregningslag 5 og 6. Underskuddet dækkes primært ved, at der i beregningslag 5 og 6 foregår grundvandstrømning ind over randen til Stautrup Indsatsområde.

Storskoven Indsatsområde

For Storskoven Indsatsområde er retningen på nettorandstrømningen (dvs. udstrømning – indstrømning) forskellig i de to grundvandsmodeller. I model 18. feb. er Storskoven Indsatsområde et grundvandsforbrugende område, når alle beregningslag medtages, idet der er en samlet nettoindstrømning over randen. I model 25. feb. er der en samlet nettoudstrømning over randen, og indsatsområdet er således et grundvandsgenererende område i denne grundvandsmodel, når alle beregningslag medtages.

Den samlede vandløbsudveksling er i model 25. feb. mindsket svarende til den forskel, der er mellem størrelsen af den samlede randstrømning i de to grundvandsmodeller.

Grundvandsdannelsen til både beregningslag 5 og 6 er øget i model 25. feb. Oppumpningen fra beregningslag 6 i model 18. feb. er større end grundvandsdannelsen til laget. Dette vil sige, at der inden for indsatsområdet i model 18. feb. ikke kan genereres tilstrækkeligt med grundvand til oppumpningen i beregningslag 6. Underskuddet dækkes primært ved, at der i beregningslag 6 foregår grundvandstrømning ind over randen til Storskoven Indsatsområde.

Østerby Indsatsområde

For Østerby Indsatsområde ses der begrænsede forskelle i vandbalancen bestemt med de to grundvandsmodeller. Indsatsområdet er et grundvandsgenererende område. Indsatsområdet har i forhold til de øvrige indsatsområder den største samlede nettoudstrømning over randen.

Oppumpningen fra beregningslag 5 og 6 er mindre end grundvandsdannelsen til de respektive beregningslag. Indsatsområdet er omgivet af andre indsatsområder.

Åbo Indsatsområde

Når alle beregningslag medtages er Åbo Indsatsområde et grundvandsgenererende område i model 18. feb., idet der er en samlet nettoudstrømning over randen. I model 25. feb. er der en samlet nettoindstrømning over randen, og indsatsområdet er således et grundvandsforbrugende område i denne grundvandsmodel, når alle beregningslag medtages.

Den samlede vandløbsudveksling er i model 25. feb. øget svarende til den forskel, der er mellem størrelsen af den samlede randstrømning i de to grundvandsmodeller.

Grundvandsdannelsen til beregningslag 5 falder i model 25. feb. med 20 mm, hvorefter oppumpningen fra beregningslag 5 i model 25. feb. bliver større end grundvandsdannelsen til laget. Dette vil sige, at der inden for indsatsområdet i model 25. feb. ikke kan genereres tilstrækkeligt med grundvand til oppumpningen i beregningslag 5. Underskuddet dækkes primært ved, at der i beregningslag 5 foregår grundvandstrømning ind over randen til Åbo Indsatsområde.

7.9. Indvindingsbelastningen for fokusområde og indsatsområder

Vandbalanceopgørelserne viser, at når grundvandsdannelsen opgøres som det grundvand, der samlet er til rådighed for de beregningslag, der indvindes fra inden for fokusområdet, så udgør den samlede oppumpning over 80 % af den samlede grundvandsdannelse. Anvendes i stedet grundvandsdannelsen til de beregningslag med den væsentligste oppumpning, udgør oppumpningen fra disse beregningslag over 97 % af grundvandsdannelsen til de pågældende beregningslag.

I tabel 7.9.1 er der foretaget en samlet opgørelse af grundvandsdannelsen for de beregningslag, der indvindes fra inden for de enkelte områder. For det samlede fokusområde samt for hhv. Storskoven og Åbo indsatsområder er der endvidere foretaget en beregning af grundvandsdannelsen inden for de beregningslag med den væsentligste indvinding. Det skal nævnes, at beregningslagene ikke følger magasingrænserne. Grundvandsdannelsen er bestemt som forskellen mellem det toplaget netto tilføres oppefra og det bundlaget mister til laget under. Vandløbsudveksling er ikke fratrukket grundvandsdannelsen.

Da beregningen af grundvandsdannelsen i tabel 7.9.1 tager udgangspunkt i beregningslagene og således ikke tager hensyn til beliggenheden af de egentlige magasngrænser, kan grundvandsdannelsen i tabel 7.9.1 kun opfattes som en overslagsværdi for grundvandsdannelsen til grundvandsmagasinet. Dette vurderes dog at være tilstrækkeligt til at foretage en overordnet sammenligning af, hvor stor en del indvindingen udgør af grundvandsdannelsen.

				Model 18. feb.	Model 25. feb.
Samlet indvinding	Toplag	Bundlag	Oppumpning	Grundvandsdannelse	Grundvandsdannelse
Fokusområde	3	7	66	70	83
Beder indsatsområde	5	6	96	84	89
Stautrup indsatsområde	5	6	93	58	67
Storskoven indsatsområde	3	7	41	34	47
Østerby indsatsområde	5	6	58	103	91
Åbo indsatsområde	3	7	52	For usikkert bestemt	
Væsentligste del af indvinding					
Fokusområde	5	6	58	60	59
Storskoven indsatsområde	6	6	29	22	30
Åbo indsatsområde	4	5	38	For usikkert bestemt	

Tabel 7.9.1 Sammenligning af grundvandsdannelse og indvinding. Enheden for oppumpning og grundvandsdannelse er mm/år.

I tabel 7.9.2 er grundvandsdannelsen til grundvandszonen angivet for model 18. feb. og model 25. feb. Tallene er beregnet som forskellen mellem nettonedbør og den samlede vandløbsudveksling fra alle beregningslag angivet i tabellerne 7.8.1 og 7.8.2. Tallene beskriver, hvor meget vand der er til rådighed for grundvandszonen, når den samlede vandløbsudveksling for alle beregningslag er fratrukket. Der er i beregningen af grundvandsdannelsen til grundvandszonen ikke taget hensyn til beliggenheden af grundvandsmagasiner.

Område	Oppumpning	Model 18. feb.	Model 25. feb.
		Grundvandsdannelse til grundvandszonen	Grundvandsdannelse til grundvandszonen
Fokus	67	82	73
Beder	98	111	108
Stautrup	96	100	116
Storskoven	41	38	64
Østerby	58	160	159
Åbo	52	94	32

Tabel 7.9.2 Grundvandsdannelsen til grundvandszonen. Enhed: mm/år.

For en god ordens skyld skal det nævnes, at oppumpningen i dette afsnit svarer til oppumpningen og indvindingsfordelingen mellem kildepladser, som den er anvendt i kalibreringen. Der er således ikke redegjort for vandbalancer for indvindingstilladelser eller for Århus Kommunale Værkers ønsker til en anderledes indvindingsfordeling i scenarieberegningerne mellem kildepladser og borerer jf. afsnit 7.11.

I det følgende er der for fokusområdet samt for hvert af indsatsområderne, som helt er indeholdt i fokusområdet, foretaget en overordnet vurdering af grundvandsdannelsens størrelse i forhold til indvindingen. Til vurderingen er tabellerne 7.9.1 og 7.9.2 benyttet.

Fokusområde

Tabel 7.9.1 viser, at grundvandsdannelsen til de beregningslag, der indvindes fra inden for fokusområdet, er nogenlunde på størrelse med oppumpningen inden for indsatsområdet. Anvendes grundvandsdannelsen til alle de beregningslag der indvindes fra, udgør oppumpningen over 80 % af grundvandsdannelsen. Anvendes i stedet grundvandsdannelsen til de beregningslag med den væsentligste oppumpning, udgør oppumpningen over 97 % af grundvandsdannelsen.

Beder Indsatsområde

Tabel 7.9.1 viser, at grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, er mindre end oppumpningen inden for Beder Indsatsområde. Det betyder, at den totale grundvandsdannelse til de beregningslag, der pumpes fra, indvindes.

Partikelbaneberegninger med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at flere af kildepladserne inden for indsatsområdet i et eller andet omfang henter vand uden for Beder indsatsområde.

Stautrup Indsatsområde

Tabel 7.9.1 viser, at grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, er mindre end oppumpningen inden for Stautrup Indsatsområde. Det betyder, at den totale grundvandsdannelse til de beregningslag, der pumpes fra, indvindes.

Partikelbaneberegninger med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at bl.a. Stautrup kildeplads i et eller andet omfang henter vand uden for Stautrup indsatsområde.

Storskoven Indsatsområde

Vandbalancerne for model 18. feb. viser, at inden for Storskoven indsatsområde er grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, mindre end oppumpningen. Både tabel 7.9.1 og tabel 7.9.2 viser, at hele grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, indvindes.

Vandbalancerne for model 25. feb. viser, at grundvandsdannelsen til de beregningslag, der indvindes fra, er nogenlunde på størrelse med oppumpningen inden for indsatsområdet. Dette ses tydeligt, når grundvandsdannelsen for beregningslag 6, hvor stort set hele indvindingen oppumpes fra, betragtes. I dette tilfælde udgør oppumpningen 97 % af grundvandsdannelsen. Anvendes i stedet grundvandsdannelsen til alle de beregningslag, der indvindes fra, udgør oppumpningen 87 % af grundvandsdannelsen.

Partikelbaneberegninger med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at bl.a. Storskoven kildeplads i et eller andet omfang henter vand uden for Storskoven indsatsområde.

Østerby Indsatsområde

Tabel 7.9.1 viser, at grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, er større end oppumpningen inden for Østerby Indsatsområde. Dette betyder, at kun ca. 60 % af grundvandsdannelsen til de beregningslag, der pumpes fra, indvindes af kildepladser inden for indsatsområdet. Indsatsområdet er omgivet af andre indsatsområder.

Partikelbaneberegninger med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at Østerby kildeplads i et eller andet omfang henter vand uden for Østerby indsatsområde.

Åbo Indsatsområde

Som beskrevet i afsnit 7.8 er der inden for Åbo indsatsområde væsentlige forskelle på vandbalancerne i de to grundvandsmodeller. Disse forskelle ses ligeledes i grundvandsdannelsen til grundvandszonen i tabel 7.9.2, hvor der er en forskel på 62 mm mellem de to grundvandsmodeller. Resultaterne fra model 25. feb. peger på, at oppumpningen inden for indsatsområdet er for stor i forhold til grundvandsdannelsen. Dette ses ikke i vandbalancerne for model 18. feb.

På grund af de store forskelle i vandbalancerne for de to grundvandsmodeller kan der ikke redegøres for, hvor stor en del af grundvandsdannelsen inden for indsatsområdet der oppumpes.

Partikelbaneberegninger med model 18. feb. og model 25. feb. viser, at bl.a. Harlev kildeplads i et eller andet omfang henter vand uden for Åbo indsatsområde. Det skal nævnes, at Århus Kommunale Værker har ønsket en anderledes indvindingsfordeling for Åbo og Harlev kildepladser i scenarieværkerne, jf. afs. 7.11 end den, der er anvendt i model 18. feb. og model 25. feb. Dette vil påvirke de grundvandsdannende oplande.

7.10 Anvendelsen af grundvandsmodellen

Kalibreringen, valideringen samt den dynamiske evaluering af modellen påpeger følgende problemstillinger ved anvendelse grundvandsmodellen (DHI, 2005c, GEUS, 2006):

- Det er nødvendigt med en varsom anvendelse af grundvandsmodellen inden for områder, der ikke har indgået i kalibreringen. Dette vil sige områder, hvor der ikke har været pejledata til rådighed under kalibreringen. Her tænkes på områder, der ikke har været dækket af synkronpejlerunden i 2004. Til trods for, at der har været en god pejledækning under kalibreringen er geologien i modelområdet så kompleks, at det ikke kan udelukkes, at områder uden pejledækning ikke er tilstrækkeligt godt kalibreret. Når der i grundvandsmodellen introduceres nye indvindinger i sådanne områder, kan det have den konsekvens, at indvindingsboringerne lukker i grundvandsmodellen pga. tørlægning.
- På baggrund af valideringen med pejlinger fra 1995 konkluderes det i GEUS, 2006, at grundvandsmodellen er falsificeret i forbindelse med simulering af trykniveau i og omkring Brabranddalen under klima- og indvindingsforhold, der afviger signifikant fra niveauet anvendt under modelkalibreringen. Hovedårsagen til falsificeringen vurderes at skyldes den meget komplekse geologiske opbygning af Brabranddalen, som endnu ikke er fuldstændig forstået. Det er dog imidlertid ikke muligt at udelukke, at ikke stationære forhold ligeledes kan have haft betydning. Falsificeringen i Brabranddalen har ført til en opdeling af modelområdet i en nordlig og sydlig del, jf. figur 7.11.1. Nord for skillelinien vurderes grundvandsmodellen at have begrænset anvendelighed, således at kun simuleringsresultater, der er baseret på grundvandsindvinding og nettonedbør, som anvendt under kalibreringen, kan benyttes til analyse af grundvandsdannende områder til de enkelte kildepladser. Dette betyder, at scenarieberegningerne, jf. afsnit 7.11, kan benyttes i vurderingen af det samlede grundvandsdannende opland, men ikke til en opdeling af dette på kildepladsniveau. Syd for linien vurderes modellen at have større gyldighedsområde, og modellen kan her også anvendes til scenarieanalyser på kildepladsniveau (GEUS, 2006). Modellen kan med andre ord benyttes til for den enkelte kildeplads at kvantificere effekten af ændringer i f.eks. fremtidig grundvandsindvinding, nettonedbør eller fordeling af arealanvendelse.

7.11 Scenarieberegninger med model 25. feb.

Da model 18. feb. og model 25. feb. udpegede stort set det samme samlede grundvandsdannende opland er det valgt kun at udføre scenarieberegninger med model 25. feb. Scenarieberegningerne og resultaterne heraf er detaljeret beskrevet i DHI, 2005e.

Scenarieberegningerne er brugt til udpegning af grundvandsdannende oplande. Som nævnt i afsnit 7.10 samt i GEUS, 2006 skal scenarieberegningerne anvendes forskelligt nord og syd for skillelinien angivet på figur 7.11.1. For kildepladser nord for skillelinien er scenarieberegningerne blevet brugt i vurderingen af det samlede grundvandsdannende opland. For kildepladser syd for linien har det derudover været muligt at benytte scenarieberegningerne på kildepladsniveau, jf. afsnit 7.12.

Der er gennemført partikelbaneberegninger på i alt 3 scenarieberegninger. Disse er kort beskrevet i tabel 7.11.1

Scenarium	Klima	Indvindingsstruktur og -mængde
1	Aktuel nettonedbør	Aktuel indvinding
2	Aktuel nettonedbør	Tilladelser
3	Lille nettonedbør	Aktuel indvinding

Tabel 7.11.1 Scenarieberegninger, kombination af klima og indvindingsmængde.

For Århus Kommunale Værkers kildepladser er der som "Aktuel indvinding" benyttet indvindingsmængder for perioden januar til september 2004. Indvindingsmængderne er efterfølgende opskaleret til årlige indvindinger. For øvrige indvindingsanlæg er der som "Aktuel indvinding" benyttet indvindingsmængder fra 2003. "Tilladelser" svarer til indvindingstilladelsens størrelse.

Århus Kommunale Værker har fastlagt den fordeling af indvindingen mellem kildepladser og borer, der er blevet benyttet i scenarieberegningerne for deres kildepladser. For nogle af kildepladserne adskiller den sig fra den fordeling, der er anvendt under kalibreringen.

Med "Aktuel nettonedbør" menes den nettonedbør, der er anvendt under kalibreringen af modellen, hvilket vil sige en distribueret middelværdi for perioden fra juni 1999 til og med maj 2004. I scenariet med "Lille nettonedbør" er anvendt en nettonedbør på 70 % af den aktuelle nettonedbør. Dette er i overensstemmelse med Miljøstyrelsens anbefaling til amterne om klimakorrektion ved vandressourceopgørelser (Miljøstyrelsen, 1995).

Til scenario 2 skal bemærkes, at på grund af tørlagte borer i grundvandsmodellen ved Stautrup Kildeplads (751-10-0202-00) er 0,397 mio. m³/år af indvindingstilladelsen på Stautrup kildeplads omfordelt til Constantinsborg kildeplads. På trods af omfordelingen mellem de to kildepladser mangler der pga. tørlagte borer i grundvandsmodellen stadig at blive oppumpet 0,252 mio. m³/år af indvindingstilladelsen for Stautrup kildeplads i scenario 2.

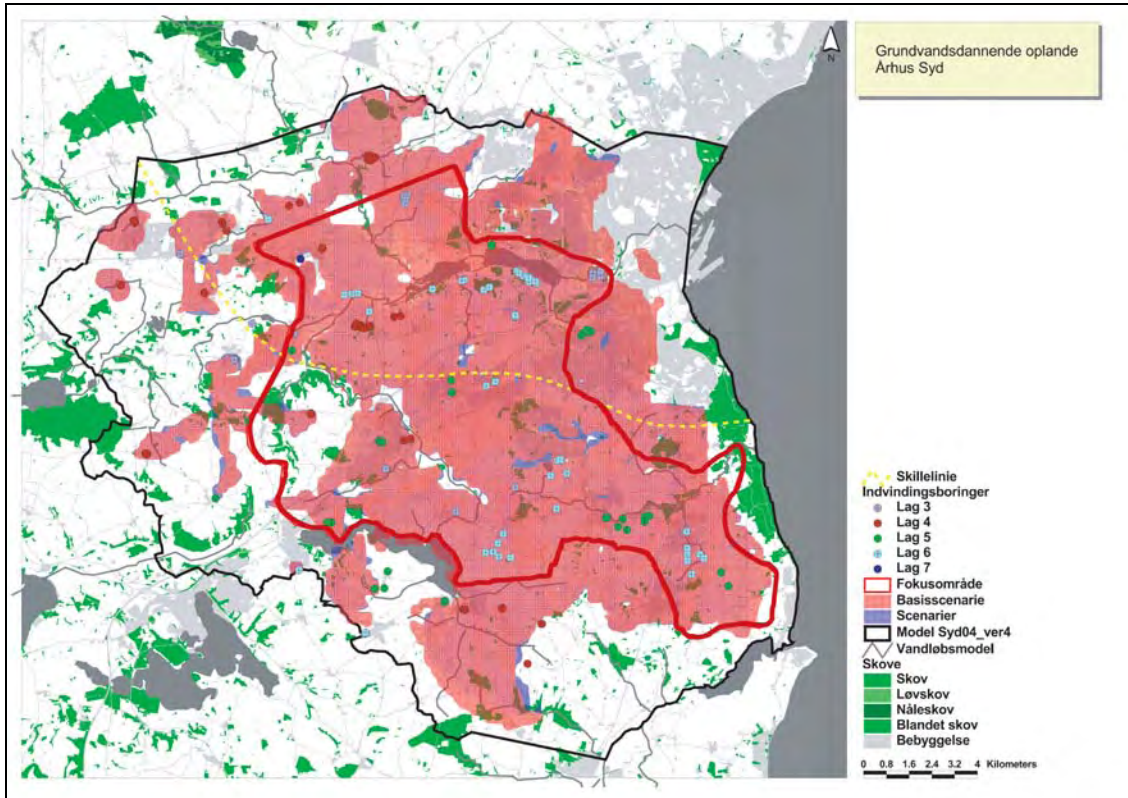
Scenario 2, som anvender aktuel nettonedbør og indvindingstilladelser, betragtes som basisscenariet.

Der skelnes mellem grundvandsdannende oplande og indvindingsoplande. Det grundvandsdannende opland for en kildeplads er det areal på terræn inden for hvilket, der dannes grundvand ved infiltration af nedbør, som på et tidspunkt pumpes op i kildepladsen. Indvindingsoplandet for en kildeplads er de dele af grundvandsmagasinerne, inden for hvilke der strømmer grundvand, der på et tidspunkt pumpes op på kildepladsen.

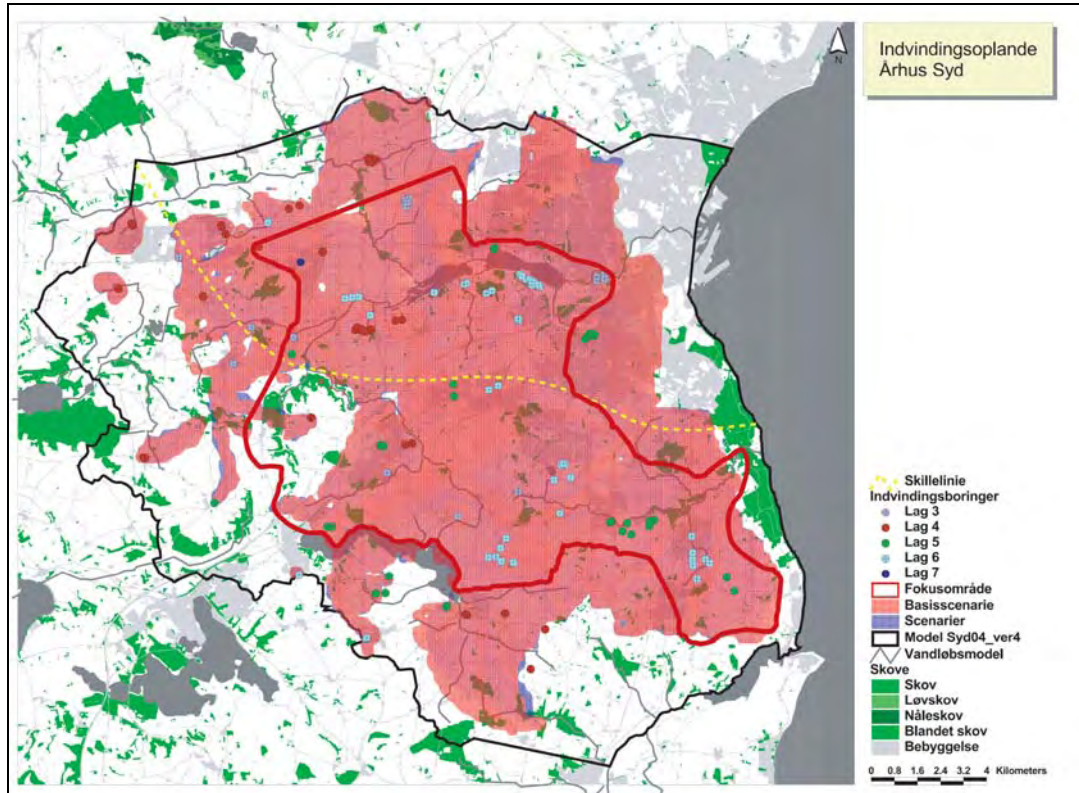
Udstrækningen af de grundvandsdannende oplande og indvindingsoplandene er bestemt ud fra partikelbaneberegninger med grundvandsmodellen, på den måde at et stort antal tænkte vandpartikler har fulgt strømningsmønsteret simuleret med grundvandsmodellen, hvorefter det er fastlagt, hvilke partikler der ender i hvilke indvindingsboringer. Bestemmelsen af oplandene er herefter foregået ved at holde styr på, hvorfra partikler, der når indvindingsboringer, stammer.

I forbindelse med den modelmæssige udpegning af grundvandsdannende oplande pointeres det, at partiklernes bevægelse fra terræn til grundvandsspejl, altså bevægelsen gennem den umættede zone, forudsættes at være endimensional. Usikkerheden på de grundvandsdannende oplande forårsaget af afvigelser fra denne forudsætning er ikke vurderet.

I figur 7.11.1 er vist den samlede udbredelse af de beregnede grundvandsdannende oplande og i figur 7.11.2 er vist den samlede udbredelse af de beregnede indvindingsoplande. Oplande til samtlige aktive indvindingsanlæg i grundvandsmodellen er medtaget i figurerne. Oplande tegnet med blå farve benævnt ”scenarier” indeholder resultaterne af partikelbaneberegningerne for samtlige tre scenarier, mens oplande tegnet med rødt kun indeholder resultaterne af partikelbaneberegningerne for basisscenariet. På figurerne er desuden vist, hvilke indvindingsboringer der er anvendt i modellen, samt hvilket beregningslag den enkelte boring indvinder fra. Det ses, at langt de fleste boringer indvinder fra beregningslag 5 og 6. Det skal bemærkes, at randområderne nord for skillelinien er behæftet med større usikkerhed end syd for denne, jf. afsnit 7.10 samt GEUS, 2006.



Figur 7.11.1 Oversigt over samlet udbredelse af beregnede grundvandsdannende oplande. Randområderne nord for den gule skillelinie er behæftet med større usikkerhed end syd for denne (GEUS, 2006).



Figur 7.11.2 Oversigt over samlet udbredelse af beregnede indvindingsoplande. Randområderne nord for den gule skillelinie er behæftet med større usikkerhed end syd for denne (GEUS, 2006).

Udstrækningen af den samlede udbredelse af oplande til alle kildepladser medtaget i grundvandsmodellen viser, at størstedelen af modelområdet og især fokusområdet er dækket af oplande.

Betragtes det samlede grundvandsdannende opland hhv. det samlede indvindingsopland ses, at scenarierne 1 og 3 kun supplerer med meget få og små områder i forhold til basisscenariet. At der kun ses begrænset effekt på det samlede opland dækker over, at der lokalt og for den enkelte kildeplads kan være nogen forskel. De væsentligste årsager til lokale forskelle synes at være større ændringer af forholdet mellem indvindingerne på nabokildepladser.

Af figurerne ses endvidere, at det samlede grundvandsdannende opland hhv. indvindingsopland mange steder strækker sig ud over fokusområdet.

Indvindingsoplandene vil ikke blive yderligere berørt.

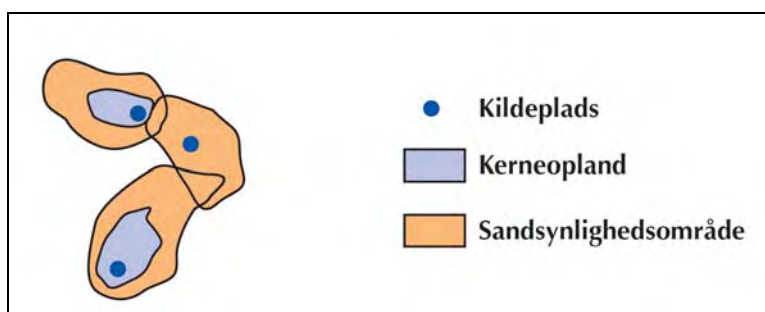
7.12 Udpegning af kerneoplande og sandsynlighedsområder

Det har for de enkelte kildepladser ikke været muligt at fastlægge præcise grundvandsdannende oplande, jf. afsnit 7.6. I stedet er der, hvor det har været muligt, blevet udpeget kerneoplande og sandsynlighedsområder til de enkelte kildepladser.

Udpegningen af grundvandsdannende områder kan inddeles i nedenstående tre trin:

1. Modelresultaterne viser, at den samlede udbredelse af det grundvandsdannende opland for vandindvindingsanlægene dækker langt størstedelen af fokusområdet.
2. Ønskes en nærmere opdeling af, hvilke dele af den samlede udbredelse af de grundvandsdannende oplande, der bidrager med vand til de enkelte kildepladser, skal sandsynlighedsområdet og evt. kerneoplandet, hvis dette er udpeget, til den enkelte kildeplads benyttes.
3. Ønskes der stor sikkerhed for, at området bidrager med vand til en given kildeplads, skal der refereres til kerneoplandet. Ved anvendelse af kerneoplandet er der ikke gjort rede for alt det vand, der indvindes ved kildepladsen, og dette vil således kun udgøre en del af det egentlige grundvandsdannende opland til kildepladsen. Til gengæld er der stor sikkerhed for, at kerneoplandet er en del af det grundvandsdannende opland til kildepladsen.

De tre trin er illustreret på nedenstående skitse:



Figur 7.12.1 Skitse som illustrerer betegnelserne sandsynlighedsområder og eventuelle kerneoplande for tre kildepladser.

Kerneoplandet er karakteriseret ved, at dette opland vurderes at være opland til kildepladsen, på trods af de usikkerheder der er i modellen, samt de forskelle der er i indvindingsfordelingen under de gennemførte partikelbanekørsler. Sandsynlighedsområdet er karakteriseret ved, at der inden for dette vurderes at være mulighed for, at området er grundvandsdannede opland til kildepladsen.

Nord for skillelinien er der udpeget et samlet sandsynlighedsområde, jf. figur 7.12.2. For kildepladser beliggende nord for skillelinien har der ikke været et tilstrækkeligt datagrundlag til at kunne opdele dette sandsynlighedsområde til de enkelte kildepladser, lige som der heller ikke har kunnet udpeges kerneoplande til kildepladser (GEUS, 2006).

For kildepladser beliggende syd for skillelinien har der derimod været et tilstrækkeligt datagrundlag til at kunne foretage en analyse af dels modelresultaterne og dels udvalgte inddata til grundvandsmodellen, inden en kvalificeret opdeling af den samlede udbredelse af de grundvandsdannende oplande på kildepladsniveau har været mulig.

For kildepladser beliggende syd for skillelinien har det for de enkelte kildepladser været muligt at udpege sandsynlighedsområder og evt. kerneoplande, jf. figur 7.12.2.

Til den kvalitative vurdering af kerneoplande og sandsynlighedsområder er informationer som partikelplaceringer, transporttider, indvindings størrelse, arealanvendelsen, datagrundlaget for den geologiske model samt observerede og simulerede strømningsbilleder vurderet. Der er taget udgangspunkt i resultater fra både partikelbaneberegninger for de to kalibrerede grundvandsmodeller (model 18. feb. og model 25. feb.) samt fra partikelbaneberegningerne fra de tre scenariekørsler med model 25. feb.

Det skal nævnes, at kerneoplandet ikke nødvendigvis giver et billede af, hvor den største grundvandsdannelse sker til kildepladsen. Ved afgrænsningen af kerneopland er der ikke taget hensyn til den arealmæssige variation i størrelsen af grundvandsdannelsen.

Den kvalitative vurdering og afgrænsning af kerneoplande og sandsynlighedsområder syd for skillelinien er detaljeret beskrevet i DHI, 2005f.

For en række kildepladser beliggende syd for skillelinien har det ikke været muligt at afgrænse et kerneopland. Dette er bl.a. tilfældet for kildepladser med en lille indvinding, hvor indvindingen ikke påvirker grundvandspotentialer set i forhold til grundvandsmodellens opløsning. Andre årsager til, at der ikke har kunnet udpeges et kerneopland har været for stor usikkerhed i det geologiske datagrundlag, samt at oplande til forskellige kildepladser har været flettet så meget ind i hinanden, at det ikke har været muligt at udskille et kerneopland til den enkelte kildeplads.

I tabel 7.12.1 er vist en oversigt over de kildepladser, der er blevet behandlet i analysen, samt hvorvidt kerneopland og sandsynlighedsområder til kildepladserne har kunnet afgrænses.

Det bemærkes, at det for Testrup Vandværk beliggende syd for skillelinien ikke har været muligt at afgrænse hverken kerneopland eller sandsynlighedsområde.

Anlæg	Kerneopland	Sandsynlighedsområde
Adslev Vandværk	Nej	Ja
Bederværket, Ajstrup	Ja	Ja
Bederværket, Byagerparken	Ja	Ja
Bederværket, Skoleparken	Nej	Ja
Bederværket, Vilhelmsborg	Ja	Ja
Blegind Vandværk	Nej	Ja
Gartneriet Marienlyst	-	-
Gl. Hørning Vandværk	Ja	Ja
Harlev-Framlev Grønhøjværket	-	-
Harlev-Framlev Hørslevbol	-	-
Harlev-Framlev Kalundborgvej	-	-
Hasselager-Kolt, Kolt Skovvej + Vandværk	Nej	Ja
Hasselager-Kolt, Pilegårdsvej	Nej	Ja
Hørning St. Vandværk	Ja	Ja
Jeksen Vandværk	Nej	Ja
Lillering Vandværk	-	-
Malling Vandværk	Ja	Ja
Mårslet Vandværk	Nej	Ja
Ormslev Vandværk I/S	-	-
Stautrup Vandværk	-	-
Stautrupværket, Constantinsborg	-	-
Stautrupværket, Stautrup	-	-
Stautrupværket, Storskoven	-	-
Stillingværket	Ja	Ja
Testrup Vandværk	Nej	Nej
Tulip International A/S	-	-
Tåstrup Vandværk	-	-
Vibyværket	-	-
Østerbyværket, Ravnholt/Tiset	Ja	Ja
Østerbyværket, Østerby	Nej	Ja
Åboværket, Harlev	-	-
Åboværket, Åbo	-	-

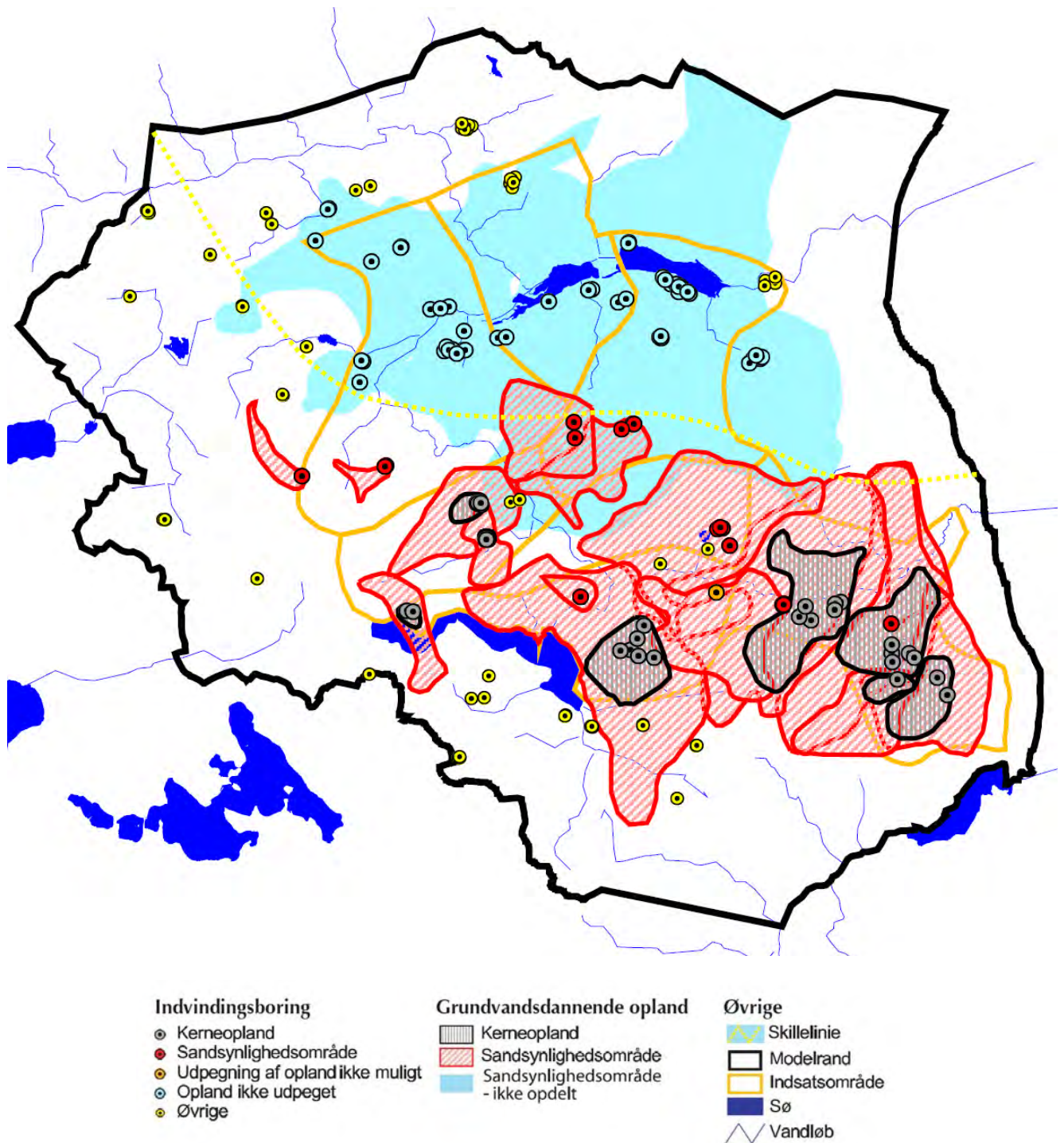
Tabel 7.12.1 Oversigt over kildepladser der er udpeget kerneoplunde og sandsynlighedsområder for. De kildepladser, der indgår i det samlede sandsynlighedsområde nord for skillelinien, er angivet med ” - ”. Disse kildepladser er beliggende nord for skillelinien.

I figur 7.12.2 er vist en oversigt over udbredelsen af kerneoplande og sandsynlighedsområder for kildepladserne angivet i tabel 7.12.1.

På figur 7.12.2 betyder boringer vist med gråt, at der for kildepladsen både er udpeget kerneopland og sandsynlighedsområde. Boringer vist med rødt betyder, at der for kildepladsen kun er udpeget et sandsynlighedsområde. Boring vist med orange betyder, at analysen har vist, at hverken kerneopland eller sandsynlighedsområde har kunnet udpeges.

Boringer vist med lyseblåt betyder, at der ikke har været et tilstrækkeligt datagrundlag til at foretage en kvalitativ vurdering af kerneoplande og sandsynlighedsområder. Det samlede sandsynlighedsområde for disse kildepladser er ligeledes vist med lyseblåt. Navnene på kildepladserne, der indgår i det samlede sandsynlighedsområde, fremgår i tabel 7.12.1.

Boringer vist med gult angiver øvrige indvindingsboringer i grundvandsmodellen. Disse ligger enten et stykke uden for fokusområdet eller er ikke vandværker og vil derfor ikke blive behandlet i nærværende rapport.



Figur 7.12.2 Oversigt over udbredelsen af samtlige kerneoplande og sandsynlighedsområder.

Af figur 7.12.2 ses et stort overlap mellem mange af sandsynlighedsområderne. Dette illustrerer tydeligt, hvor vanskeligt det er at udskille hele det grundvandsdannende opland til den enkelte kildeplads.

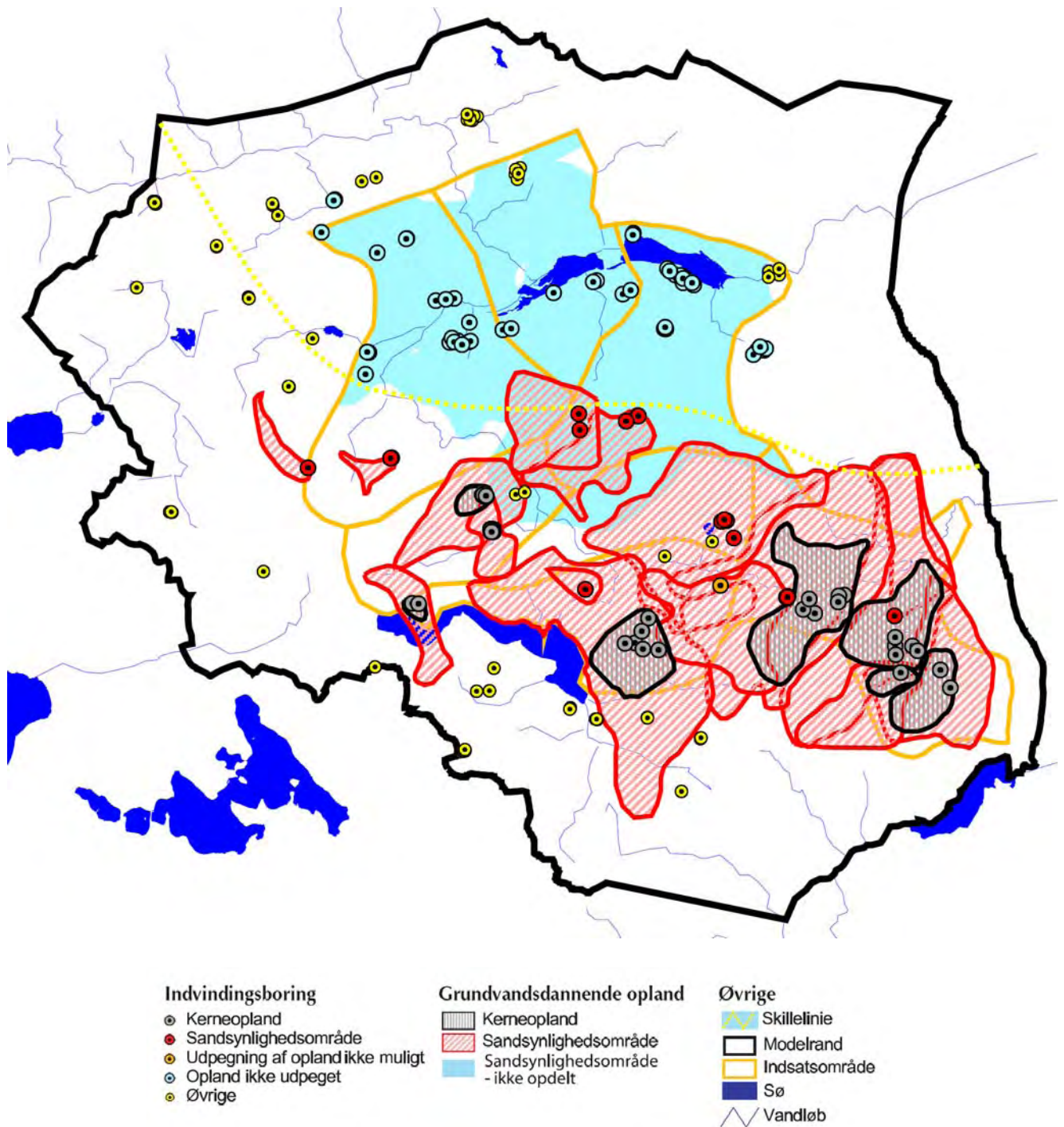
Derudover ses det, at det samlede sandsynlighedsområde nord og syd for skillelinien dækker langt størstedelen af fokusområdet.

Det samlede sandsynlighedsområde for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (vist med blå i figur 7.12.2) benævnes i de efterfølgende kapitler for **det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien**.

Randområderne i det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien (vist med blå i figur 7.12.2) vurderes at være behæftet med usikkerhed. Inden for fokusområdet vurderes det samlede sandsynlighedsområde dog at være fastlagt med samme sikkerhed, som det er tilfældet for det samlede sandsynlighedsområde for kildepladserne beliggende syd for skillelinien (vist med skraveret lyserødt i figur 7.12.2).

Usikkerheden i randområderne betyder reelt, at det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien ikke kan anvendes uden for fokusområdet. I figur 7.12.3 er det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien derfor blevet beskåret langs fokusområdet. Dette svarer til, at ca. 31 % af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien er blevet skåret væk. Dette beskårede opland udgør således ikke hele det grundvandsdannende opland til de indvindingsanlæg, der bidrager til oplandet. Det beskårede grundvandsdannende opland er vist med blå i figur 7.12.3.

I rapporterne over ”Redegørelse for grundvandsressourcerne - Resumé og anbefalinger” for hhv. Åbo, Stautrup, Storskoven, Østerby og Beder indsatsområder er det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien benævnt **det samlede grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien**. Da der i rapporterne for de enkelte indsatsområder fokuseres på den praktiske anvendelse af de grundvandsdannende oplande er der for kildepladserne nord for skillelinien i disse rapporter anvendt det beskårede opland.



Figur 7.12.3 Oversigt over det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien beskåret langs fokusområdet samt kerneoplände og sandsynlighedsområder for de enkelte kildepladser syd for skillelinien.

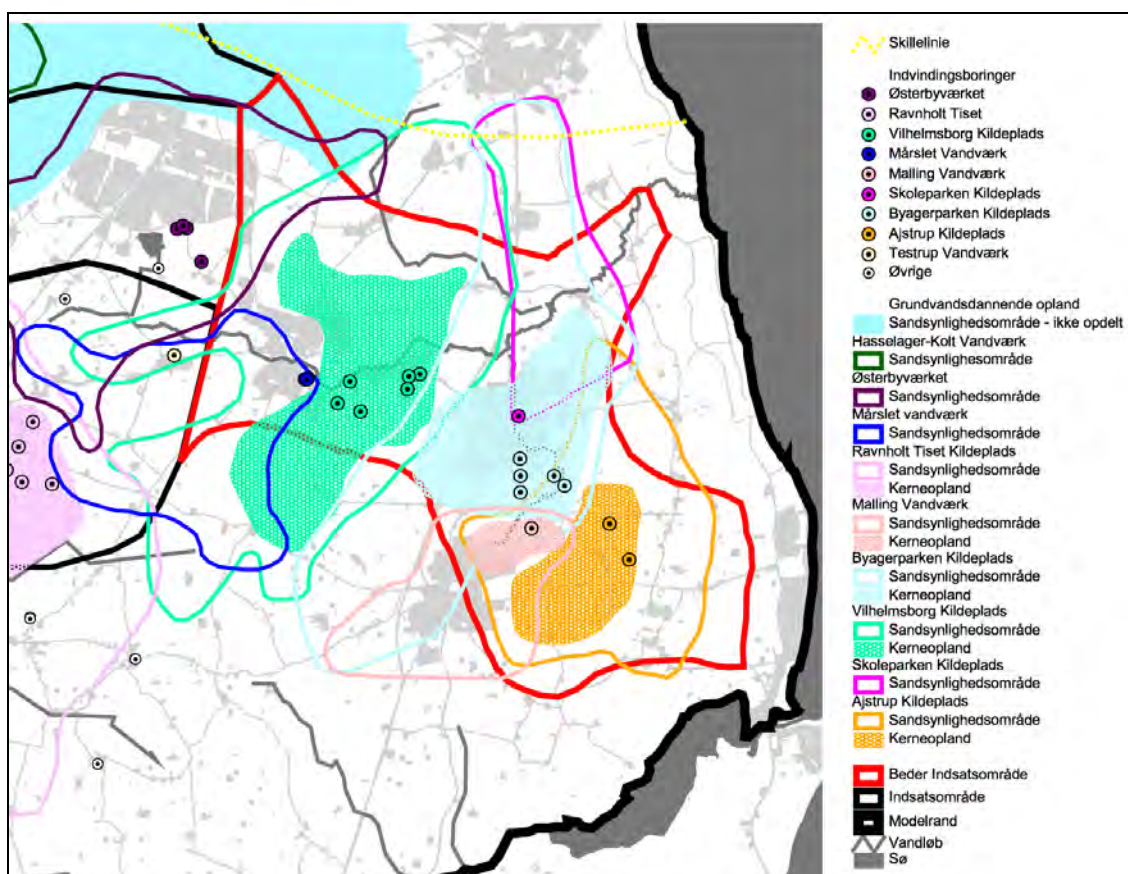
7.13 Grundvandsdannende oplande for indsatsområderne

I dette afsnit vises for hvert af indsatsområderne et zoom af figur 7.12.2. For kildepladser beliggende syd for skillelinien er indvindingsboringer, sandsynlighedsområder og evt. kerneoplande vist med samme farver for hver kildeplads. For kildepladser beliggende nord for skillelinien er indvindingsboringerne til hver kildeplads vist med forskellig farve, mens det samlede potentielle grundvandsdannende opland for disse kildepladser er vist med lyseblåt. Det skal bemærkes, at dette samlede potentielle grundvandsdannende opland ikke kan anvendes uden for fokusområdet.

Beder Indsatsområde

Inden for Beder Indsatsområde findes grundvandsdannende oplande i form af dels kerneoplande og dels sandsynlighedsområder til kildepladserne Vilhelmsborg, Skoleparken, Byagerparken og Ajstrup samt til Mårslet og Malling Vandværker. De grundvandsdannende oplande for disse kildepladser er karakteriseret ved, at sandsynlighedsområderne i mere eller mindre grad rækker uden for indsatsområdet. For Vilhelmsborg kildeplads rækker en del af kerneoplandet endvidere uden for afgrænsningen af indsatsområdet, jf. figur 7.13.1.

Derudover findes en del af det grundvandsdannende opland i form af sandsynlighedsområde til Østerby Kildeplads (Østerbyværket) samt en meget lille del af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien inden for Beder Indsatsområde.

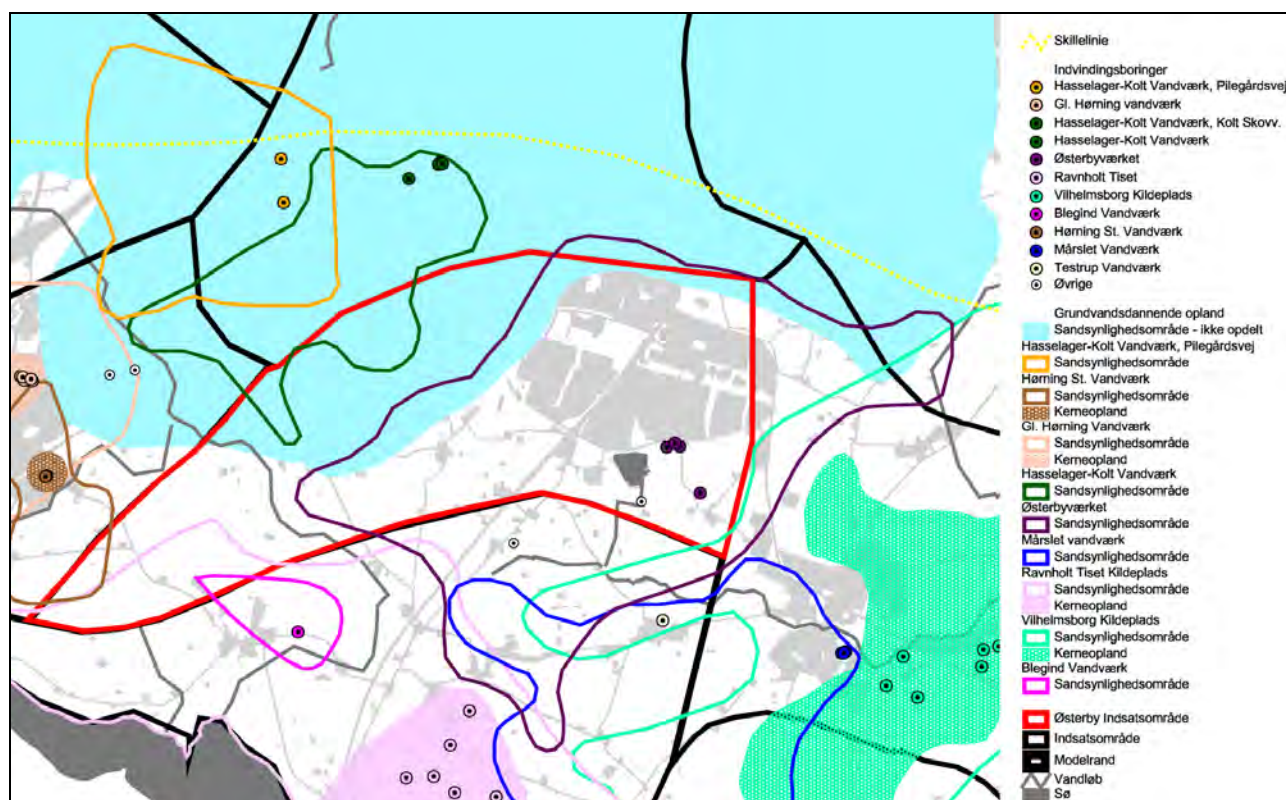


Figur 7.13.1 Sandsynlighedsområder og kerneoplande i og omkring Beder Indsatsområde. Signaturen "Østerbyværket" inkluderer kun Østerby Kildeplads.

Østerby Indsatsområde

Inden for Østerby Indsatsområde findes først og fremmest det grundvandsdannende opland i form af sandsynlighedsområde til Østerby Kildeplads (Østerbyværket) (vist med lilla streg). En del af sandsynlighedsområdet ligger uden for afgrænsningen af indsatsområdet, jf. figur 7.13.2.

Derudover findes en del af det grundvandsdannende opland ligeledes i form af sandsynlighedsområder til Ravnholt Tiset Kildeplads, Vilhelmsborg Kildeplads, Hasselager Kolt Vandværk, Hørning St. Vandværk, Blegind Vandværk samt en del af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien inden for Østerby Indsatsområde.

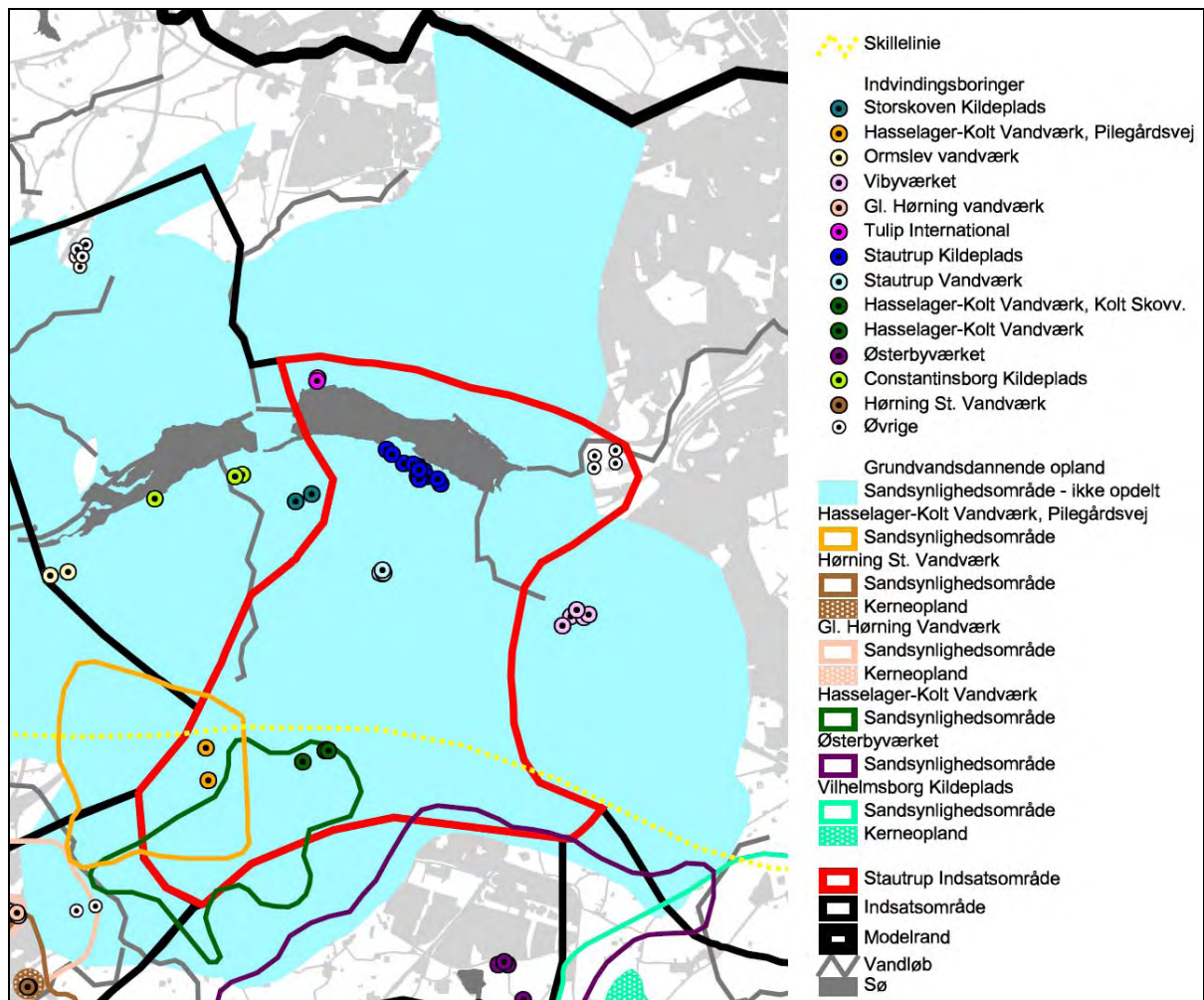


Figur 7.13.2 Sandsynlighedsområder og kerneoplände i og omkring Østerby Indsatsområde. Signaturen "Østerbyværket" inkluderer kun Østerby Kildeplads.

Stautrup Indsatsområde

Stautrup Indsatsområde er først og fremmest dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien. En del af dette ligger uden for afgrænsningen af indsatsområdet. Mod øst skyldes dette bl.a., at indvindingen fra Vibyværket, som ligger lige uden for den østlige afgrænsning af indsatsområdet, bidrager til det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien. jf. figur 7.13.3.

Derudover findes en del af det grundvandsdannende opland i form af sandsynlighedsområder til Hasselager Kolt Vandværk samt en mindre del af sandsynlighedsområdet til Østerby Kildeplads (Østerbyværket) inden for Stautrup Indsatsområde.

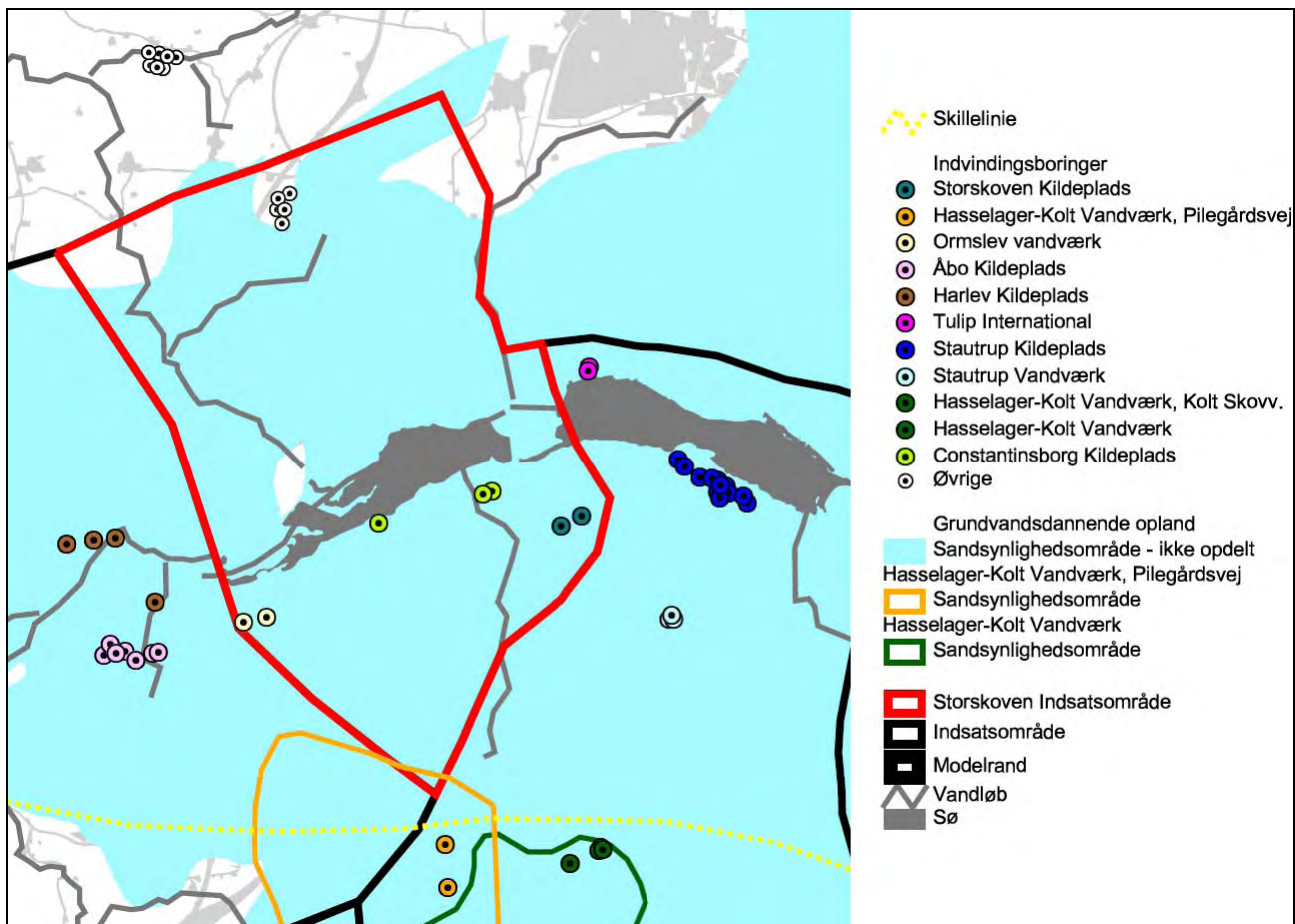


Figur 7.13.3 Sandsynlighedsområder og kerneoplade i og omkring Staurup Indsatsområde. Signaturen "Østerbyværket" inkluderer kun Østerby Kildeplads.

Storskoven Indsatsområde

Storskoven Indsatsområde er først og fremmest dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien, jf. figur 7.13.4.

Derudover findes en meget lille del af det grundvandsdannende opland i form af sandsynlighedsområder til Hasselager Kolt Vandværk, Pilegårdsvej, inden for Storskoven Indsatsområde.

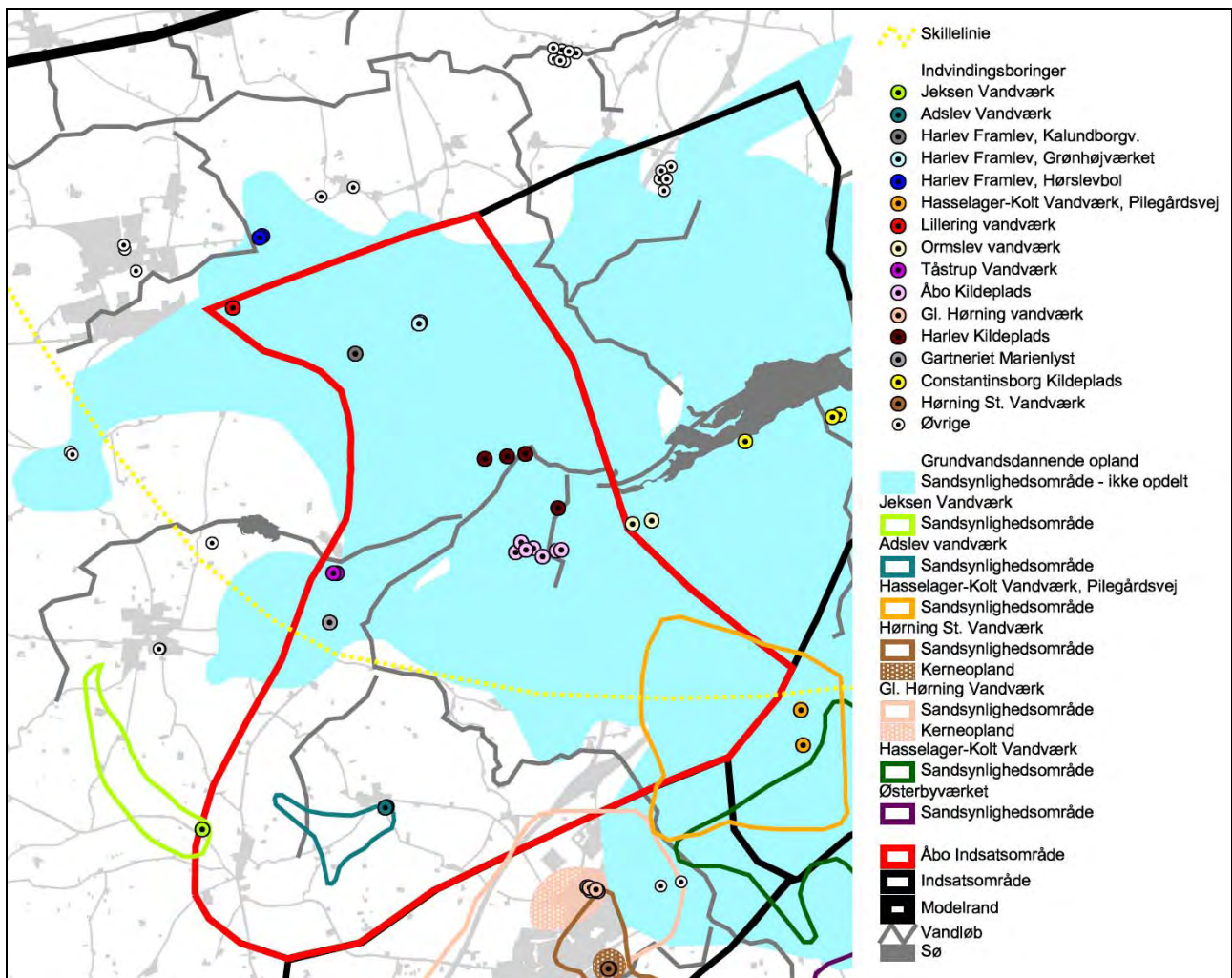


Figur 7.13.4 Sandsynlighedsområder i og omkring Storskoven Indsatsområde.

Åbo Indsatsområde

En stor del af Åbo Indsatsområde er dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien, jf. figur 7.13.5.

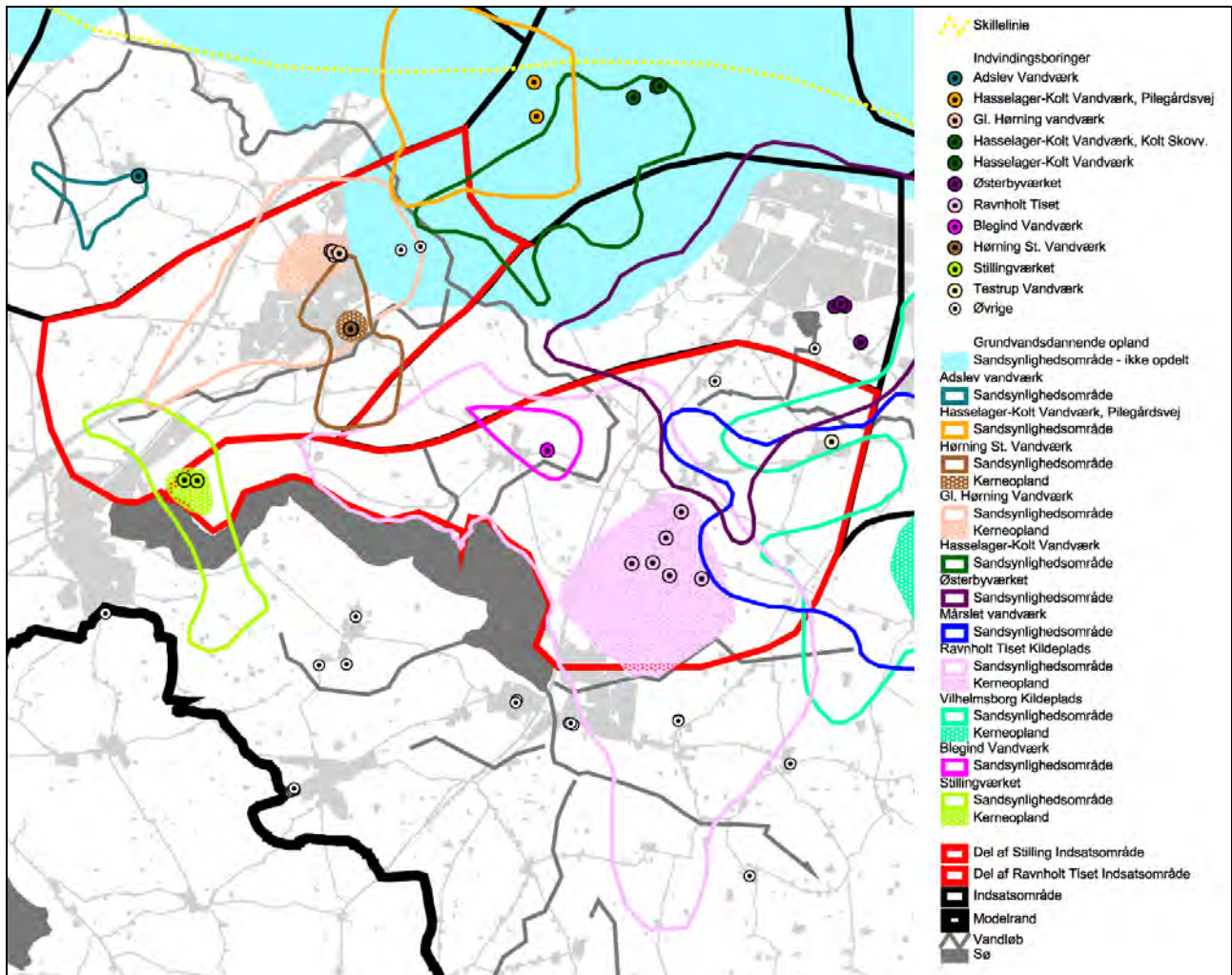
Derudover findes det grundvandsdannende opland i form af sandsynlighedsområder til Adslev Vandværk, en del af sandsynlighedsområdet til Hasselager Kolt Vandværk, Pilegårdsvej samt en meget lille del af sandsynlighedsområdet til Jeksen Vandværk og Gl. Hørning Vandværk inden for Åbo Indsatsområde.



Figur 7.13.5 Sandsynlighedsområder og kerneoplande i og omkring Åbo Indsatsområde.

Dele af Stilling og Ravnholt Tiset Indsatsområder

På figur 7.13.6 er de grundvandsdannende oplande i form af hhv. sandsynlighedsområder og kerneoplande til kildepladser beliggende inden for dele af Stilling og Ravnholt Tiset Indsatsområder vist.



Figur 7.13.6 Sandsynlighedsområder og kerneoplände beliggende inden for dele af Stilling og Ravnholt Tiset Indsatsområder. Signaturen "Østerbyværket" inkluderer kun Østerby Kildeplads.

8. Grundvandets naturlige beskyttelse og sårbarhed

Den detaljerede kortlægning i Århus Syd-området danner grundlag for vurdering af grundvandets naturlige beskyttelse og sårbarhed i området.

Både magasin- og vandværkssårbarheden bliver vurderet. Magasinsårbarheden er en permanent sårbarhed, som afhænger af de iboende geologiske egenskaber, og som vurderes på baggrund af den detaljerede kortlægning som inkluderer geofysiske, geologiske, geokemiske og vandkemiske analyser. I modsætning hertil er vandværkssårbarheden en variabel sårbarhed, som afhænger af boringsudbygningen og indvindingstilladelsen på det enkelte vandværk.

Dette kapitel har fokus på magasinsårbarheden, idet vandværkssårbarheden er indgående beskrevet i kapitel 5 ”Vandværker og vandindvinding”.

I afsnit 8.1 gennemgås begrebet ”magasinsårbarhed” forud for den egentlige beskrivelse af hvor og hvordan de nitratsårbare og anden sårbare områder i Århus Syd-området er udpeget. I afsnit 8.2 sammenstilles geofysik og boringer til et sammentolket lertykkelseskort, der efter indarbejdelse af de kemiske parametre i afsnit 8.3 resulterer i et nitratsårbarhedskort for Århus Syd-området. Afsnit 8.4 omhandler pesticidfund og områder med anden sårbarhed i Århus Syd området.

8.1 Magasinsårbarhed

Den detaljerede kortlægning i Århus Syd området resulterer bl.a. i en udpegning af områder med sårbart grundvand. Sårbarheden klassificeres efter Miljøstyrelsens Zoneringsvejledning. Denne udpegning foretages uden hensyn til den eksisterende vandforsyningsstruktur, idet sårbarheden er et udtryk for magasinernes iboende geologiske egenskaber. Denne sårbarhed kaldes *Magasinsårbarheden*.

Zoneringsvejledningen fra Miljøstyrelsen giver nogle overordnede retningslinier for klassificeringen af magasinsårbarhed. Zoneringsvejledningens klassificering danner baggrund for den aktuelle regionale klassificering, som hidtil er anvendt i Århus Amt i forbindelse med kortlægning af grundvandsmagasinerne. Klassificeringen, som bruges i Århus Amt, er tilpasset geologien i amtet og de metoder og geologiske oplysninger, som det er muligt at kortlægge.

Magasinsårbarhed

Magasinsårbarheden er en permanent sårbarhed, som afhænger af de iboende geologiske egenskaber, og som vurderes på baggrund af geofysiske, geologiske, geokemiske og vandkemiske parametre. Den geologiske kortlægning består i at udpege områder med sårbart grundvand. Magasinet kan være sårbart i forskellig grad over for nitrat.

Århus Amt foretager en omfattende vurdering af grundvandsmagasinerne naturlige beskyttelse og sårbarhed i indsatsområderne. På den baggrund er der udpeget arealer (zoner), hvor grundvandet er særligt sårbart over for nitrat og i særlige dokumenterede tilfælde andre forureningstyper, herunder pesticider.

Ved vurderingen er der taget hensyn til tykkelsen af de lerlag, der findes tættest på jordoverfladen (0-30 m under terræn) og jordlagenes evne til at rense vandet for uønskede stoffer (de geokemiske forhold). Derudover er oplysningerne fra en lang række boringer detailundersøgt med henblik på at give en fyldestgørende beskrivelse af de lokale geologiske og kemiske forhold.

Den foretagne udpegning af en række konkrete sårbare områder betyder dog ikke, at de områder, som ikke er udpeget, ikke har betydning for grundvandsdannelsen. Uden for de udpegede områder kan der lokalt forekomme en betydelig grundvandsdannelse f.eks. på de højtliggende tertiære plateauer, hvor den underliggende tertiære ler ofte vil være medregnet i den samlede lerlagstykkelser for de øverste 30 meter. Sandlag af få meters mægtighed kan her dræne plateauerne og dermed føre betydelige vandmængder til magasinerne i de begravede dale. I de områder bør der foretages en specifik vurdering af strømningsforholdene og beskyttelsen.

Sårbarhedsvurderingen af magasinerne tager udgangspunkt i sårbarheden over for nitrat, således som det fremgår af Zoneringsvejledningen fra Miljøstyrelsen. Områderne klassificeres som områder med stor, nogen eller lille nitratsårbarhed. I områdebeskrivelserne er der dog også skelet til risikoen for andre forureningskilder, specielt pesticider. Risikoen for forekomst af pesticider afhænger i høj grad af grundvandets strømningstid og af, hvor der er stor grundvandsdannelse. Alle de udpegede områder skønnes derfor at have en betydelig »anden sårbarhed«.

I Zoneringsvejledningen tages der udgangspunkt i tykkelsen af sammenhængende lerlag, når sårbarheden skal klassificeres. Geologien i indsatsområderne er imidlertid så heterogen, at der ikke forekommer større områder med veldefinerede, sammenhængende lerlagstykkelser. Klassificeringen af områderne bygger derfor på en kombineret viden om den geologiske opbygning af områderne: (geofysiske) lerlagstykkelser baseret på geofysiske målinger, de tilgængelige vandanalyser, kendskab til grundvandets strømningsforhold, observerede lerlagstykkelser i boringer samt nitratfrontens beliggenhed vurderet ud fra borejournaler.

Klassificering af grundvandets sårbarhed – magasinsårbarhed

Nitratsårbarhed: Stor
Nogen
Lille
Anden Sårbarhed

Stor magasinsårbarhed over for nitrat er anvendt som betegnelse for de områder, hvor der samlet set er under 15 m ler i de øverste 30 meter, hvor magasinbjergarten er uden større nitratreduktionspotentiale, og hvor der er påvist nitrat i grundvandet. I områder, hvor der ikke findes oplysninger om nitratkoncentrationer i grundvandet, bygger vurderingen primært på geofysiske lerlagstykkelser og/eller boringsoplysninger om lerlagstykkelser og oxidationsdybder. Områder med stor magasinsårbarhed over for nitrat har også ”anden sårbarhed”.

Nogen magasinsårbarhed over for nitrat er anvendt som betegnelse for områder, hvor der samlet set er under 15 m ler i de øverste 30 m, men hvor der i øvrigt vurderes at være en mindre risiko for nitrat i grundvandet. Dette kan f.eks. skyldes, at den samlede lerlagstykkelser er tæt på 15 m og/eller er sammenhængende i lidt større områder. Det kan også skyldes, at magasinbjergarten er vurderet til

at have et meget stort nitratreduktionspotentiale, selvom der kan være truffet nitrat i det allerøverste grundvand. Områder med nogen magasinsårbarhed over for nitrat har også ”anden sårbarhed”.

Lille magasinsårbarhed over for nitrat er betegnelsen for de områder, hvor der ikke vurderes at være nogen større risiko for nitrat i de vandførende lag, f.eks. på grund af en kombination af følgende forhold: stor lerlagstykkelse, fravær af magasin, tørv og gytje i de allerøverste jordlag eller stor nitratreduktionskapacitet af magasinbjergarten. Områder med en lille nitratsårbarhed er ikke markeret specielt, idet det drejer sig om alle områder, der ikke falder ind under betegnelsen stor sårbarhed eller nogen sårbarhed.

Anden magasinsårbarhed er endelig betegnelsen for områder, hvor der ikke vurderes at være nogen større risiko for nitrat i de vandførende lag, f.eks. fordi der er tørv og gytje i de allerøverste lag, men hvor der er indikationer på, at anden forurening forekommer eller, at der er forhold, som peger på, at der er alvorlig risiko herfor.

8.2 Det sammentolkede lertykkelseskort

Det sammentolkede lertykkelseskort er grundstenen i nitratsårbarhedskortet, og udarbejdes på baggrund af geofysiske data og geologiske oplysninger fra boringer i området.

Ud fra de geofysiske målinger (PACEP/PACES og TEM) fås et geofysisk lertykkelseskort, der udgør det basale grundlag for et egentligt sammentolket lertykkelseskort. På kortet over den geofysiske lertykkelse opereres primært med arealer med en samlet lerlagstykkelse på under 15 meter og over 15 meter inden for de øverste 30 meter under terræn (jf. foregående kapitel). Der er gennemgående tale om meget markante og veldefinerede grænser mellem områder med store samlede lerlagstykkelser og områder med kun beskedne lerlagstykkelser.

De geofysiske data primært i form af PACEP/PACES og sekundært i form af TEM sammenstilles til et *geofysisk lertykkelseskort*. Herefter indarbejdes oplysninger om lithologi fra boringer og geologiske oplysninger fra området illustreret ved jordartskortet hvilket resulterer i et *sammentolket lertykkelseskort*. I det følgende vil denne arbejdsproces blive gennemgået.

Udarbejdelse af det sammentolkede lertykkelseskort foregår for Århus Syd-områdets vedkommende i følgende tempi:

1. Analyse af et allerede eksisterende lertykkelseskort for en del af Århus Syd-området. Dette lertykkelseskort er udarbejdet i 1998 på baggrund af PACEP, TEM, geologiske oplysninger og boringer.
 - a. Eventuelt nyere PACES og TEM data indarbejdes
 - b. Beskrevne lithologiske enheder fra nyetablerede boringer indarbejdes
2. Udarbejdelse af det endelige sammentolkede lertykkelseskort
 - a. På baggrund af resultater af PACES-målinger udarbejdes et geofysisk lertykkelseskort i de områder, der ikke er dækket af lertykkelseskortet fra 1998.
 - b. Herefter anvendes TEM-målinger til en kvalitativ vurdering af PACES-målingerne.
 - c. Herefter indarbejdes informationer fra jordartskortene om forekomsten af ferskvandsaflejringer (postglaciale tørvedannelser)
 - d. Herefter indarbejdes de beskrevne lithologiske enheder fra boringer

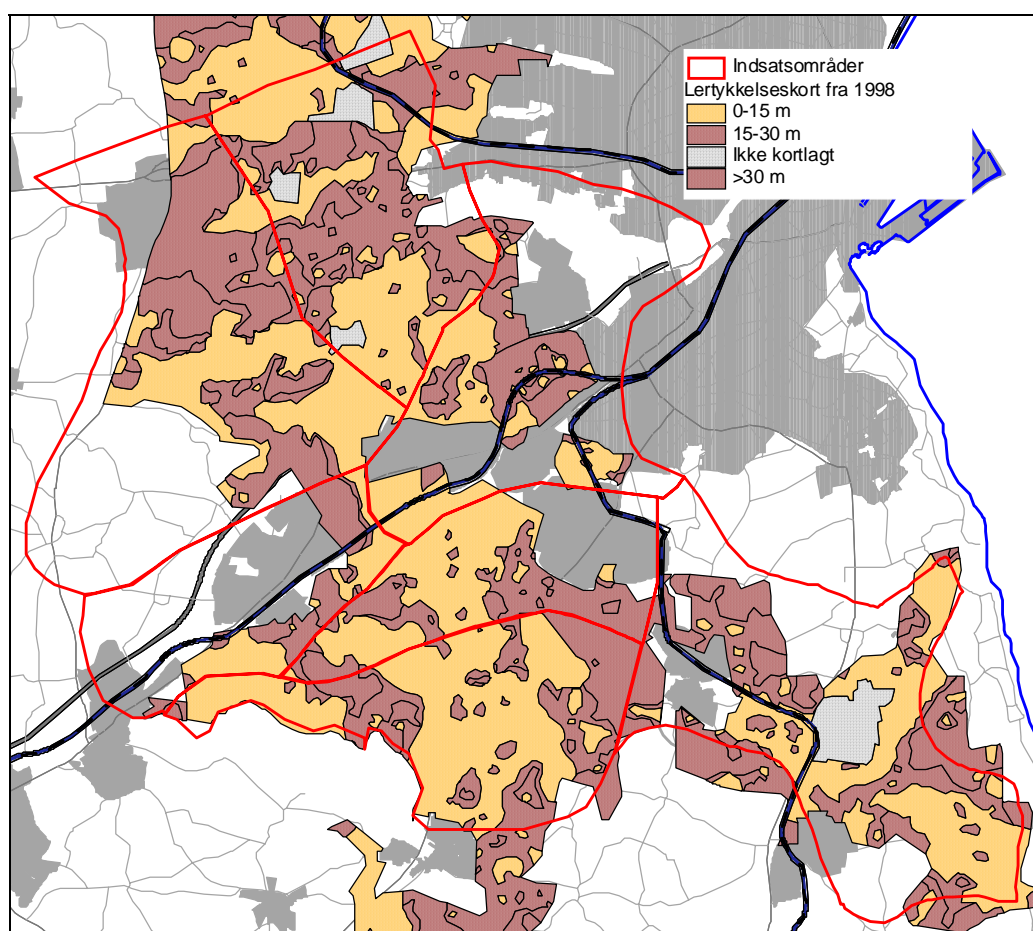
Ovenstående sammentolkede lertykkelseskort sammensættes og resulterer i ét sammentolket lertykkelseskort for hele Århus Syd-området, pånær i byzoner og områder der er kommuneplanlagt til fremtidige byzoner.

Lertykkelseskortet fra 1998

Lertykkelseskortet for de øverste 31 m jordlag blev udarbejdet i 1998 på baggrund af oplysninger fra PACEP, TEM og boringer. Oplysninger om modstandsforhold i PACEP blev sammenstillet med dels lertykkelsen observeret i de øverste 31 m af boringer og dels modstandsforholdene i ellogboringer. Sammenstillingen foregik ved hjælp af en til formålet udarbejdet kompliceret matrix over samtlige værdier, der skulle indgå i udarbejdelsen af kortet. Simpelt beskrevet udgjorde matrixen grundlaget for at "oversætte" modstandsværdier til lithologiske beskrivelser. Resultatet viste, at modstande under 50 ohmm kunne beskrives som ler, modstande over 70 ohmm som sand (ikke-ler) og modstande mellem 50 og 70 ohmm blev beskrevet lineært som overgangen mellem sandet ler, ler/sand og leret sand.

Resultatet af matrixberegningen blev sammenlignet med modstandsforholdene for de øverste 30 m af TEM-kortlægningen. TEM-metoden egner sig ikke til kortlægning af de øverste 15-20 m af jordlagene, men tykke højmodstandslag i PACEP og tykke lag af sand i boringer i de øverste 30 m jordlag vil give sig tilkende ved høje modstande i TEM-sonderingerne. TEM-kortlægningen blev således benyttet som en kvalitetsvurdering af resultatet af sammenstillingen mellem PACEP og boringerne.

Lertykkelseskortet fra 1998 (figur 8.1) viser områder med 0-15 m ler og 15-30 m ler i de øverste 30 m jordlag samt områder, der ikke blev kortlagt i 1998. Som det fremgår af figur 8.1 er områderne med størst lerdække koncentreret i området mellem Framlev og Århus, omkring Stautrup, øst for Hørning, syd for Hasselager, omkring Mårslet og vest for Beder. Der er generelt tale om store, sammenhængende områder.



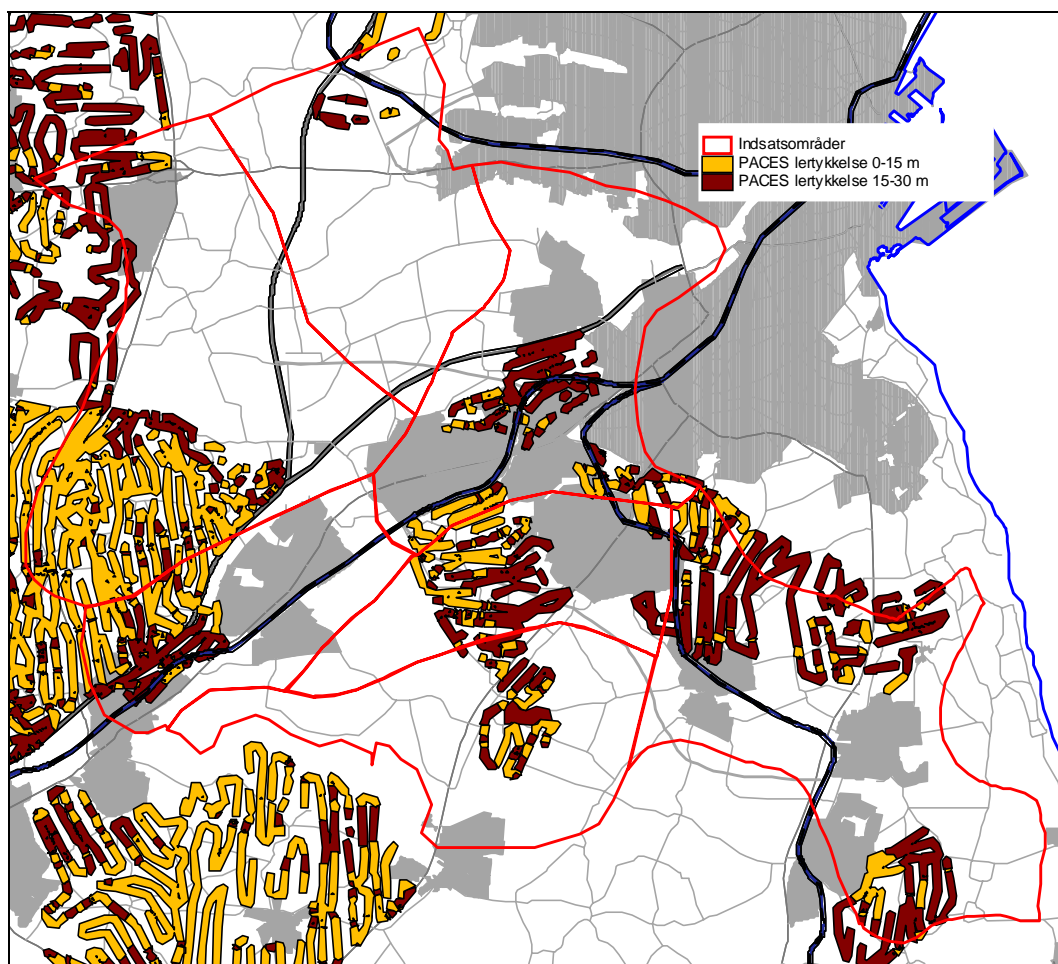
Figur 8.2.1 Kortet viser lertykkelseskortet udarbejdet i 1998 baseret på oplysninger fra PACEP, TEM, ellogboringer og lithologi fra boringer. Signaturen er ens for 15-30 m og >30 m ler, da der ikke skelnes mellem disse i magasinårsbarhedssammenhænge.

Det supplerende sammentolkede lertykkelseskort

PACES-målingerne

Af figur 8.2.1 fremgår det, at lertykkelseskortet fra 1998 ikke dækker hele Århus Syd-området og der er derfor suppleret med PACES-målinger i den østlige og den vestlige del af Århus Syd-området.

I Århus Syd-området er der foretaget en analyse af modstandsfordelingen for PACES, som ikke var mulig at gøre med PACEP metoden. Analysen viste ligesom resultaterne fra PACEP, at tolkede modstande på under 50 ohmm repræsenterer lag, der rent lithologisk overvejende består af lerlag, mens tolkede modstande på over 70 ohmm må forventes at repræsentere sandede lag. I intervallet mellem 50 og 70 ohmm kan der ikke sættes en specifik lithologisk etikette på de tolkede lag, men beskrives lineært som overgangen mellem sandet ler, ler/sand og leret sand. I figur 8.2.2 er vist en beregnet geofysisk lertykkelse for de områder, hvor der er kortlagt med PACES.

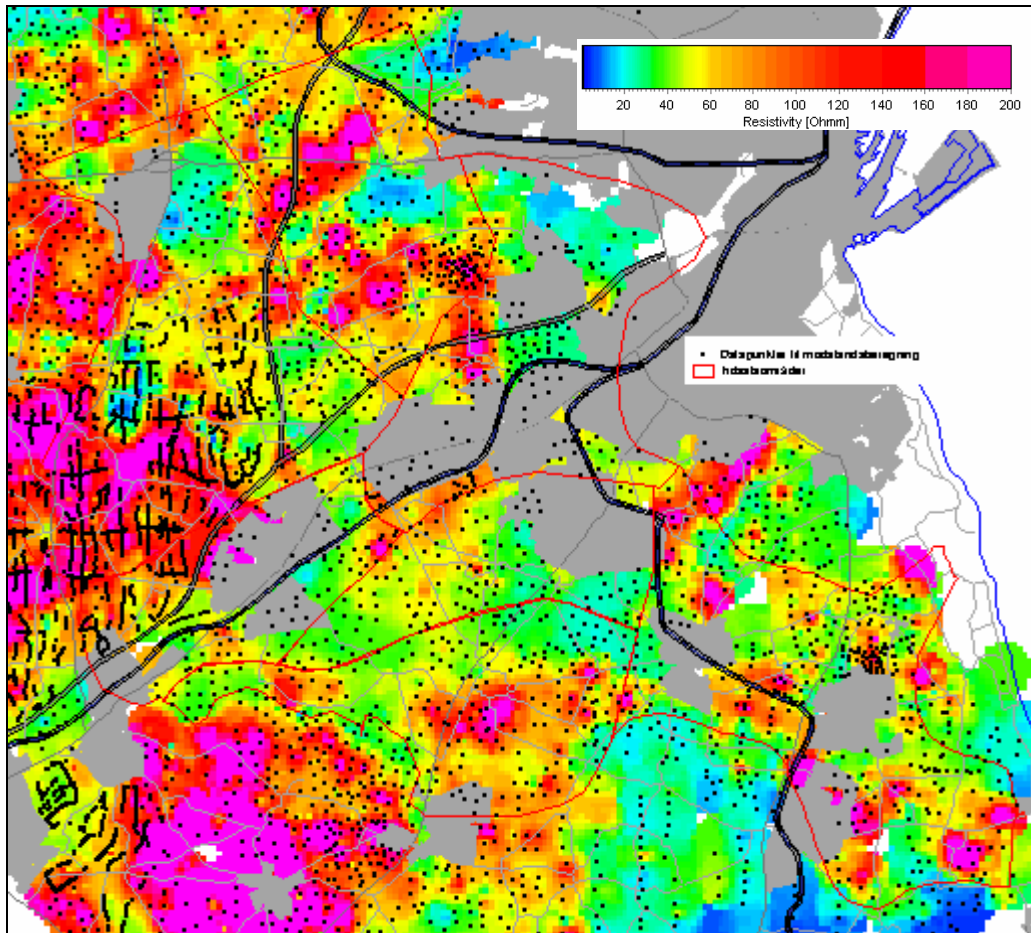


Figur 8.2.2. Kortet viser den beregnede geofysiske lertykkelse for Århus Syd-området baseret udelukkende på PACES målinger.

Resultaterne af PACES-kortlægningen viser, at den vestlige del af området bærer præg af at være relativt sandet (under 15 m ler). Den østlige del har spredte områder med ler under 15 m og over 15 m med hovedvægt på område med ler over 15 m. I den østlige del er det udelukkende syd for Kolt/Hasselager og nord for Tranbjerg at de øverste 30 m jordlag indeholder mindre end 15 m ler.

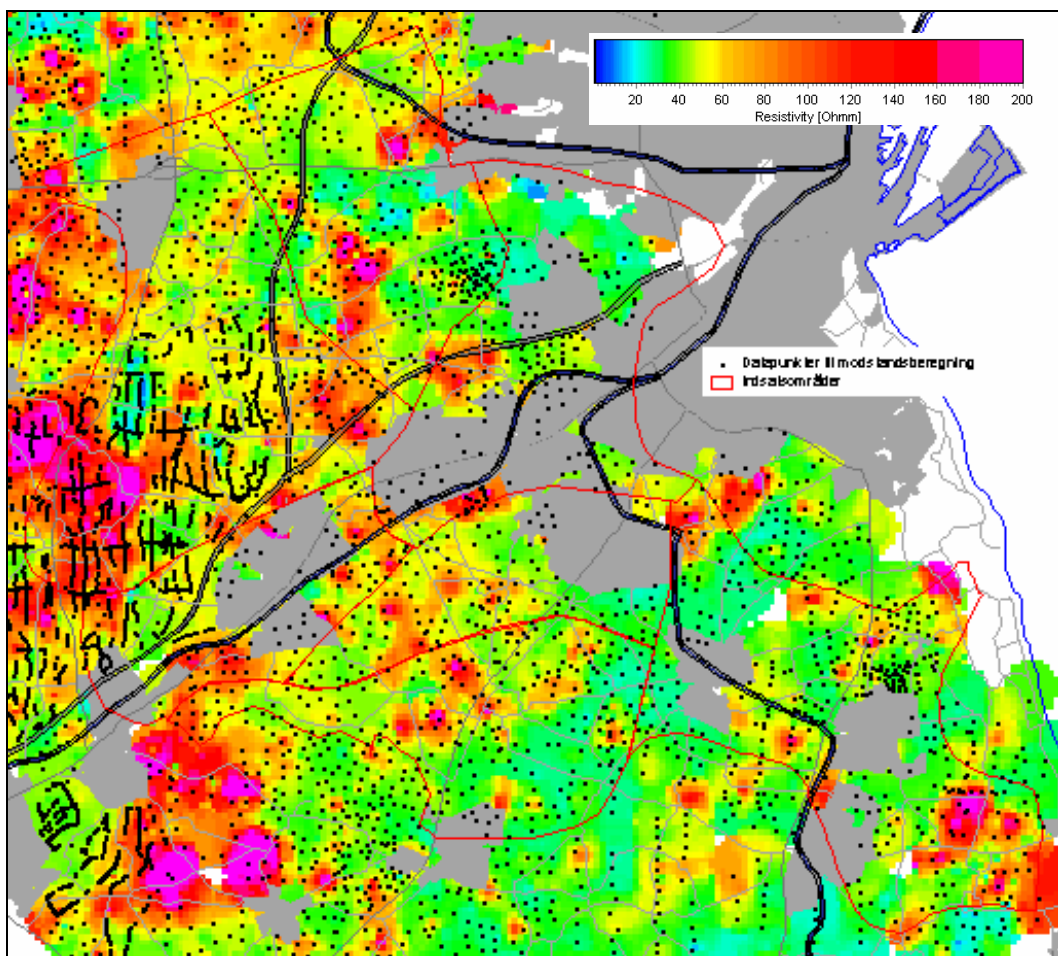
TEM-målinger

TEM-målingerne kan bidrage kvalitativt til vurderingen af øvrige oplysninger, især når der er tale om at vurdere meget store lerlagstykkelser. Kortet over den TEM-baserede horisontale middelmodstand for dybdeintervallet 15 - 30 m under terræn har været anvendt til at verificere de store lerlagstykkelser. Allerede en simpel visuel sammenligning mellem figur 8.2.1 og middelmodstandskortene i figur 8.2.3 og figur 8.2.4 indikerer stort mønstersammenfald.



Figur 8.2.3 viser den elektriske, horisontale middelmodstand for dybdeintervallet 15 til 30 m under terræn, baseret på TEM-målinger.

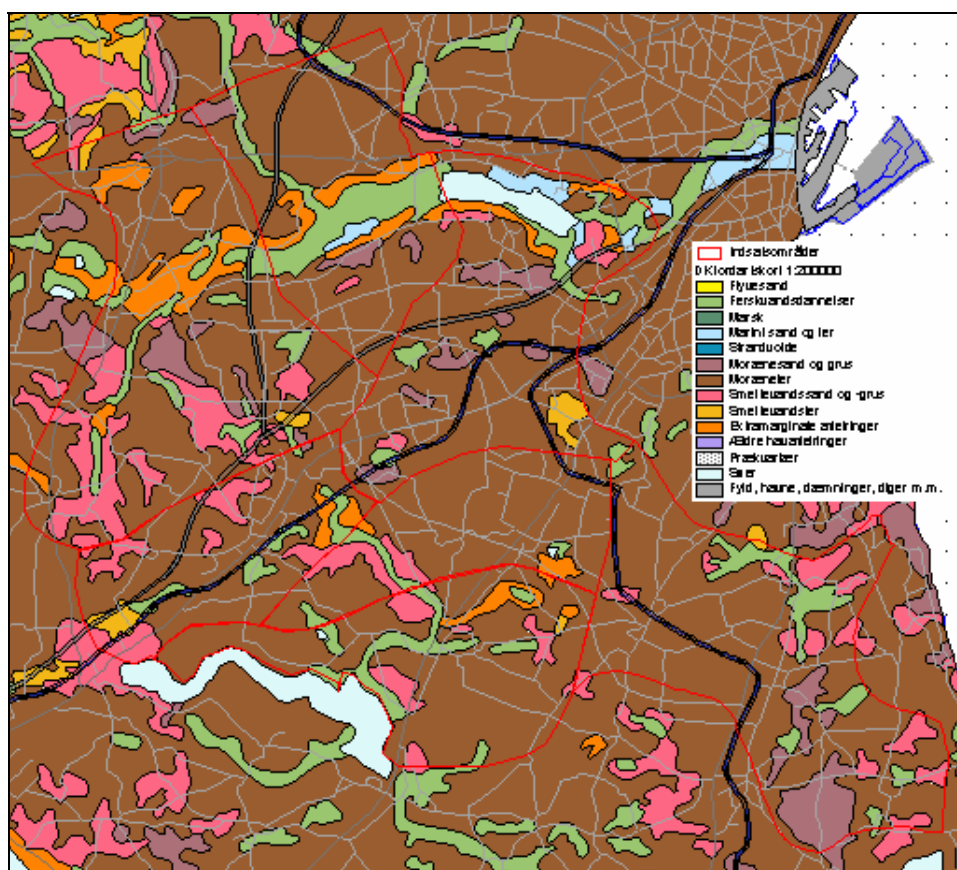
Tilsvarende har kortet over den TEM-baserede middelmodstand for dybdeintervallet 0 til 15 m under terræn (figur 8.2.4) været benyttet i vurderingen af de PACES-baserede lertykkelsesberegninger. Dette kort er dog anvendt med stor forsigtighed og kun i forbindelse med vurdering af indikationer på store tykkelser af lavmodstandslag, da TEM-sonderingsmetoden giver en betydelig mindre sikkerhed på bestemmelsen af lagparametre for dette dybdeinterval.



Figur 8.2.4 viser den elektriske, horisontale middelmohstand for dybdeintervallet 0 til 15 m under terræn, baseret på TEM-målinger.

Jordartskort mv.

Fra jordartskortet (figur 8.2.5) har det først og fremmest været informationer om forekomsten af ferskvandsaflejringer (postglaciale tørvedannelser) i dalstrøgene, der har været interessant i denne sammenhæng. Disse jordlag udviser normalt en ret lav elektrisk modstand, hvilket kan føre til forveksling med lerlag. Denne type forveksling medfører sjældent de helt store problemer, idet tørvelag normalt besidder stor reduktionskapacitet i forhold til nitrat. Tørvelag kan derfor tages til indtægt for beskyttende egenskaber, der er mindst lige så gode som tætte lerlag. I engområder kan det ofte være vanskeligt at få placeret de slæbegeoelektriske målelinier med den ønskede tæthed på grund af vanskelige jordbundsforhold. Dette kan give anledning til, at der må interpoleres mellem målepunkter, som ligger relativt langt fra hinanden, og dermed ikke afslører helt lokale variationer i lerlagstykkelsen.



Figur 8.2.5. Danmarks digitale jordartskort, GEUS (den oversigtlige udgave).

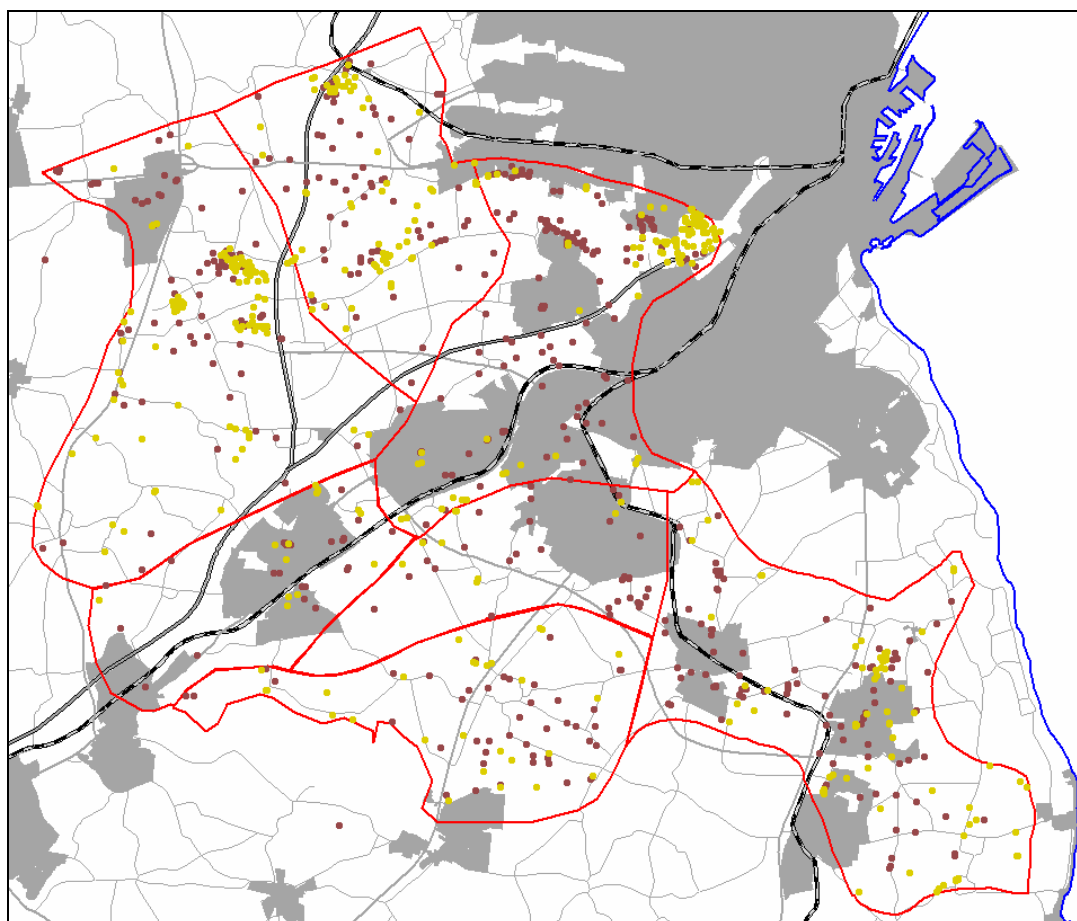
Boringer

Oplysninger fra de 919 boringer i Århus Syd-området har været inddraget i nærværende beskrevne kortlægningsarbejde med henblik på at supplere, kontrollere og korrigere den geofysiske lerlagstykkelser. Figur 8.2.6 viser hvorvidt lertykkelsen i boringer er over eller under 15 m i de øverste 30 m jordlag.

Det er imidlertid vigtigt at tage i betragtning, at kvaliteten af beskrivelserne af de gennemborede lag i alle disse boringer er stærkt svingende. Dette skyldes bl.a. at boringerne er udført over en lang periode, at der har været vidt forskellige formål med at udføre boringerne, og at boringerne er udført af mange forskellige brøndborere med vidt forskellige typer boreudstyr. En del af boringerne, ofte de lidt ældre, har derfor desværre ikke kunnet bidrage med særligt detaljerede oplysninger i relation til bestemmelsen af den samlede lerlagstykkelser inden for de øverste ca. 30 m under terræn. Desuden er det også værd at fremhæve, at mange boringer er mindre end 30 meter dybe og derfor ikke har kunnet bidrage med fuld information om det aktuelle dybdeinterval.

En sammenstilling af de samlede lerlagstykkelser bestemt ud fra boringsoplysninger og de geofysiske lertykkelser viser, at der er meget stor overensstemmelse mellem resultaterne. Stedvis kan der af forskellige grunde være enkeltstående boringer, som afviger fra det generelle billede. Visse steder vil det ikke være muligt uden videre at etablere en sammenhæng mellem de tolkede PACES-målinger og den observerede lagfølge i boringerne. Der er flere oplagte forklaringer på dette, f.eks.:

- for stor afstand mellem boring og PACES-målelinie i forhold til en hastigt varierende geologi,
- dårligt beskrevne boringer,
- forekomst af forskellige sedimenttyper med samme elektriske modstandsniveauer,
- ækvivalensproblemer
- begrænsninger i PACES-metoden ved f.eks. lagundertrykkelse mv.

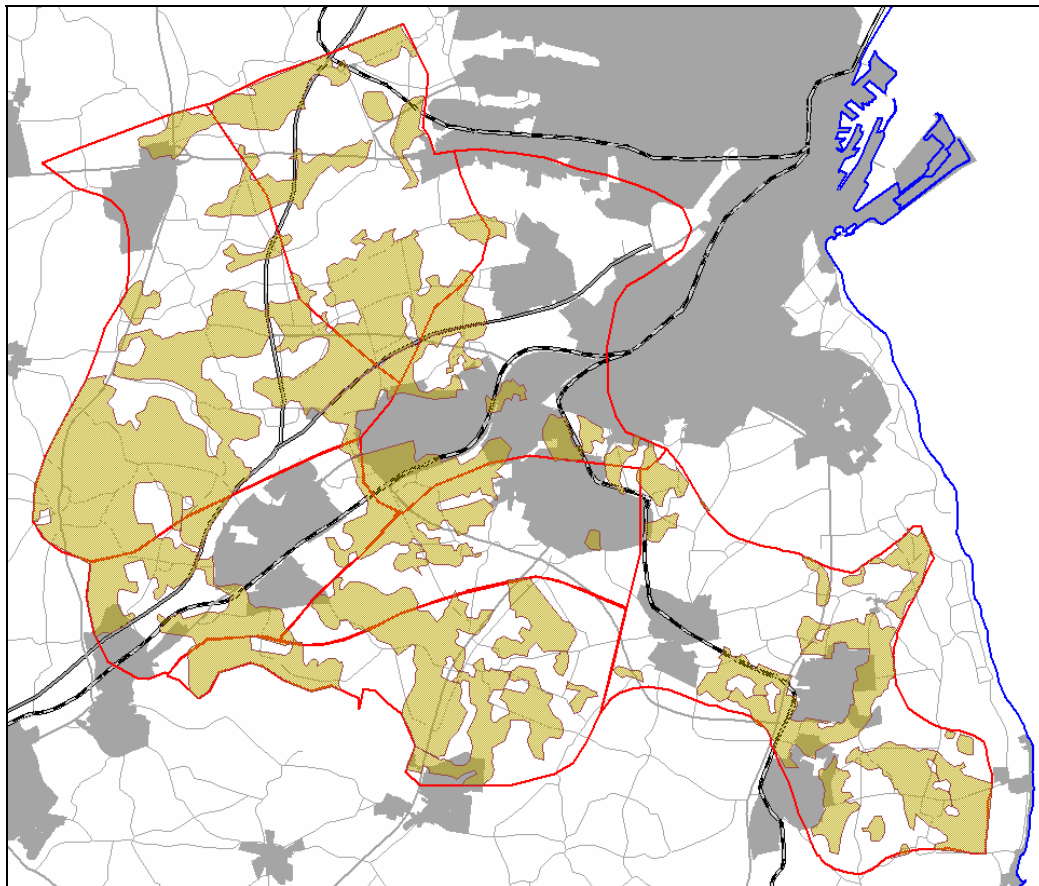


Figur 8.2.6 viser fordelingen af boringer med over 15 m ler (brune cirkler) og under 15 m ler (gule cirkler) i de øverste 30 m jordlag.

De steder, hvor der er fundet flere velbeskrevne boringer, som udgør en samlet enhed, og hvor der er væsentlige afvigelser mellem den boringsbaserede bestemmelse af lertykkelser og den geofysiske lertykkelse, har de boringsbaserede oplysninger fået den udslagsgivende indflydelse på den endelige fastlæggelse af lerlagstykkelsen. I de resterende områder, er det resultatet af de geofysiske undersøgelser, der er afgørende for områdets sårbarhed.

Det sammentolkede lertykkelseskort

Ovenstående datagrundlag for Århus Syd-området, kan summeres op til ét sammentolket lertykkelseskort som vist i figur 8.2.7. Kortet viser områder hvor lertykkelsen fra geofysik, boringer og geologiske oplysninger er under 15 m i de øverste 30 m af jordlagene og danner udgangspunktet for det videre arbejde (kap. 8.3) med at fremstille et nitratsårbarhedskort.



Figur 8.2.7 Kort for Århus Syd-området over sammentolket lertykkelse under 15 m i dybdeintervallet fra 0 til 30 meter under terræn.

I denne rapport's Appendix C er der mere detaljeret gjort rede for, hvordan det sammentolkede lertykkelseskort er fremstillet.

8.3 Nitratsårbare områder

I det foregående kapitel blev resultater fra geofysiske målinger og borerer stillet sammen til et sammentolket lertykkelseskort. I dette kapitel arbejdes der videre med dette kort, idet målet er at udarbejde et nitratsårbarhedskort.

Nitratbelastningen i området er vurderet ved hjælp af 3 forskellige metoder:

1. Grundvandets indhold af nitrat,
2. Farvebestemmelser af jordprøver, der afspejler redoxforholdene og
3. Jordlagenes nitratreduktionskapacitet kvantificeret ud fra sedimentkemiske analyser af nitratreducerende forbindelser.

Nitrat i grundvandet

Figur 8.3.1 viser nitratinholdet i grundvandet (råvand) i Århus Syd-området. Figuren er lavet ud fra følgende kriterier:

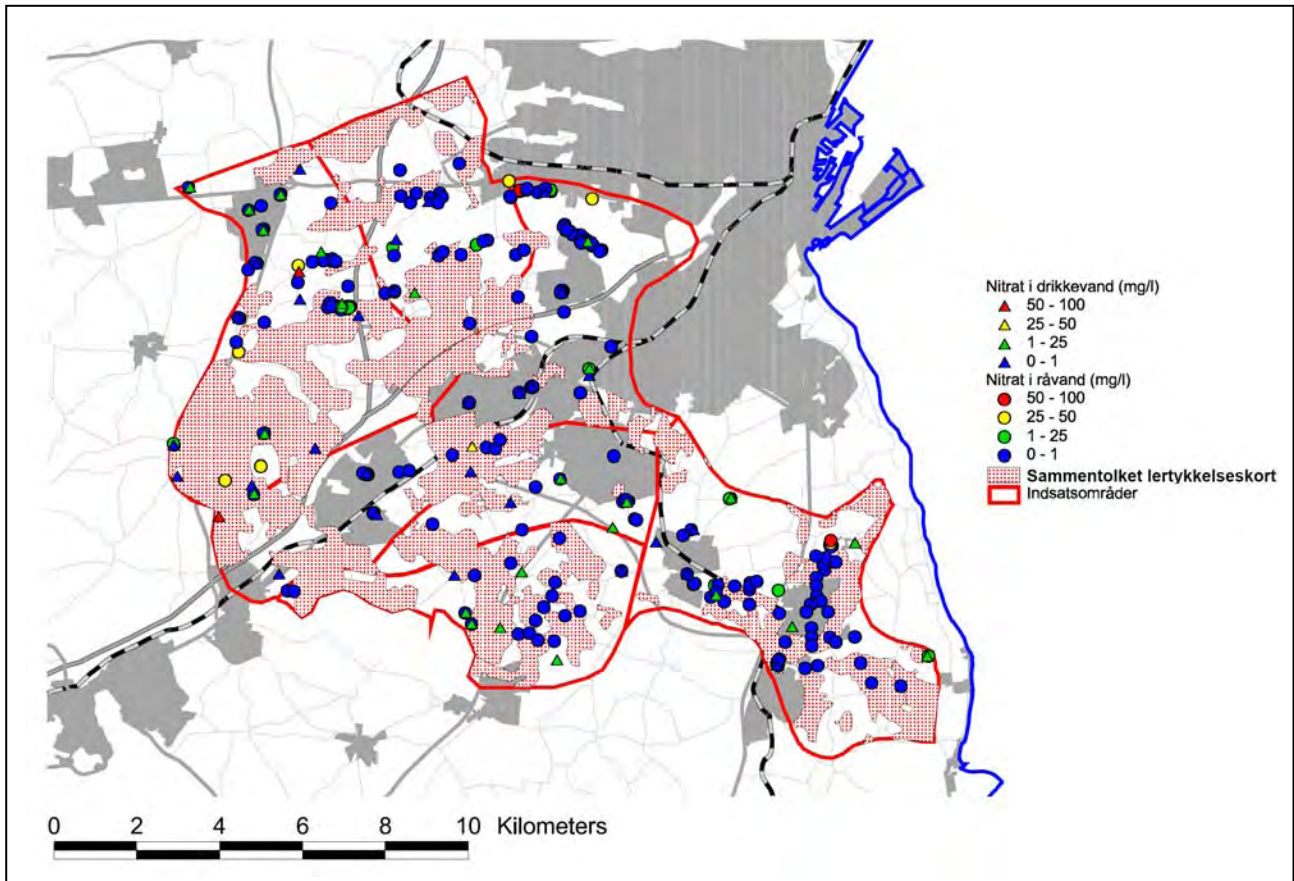
1. Borerer fra forurenede grunde og lossepladser er ikke medtaget.
2. Resultatet af den seneste analyse er vist.
3. Resultater fra alle analyserede borerer og vandværker (både aktive og nedlagte) er medtaget.
4. Højeste nitratværdi er vist, hvis der er flere filtre i samme boring.

I iltet grundvand, hvor nitratkoncentrationen svarer til koncentrationen i nedsivningsvandet fra marker m.v., er der i Århus Syd-området få målinger og disse viser et forholdsvist lavt nitratinhold mellem ca. 10 - 90 mg/l. I anoxisk grundvand, hvor nitraten er delvis omsat, er der målt mellem ca. 1 - 50 mg/l nitrat. I reduceret grundvand er nitraten helt omsat og der måles typisk under 1 mg nitrat pr. liter.

Som beskrevet i kapitel 5 er der i Århus Syd-området ingen vandværker, som udelukkende er lukket på grund af overskridelser af grænseværdien for nitrat i drikkevand (50 mg/l). Men der er flere vandværker som er nedlagt på grund af en kombination af tekniske og administrative årsager samt et højt indhold af nitrat i drikkevandet. Disse lukkede vandværker er spredt ud over området.

Generelt er der målt et lavt nitratinhold i grundvandet på de fleste undersøgte steder i Århus Syd-området. Det højeste nitratinhold (90 mg/l) er målt i en nu nedlagt indvindingsboring fra det lukkede Brabrandværk (grænseværdien for nitrat i drikkevandet er 50 mg/l).

Desuden har der været overskridelser af grænseværdien for nitrat i drikkevandet på 3 nu nedlagte vandværker nemlig Hørret Vandværk, Gl. Harlev Vandværk og Brabrandværket i Århus Syd-området. På nuværende tidspunkt er der et aktivt ikke-almment vandværk (Jeksen Fladland Vandværk), som har overskridelser af nitratinholdet i drikkevandet, idet indholdet fra 1988 til 2005 har ligget mellem ca. 50-90 mg/l.

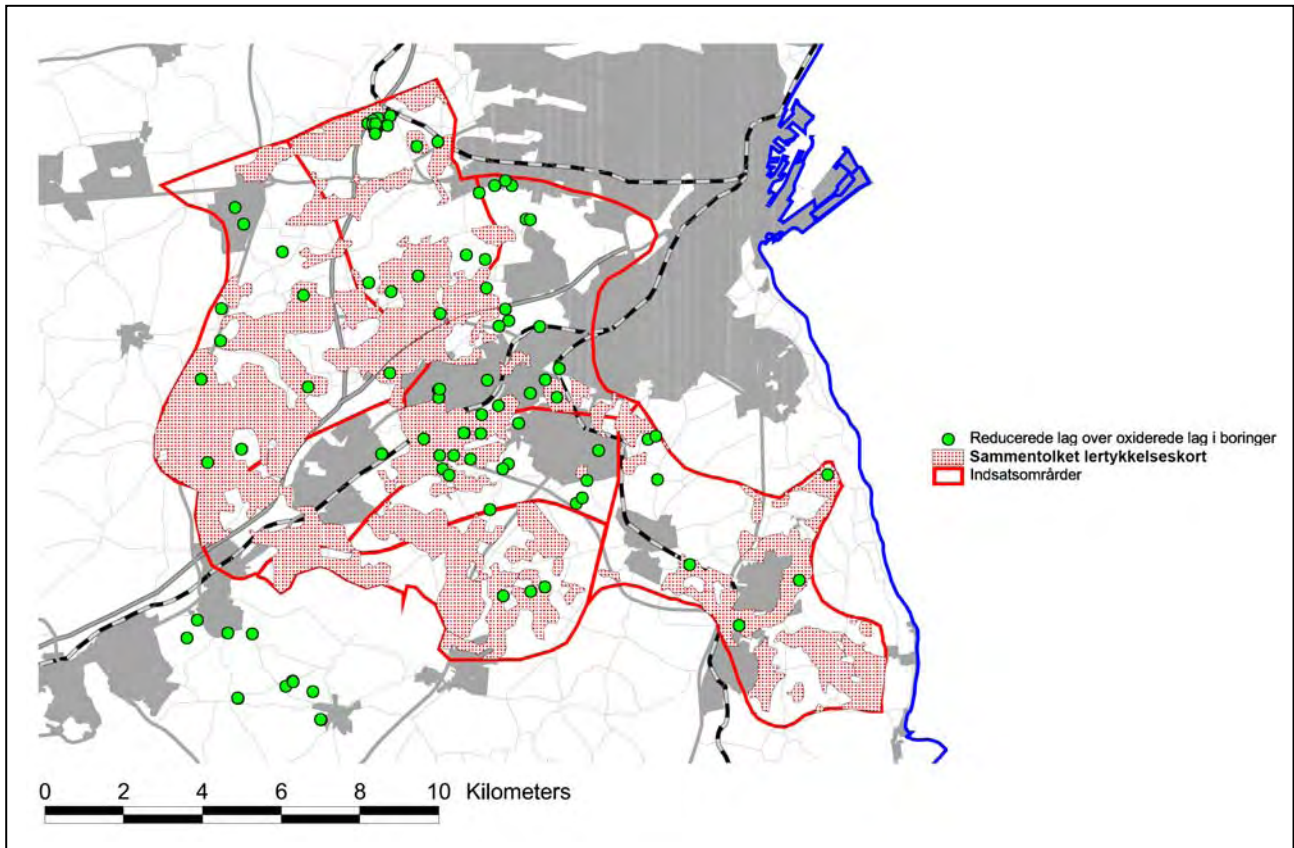


Figur 8.3.1. Nitrat i grundvandet (råvand) i Århus Syd-området er vist sammen med det geofysiske lertykkelseskort fra figur 8.2.7. Resultater fra alle analyserede borer og vandværker (både aktive og nedlagte) er medtaget. Højeste nitratværdi er vist ved flere filtre i samme boring. Resultater fra seneste vandanalyse er vist. Dato for dataudtræk: april 2005.

Reducerede jordlag beliggende over iltede jordlag

Det er karakteristisk for store dele af området, at nitrat i nogle borer findes i relativ stor dybde, uden at være til stede i øvre reducerede lag tættere på jordoverfladen. Det fremgår af figur 8.3.2, som viser de borer, hvor der ud fra farvebeskrivelser af jordlagene, er observeret reducerede jordlag over iltede jordlag. Fænomenet skyldes, at nedsivningen af nitrat ikke er lodret, men har et kompliceret strømningsmønster på grund af en heterogen geologi med vekslende ler-, silt- og sandlag. Fænomenet skyldes formentlig forekomsten af såkaldte geologiske vinduer i området.

Et geologisk vindue er et sted, hvor lerdæklaget ikke er sammenhængende, og hvor der er permeable sandede områder ved jordoverfladen og samtidig hydraulisk kontakt til grundvandsmagasinet. Her er der risiko for nedsivning af bl.a. nitrat og pesticider til grundvandsmagasinet (se figur 8.3.3). Forekomsten af geologiske vinduer kan medføre flere farveskift i sedimentet i en boring som udtryk for vekslende iltede og reducerede forhold. Reducerede jordlag over iltede jordlag i en boring skyldes forekomsten af geologiske vinduer.



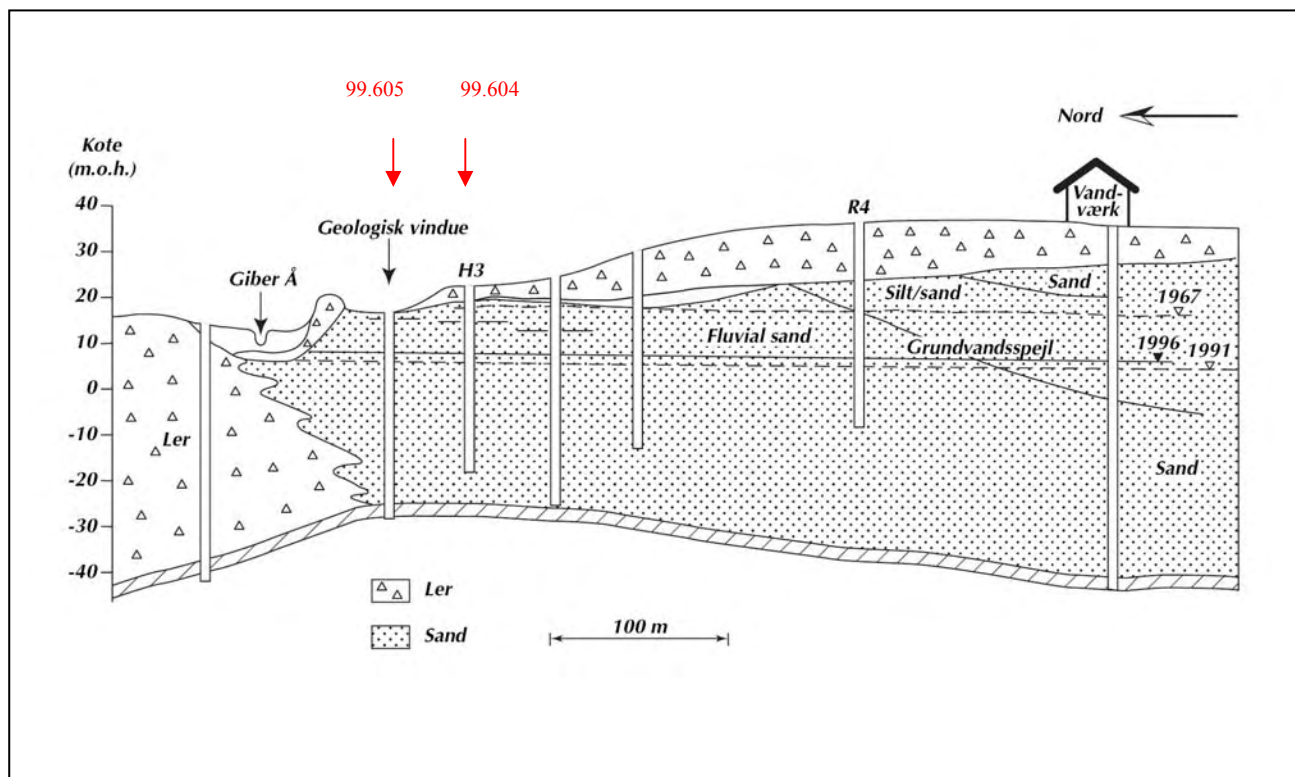
Figur 8.3.2. Boringer, hvor der ud fra farvebeskrivelser af jordlagene, er observeret reducerede lag over oxiderede lag i Aarhus Syd-området, vist sammen med det sammentolkede lertykkelseskort fra figur 8.2.7.

Geologiske vinduer i Bederområdet

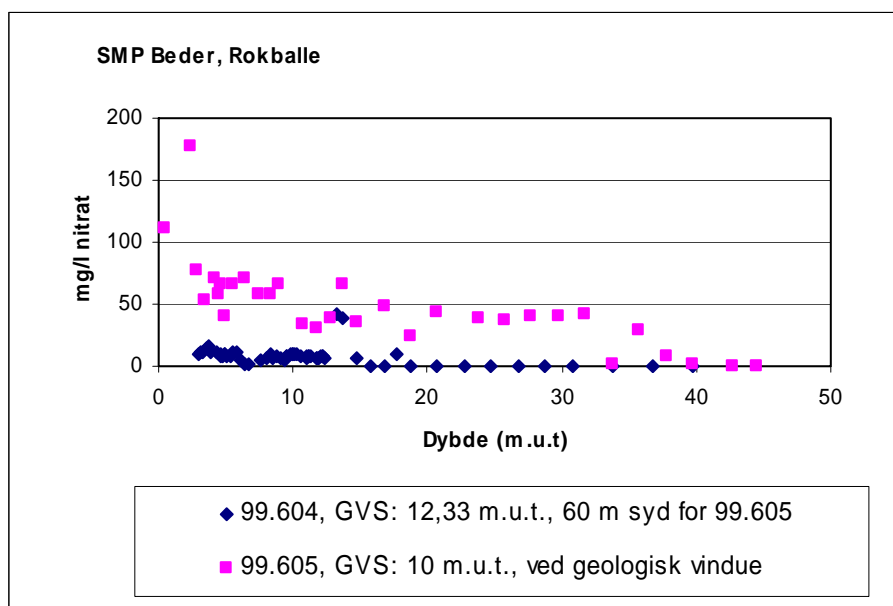
I f.eks. Bederområdet har den kraftige indvinding i området forårsaget en forstærkning af den negative effekt af de geologiske vinduer på vandkvaliteten. Et stigende sulfatindhold i flere indvindingsboringer i området tolkes som et resultat af hydraulisk og atmosfærisk kontakt mellem de overfladenære sandlag (geologiske vinduer) og grundvandsmagasinerne. Her er der på længere sigt risiko for indtrængning af nitrat og andre forurenede stoffer til grundvandsmagasinet. Det stigende sulfatindhold skyldes en forceret omsætning af pyrit som et resultat af en afsænkning af grundvandsspejlet og blotning af sandede, øvre jordlag. Dette forhold blev nærmere undersøgt i Bederområdet i 1990'erne i forbindelse med flere undersøgelsesprojekter mellem ÅKV, Århus Amt og Geofysisk Afdeling ved Aarhus Universitet.

Desuden blev der udført forskningsprojekter inden for Det Strategiske Miljøforskningsprogram – SMP. Ved Rokballe ved Giber å nord for Beder blev et geologisk vindue undersøgt nærmere. I to af SMP-undersøgelsesboringerne ved Rokballe blev der fundet nitrat (se figur 8.3.3 og 8.3.4). I den ene boring med DGU nr. 99.605, som ligger lige under det geologiske vindue, er de øverste ca. 30 meter af grundvandsmagasinet nitratholdigt med nitratkoncentrationer på op til ca. 66 mg/l. I den anden boring med DGU nr. 99.604, som ligger ca. 60 m syd fra den førstnævnte boring, findes der forhøjede koncentrationer af nitrat fra 13,25-13,85 meter under terræn på ca. 38-42 mg/l. Disse forhøjede nitratkoncentrationer er sandsynligvis en nitratfane, som stammer fra indtrængning af nitrat gennem overfladenære sandlag (det geologiske vindue). Det lavere nitratindhold fra 3-13,25

meter under terræn, ved samme boring (DGU nr. 99.604), må stamme fra nitratudvaskning på lokaliteten.



Figur 8.3.3 Geologisk vindue ved Rokballe (Beder). Det geologiske profil angiver de geologiske formationer, grundvandsspejlet, borer og det geologiske vindue (modificeret fra Larsen, 1996).



Figur 8.3.4 Nitratkoncentrationer fra 1994 i 2 SMP-undersøgelingsboringer nord for Beder ved Rokballe. Boringen med DGU nr. 99.605 ligger lige ved det geologiske vindue, som er vist i figur 8.3.3, mens boringen med DGU nr. 99.604 ligger ca. 60 m syd for det geologiske vindue.

Nitrat i grundvandet og lerdæklag

De steder, hvor der er målt nitratholdigt grundvand i Århus Syd-området, er ikke altid sammenfaldende med de steder, hvor det geofysiske lertykkelseskort har mindre end 15 meter ler i de øverste 30 meter af jorden (se figur 8.3.1). Det kan der være to forklaringer på:

1. Forekomst af et geologisk vindue eller
2. At tykkelse af lerdæklagene på det geofysiske kort skal revurderes ved at sammenligne med boringernes geologiske oplysninger

Nitratfrontens beliggenhed

Jordlagenes evne til at fjerne nitrat afhænger af indholdet af reducerende stoffer som pyrit, jern og organisk stof. I gennemlavede lag, som findes tæt ved jordoverfladen, findes der ikke længere reducerende stoffer, der kan fjerne nitrat. Grænsen mellem øvre, nitratholdige jordlag og dybere reducerede, nitratfrie jordlag kaldes nitratfronten. Nitratfronten bevæger sig langsomt nedad efterhånden som de reducerende stoffer, der kan fjerne udvasket nitrat, opbruges i jordlagene.

Informationerne om nitratfrontens beliggenhed bygger på farvebeskrivelser i borejournalerne fra 462 boringer i Århus Syd. I alt er ca. 930 boringer gennemgået og ca. 50 % har dermed haft brugbare informationer om farven af jordlagene. Boringerne er udført over de sidste 75 år af forskellige brøndborere. Kvaliteten af farvebestemmelserne er derfor svingende, hvilket dels skyldes, at formålet med boringerne og beskrivelserne har været forskellige fra boring til boring, dels at farvebestemmelsen er subjektiv. Flere af de yngste undersøgelsesboringer er beskrevet med den mere objektive Munsell farvekode.

Ofte ses det på farvebeskrivelserne, at oprindeligt reducerede prøver er iltede, inden prøverne er beskrevet på GEUS. Derfor tillægges brøndborerens (og boringstilsynet ved undersøgelsesboringer) farvebestemmelse større vægt end GEUS's farvebestemmelse, som kan være foretaget flere år efter, at prøven er udtaget.

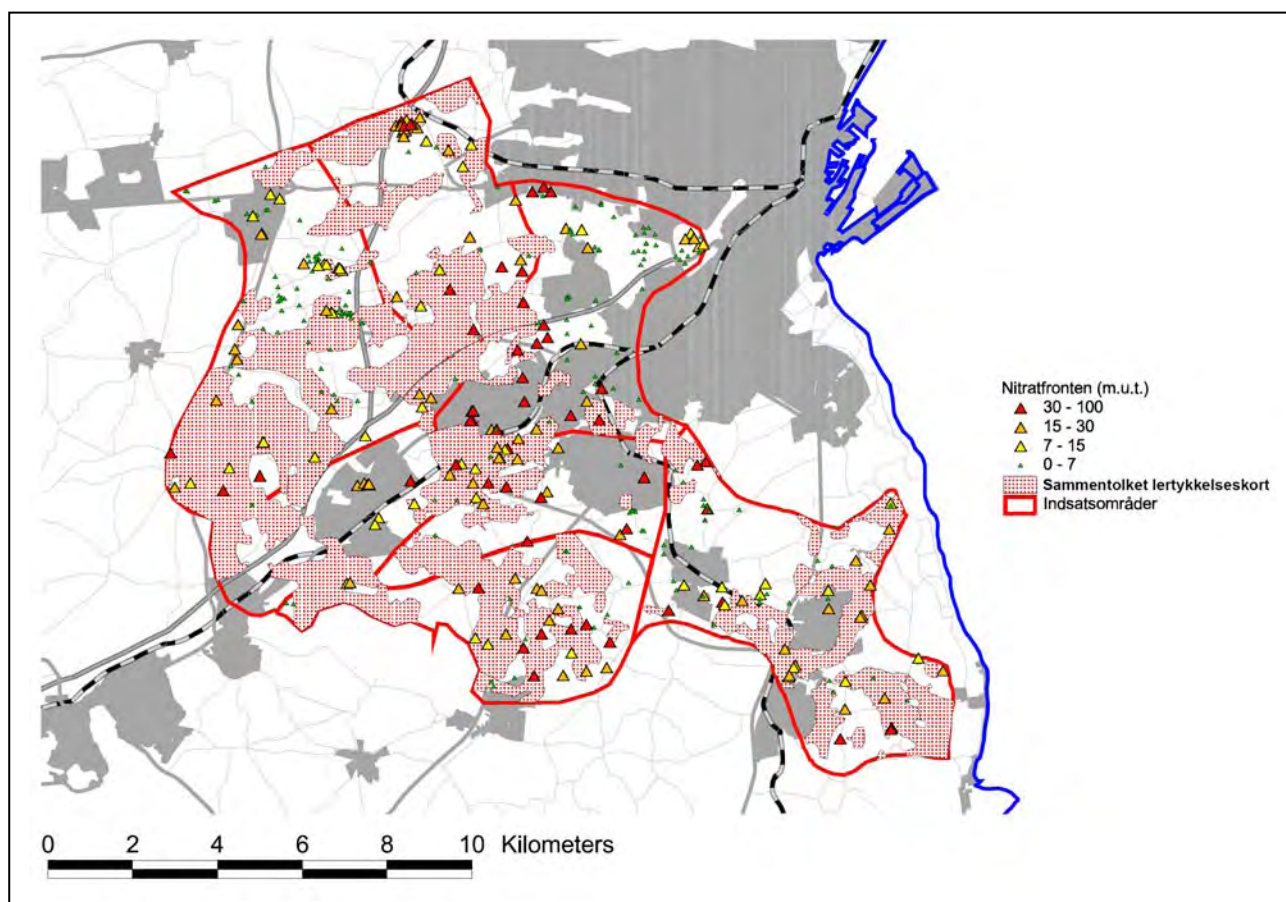
Kortet på figur 8.3.5 og fordelingen på figur 8.3.6 samt tabel 8.3.1 viser dybden til nitratfronten i alle undersøgte boringer. Nitratfrontens beliggenhed varierer fra lige under terræn til op mod 99 meter under terræn med en medianværdi på 7 meter under terræn. Nitratfronten har bevæget sig mere end 15 meter ned under terræn i 37 % af de undersøgte boringer, og i 16 % af boringerne er nitratfronten mere end 30 meter under terræn (tabel 8.3.1 og figur 8.3.6).

På grund af den meget heterogene geologi i Århus Syd-området kan nitratfrontens beliggenhed have stor variation inden for korte afstande. Desuden er der en uens datatæthed om nitratfrontens beliggenhed inden for det undersøgte område på grund af den ujævne fordeling af boringer.

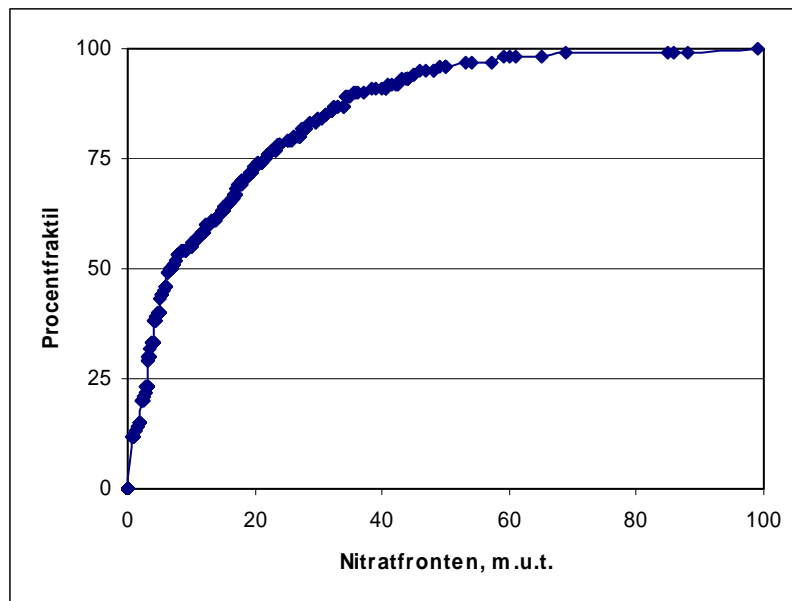
Ved den begravede dal ved Jeksen er nitratfronten også fundet i stor dybde, helt ned til ca. 90 meter under terræn i undersøgelsesboringen med DGU nr. 88.1346 (B41).

Oplysningerne om beliggenheden af nitratfronten, som er vist på Figur 8.3.5, er fra de oprindelige boringsbeskrivelser fra dengang boringerne blev udført. Mange steder i f.eks. Brabranddalen var nitratfronten tæt på terræn ved udførelsen af boringerne, hvilket skyldes den store nitratreduktionskapacitet af tørveaflejringerne og/eller en opadrettet trykgradient i grundvandsmagasinet.

Den kraftige indvinding i Brabranddalen har forårsaget store sænkninger og dermed dannelser af dybe sænkningstragte på grundvandsspejlet ved flere indvindingsboringer. Dette har sandsynligvis også resulteret i dannelse af en sænkningstragt på nitratfronten, på grund af en øget omsætning af pyrit. Et stigende sulfatindhold i flere af indvindingsboringerne vidner om denne proces. Det gælder specielt flere af indvindingsboringerne ved Stautrupværket og ved Åboværket. Dette er beskrevet i kapitel 5 om Vandværker og vandindvinding og illustreret på figur 5.4.4. Derfor må det formodes, at nitratfronten lokalt er trængt dybere ned end vist i 8.3.5 ved de indvindingsboringer, hvor der er sænkningstragt på grundvandsspejlet, og hvor sulfatindholdet er stigende.



Figur 8.3.5. Nitratfronten i Århus Syd-området, baseret på farvebeskrivelser af jordlagene fra boringsoplysninger, vist i forhold til det samtolkede lertykkelseskort fra figur 8.2.7.



Figur 8.3.6. Fordelingen af nitratfronten (meter under terræn) i Århus Syd-området, baseret på farvebeskrivelser fra boringsoplysninger.

Nitratfronten	
Min (m.u.t.)	0
Maks (m.u.t.)	99
Middel (m.u.t.)	14
Median (m.u.t.)	7
Antal observationer (boringer)	425
% større end 7 m.u.t.	50
% større end 15 m.u.t.	37
% større end 30 m.u.t.	16

Tabel 8.3.1 Nitratfronten i Århus Syd (meter under terræn). Baseret på farvebeskrivelser af jordlagene fra boringsoplysningerne.

Der er en forholdsvis god overensstemmelse mellem de steder, hvor nitratfronten er trængt dybt ned (>7 meters dybde) og de områder, hvor der er en dårlig grundvandsbeskyttelse på grund af en lille tykkelse (< 15 meter) af lerlagene i de øverste 30 meter (se figur 8.3.5). I 50 % af de undersøgte boringer er nitratfronten trængt mere end 7 meter ned (figur 8.3.6 og tabel 8.3.1), hvilket altså også er de steder, hvor grundvandsbeskyttelsen er dårlig på grund af tynde lerdæklag.

Det fremgår imidlertid også af figur 8.3.5, at der i Århus Syd-området er steder, hvor der ikke er overensstemmelse mellem en dyb beliggende nitratfront og en lille tykkelse (< 15 meter) af lerlagene i de øverste 30 meter. Dette skyldes enten:

1. At den umættede zone er stor eller
2. At der forekommer geologiske vinduer eller
3. At tykkelsen af lerdæklagene på det geofysiske kort skal revurderes ved at sammenligne med boringernes geologiske oplysninger

Udvaskning og reduktion af nitrat i grundvandet

Når regnen rammer markerne, og overskudsnedbøren siver ned under rodzonen, vil den medføre opløste salte og gasser som nitrat og ilt. På sin vej gennem jordlagene vil nitrat kunne omsættes til frit kvælstof, hvis det rigtige geokemiske miljø er tilstede.

Undergrundens sedimenter indeholder indlejret organisk stof, der som udgangspunkt giver et reduceret miljø, uden ilt og nitrat. I et reduceret miljø kan der også være pyrit tilstede (sulfat er reduceret til sulfid) og Fe(II)-forbindelser. Når ilt og nitrat siver ned i jorden, iltes det indlejrede organiske stof, pyrit og Fe(II)-forbindelser. Nedtrængningsdybden for ilt og nitrat afhænger af:

- mængden af indlejrede reducerende stoffer,
- hvor meget ilt og nitrat, der siden istiden har været ført med grundvandet,
- om der har været umættede forhold, hvor atmosfærens ilt har været i stand til at ilte jorden.
- vandværkernes indflydelse på grundvandets strømningsforhold.

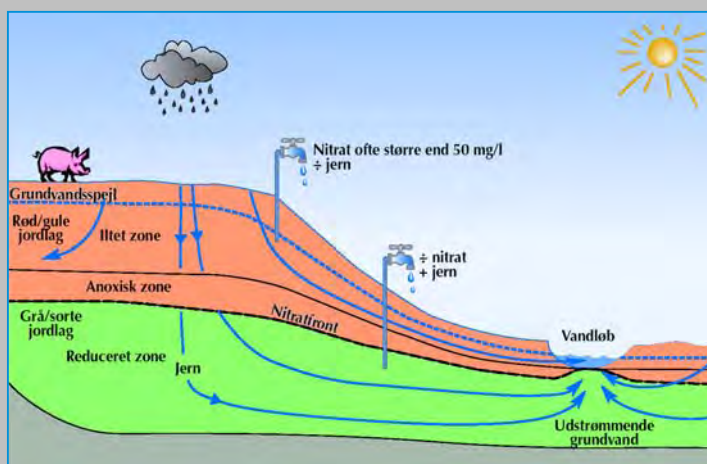
Nitratfrontens stabilitet

Overgangen mellem det nitratholdige miljø (iltet og anoxisk zone) og det reducerede miljø, hvor opløst jern og mangan præger grundvandskvaliteten, kaldes nitratfronten (se nedenstående figur). Ilt og nitrat reduceres ofte hurtigt sammenlignet med vandets strømningshastighed, og så er nitratfronten relativt skarp. Nitratreduktion er dog væsentlig langsommere end iltreduktion, og derfor ser man også flere steder, at nitrat trænger ind i det reducerede miljø, og skaber en anoxisk zone, der er udtryk for en stabil uligevægtssituation. I sandede områder med lav reduktionskapacitet, stor nitratudvaskning og stor grundvandsdannelse, kan mægtigheden af den anoxiske zone være adskillige meter. Omvendt med lerede områder, hvor den anoxiske zone kan være mere skarp på grund af en større reduktionskapacitet i sedimentet og relativ mindre grundvandsstrømning.

Der vides i dag kun meget lidt om udbredeshastigheden af den anoxiske, nitratholdige zone, idet man formoder, at den først for alvor er udviklet, efter at nitrat er blevet et vigtigere iltningmiddel end ilt. Under naturforhold udgør ilt næsten 100 % af oxidationsækvivalenterne, men når der udvaskes f.eks. 100 mg/l nitrat, vil der være 6 gange flere oxidationsækvivalenter, og redoxgrænsen vil derfor teoretisk set rykke 6 gange hurtigere frem. Hvis bakterierne imidlertid ikke kan omsætte nitrat hurtigt nok i forhold til strømningshastigheden af grundvandet, breder nitrat sig endnu hurtigere frem i den anoxiske zone mellem de reducerede mineraler. Ved vandindvinding vil udbredeshastigheden kunne øges yderligere på grund af en forceret grundvandsstrømning med stigende nitrat i drikkevandet til følge.

Nitrat i grundvandet

Grundvandets indhold af nitrat afhænger derfor af, hvor dybt i grundvandsmagasinet vandprøven er udtaget. Nitratholdigt vand stammer altid fra den øvre iltede eller anoxiske del af grundvandsmagasinet. I modsætning hertil stammer nitratfrit vand oftest fra den nedre reducerede zone i grundvandsmagasinet, da der altid vil være en vis nitratudvaskning fra alle typer arealanvendelser.



Nitratreduktionskapaciteten af jordlagene

I 4 af undersøgelsesboringerne inden for Århus Syd-området (se figur 8.3.7) er der blevet analyseret for pyrit med henblik på bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten på udvalgte sedimentprøver. Resultaterne fra de enkelte boringer findes i Appendix A, hvor resultaterne er beskrevet i forhold til geologi og vandkemi i den enkelte boring.

Da undersøgelsesboringerne er udført som lufthæveboringer, er der ikke analyseret for organisk stof (TOC) og Fe(II), som normalt også bruges til bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten. Det skyldes, at disse parametre sandsynligvis er fejlbehæftede på grund af kontaminering fra boremudderet, der er brugt under udførelsen af boringerne.

Bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten bygger derfor alene på nitratreduktionskapaciteten af pyrit og må derfor betragtes som en minimumsværdi. Forudsætningerne, som ligger til grund for beregningerne, fremgår af de nedenstående bokse.

De udtagne prøver fra de 5 undersøgelsesboringer er udtaget fra iltede og reducerede vandførende lag i boringerne på baggrund af de geologiske beskrivelser i felten. De skal derfor betragtes som punktmålinger. På grund af den heterogene geologi og komplekse hydrologi kan resultaterne ikke umiddelbart generaliseres til hele Århus Syd-området.

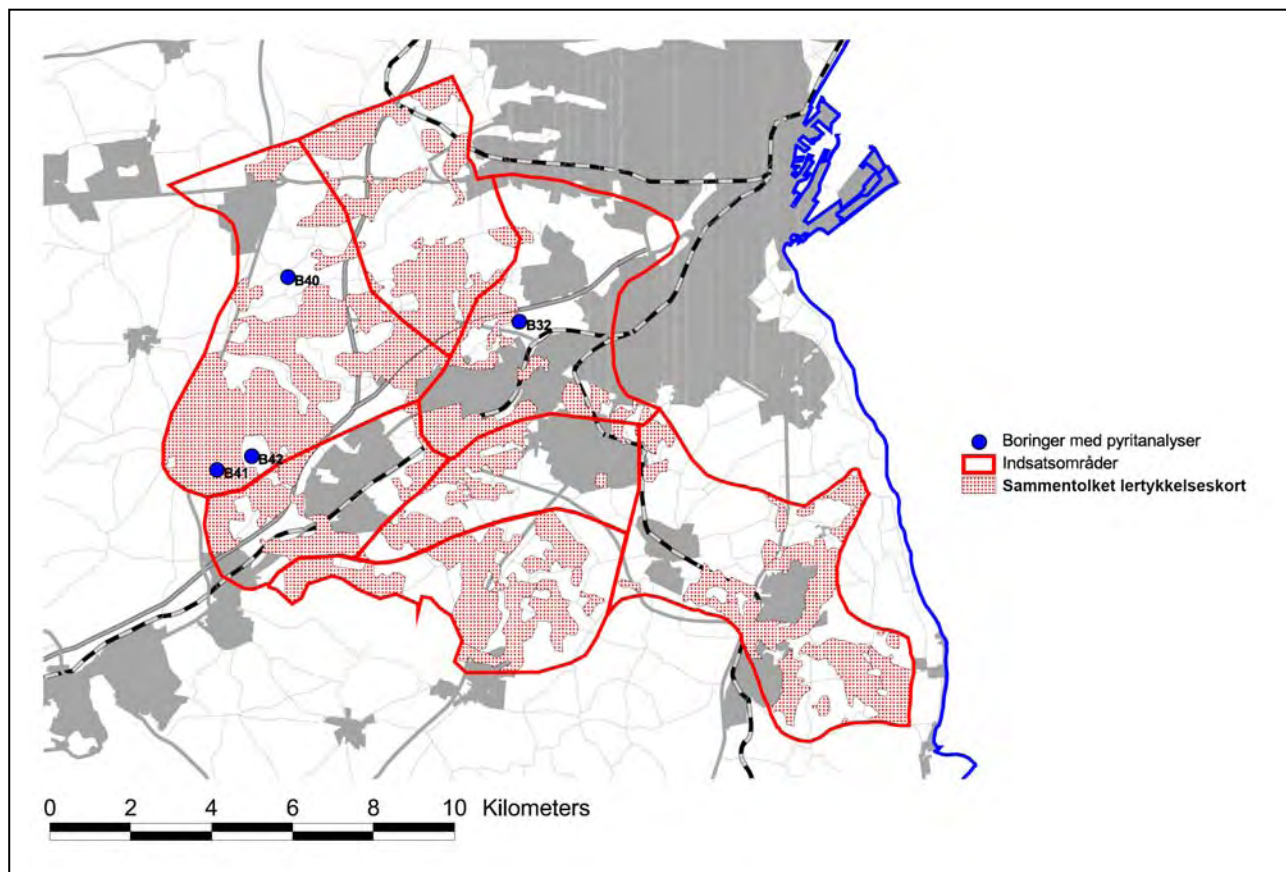
Nitratreduktionskapaciteten, bestemt ved pyritindholdet, ligger generelt lavt på de målte prøver fra grundvandsmagasinerne, som er udtaget fra reducerede kvartære smeltevandsaflejringer (se tabel 8.3.2).

Specielt er den beregnede nitratreduktionskapacitet relativ lav (0-400 år) i grundvandsmagasinet i den begravede Jeksendal. Grundvandsmagasinet er her særlig sårbart, da lerdæklagene ikke yder nogen beskyttelse på grund af hydraulisk kontakt til geologiske vinduer. I den øvre del af dette grundvandsmagasin findes der derfor nitrat.

Lokalitet	Begravet dal	Borings nr.	DGU nr.	Nitratreduktionskapacitet (pyrit) af reducerede kvartære vandførende smeltevandsaflejringer År/m	Nitratreduktionskapacitet (pyrit) af reducerede morænedæklag År/m
Lemming	Stautrup-Hasselagerdalen	B32	89.1610	ca. 1000	ca. 30.000
Gl. Harlev	Brabranddalen	B40	88.1350	ca. 200-350	ca. 120.000
Jeksen	Jeksendalen	B41	88.1346	ca. 0-40	(kontakt til geologisk vindue)
Adslev, Jeksen	Jeksendalen	B42	88.1344	ca. 10-400	(kontakt til geologisk vindue)

Tabel 8.3.2. Den beregnede nitratreduktionskapacitet (bestemt ved pyritindholdet) i 4 undersøgelsesboringer i Århus Syd vist på figur 8.3.7.

Grundvandsmagasinerne ved de to undersøgte boringer i Stautrup-Hasselagerdalen og Brabrandalen er derimod beskyttet af reducerede morænedæklag med en højere nitratreduktionskapacitet (30.000 – 120.000 år/m). Til sammenligning har de vandførende smeltevandsafleriger her en nitratreduktionskapacitet på ca. 200-1000 år pr. m.



Figur 8.3.7 Undersøgelsesboringer i Århus Syd-området, hvor der er målt pyritindhold (inklusive arsen i pyrit) og bestemt nitratreduktionskapacitet, se tabel 8.3.2.

Nitratreduktionskapacitet (enhed: år/m)

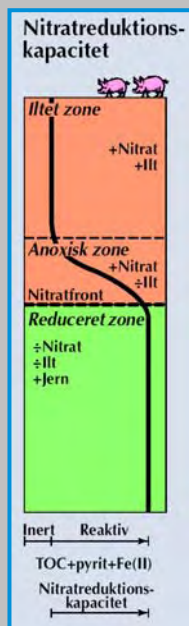
De tre vigtigste nitratreducerende stoffer i sedimenterne i undergrunden er pyrit, TOC og Fe(II). Nitratreduktionskapaciteten er derfor her defineret som det reaktive indhold af pyrit, TOC og Fe(II). Det reaktive indhold vil være det totale indhold minus et inert indhold:

Aktuel nitratreduktionskapacitet = kemisk reaktiv indhold
= total indhold – inert indhold
= indhold (reducerende) – indhold (iltede)

Enheden er reduktionsækvivalenter. Det totale indhold bestemmes som indholdet af pyrit, TOC og Fe(II) under reducerende forhold. Det inerte indhold af pyrit, TOC og Fe(II) bestemmes som indholdet målt under iltede forhold. Det inerte indhold målt under iltede forhold kan for eksempel skyldes indkapslet pyrit og især meget svært nedbrydeligt organisk stof i for eksempel humusfraktionen.

Betydningen af de 3 stoffer (pyrit, TOC og Fe(II)) for nitratreduktionen vil variere fra område til område afhængig af de geologiske forhold.

Nitratreduktionskapaciteten af jordlagene er bestemmende for nedtrængningsdybden af nitratfronten. Når nitratreduktionskapaciteten er opbrugt i jordlagene vil grundvandet være iltet og nitratholdigt. I den anoxiske zone falder nitratreduktionskapaciteten med tiden, da nitraten er under omsætning. I den reducerede zone er nitratreduktionskapaciteten endnu ikke opbrugt og den oprindelige nitratreduktionskapacitet er intakt.



Antagelser i forbindelse med udregning af nitratreduktionskapaciteten i Århus Syd

1. På grund af kontamineringsproblemer i forbindelse med den valgte boremetode (lufthæve) udelukkes TOC og Fe (II) i bestemmelse af nitratreduktionskapaciteten. Nitratreduktionskapaciteten bestemmes derfor udelukkende ud fra analyser af pyritindholdet og må dermed betragtes som en minimumsværdi.
2. Den aktuelle nitratreduktionskapacitet udregnes som det kemisk reaktive indhold af pyrit.
3. Der ses bort fra eventuel oxidation med ilt. Kun nitrat oxiderer det effektive indhold af pyrit, TOC og Fe(II)
4. Der eksisterer kemisk ligevægt mellem den faste og den vandlige fase i sedimentet.
5. Udvasningen af nitrat fra rodzonen sættes lig 50 mg nitrat/l
6. Der foregår nitratreduktion med pyrit i jordlagene:



7. Bulkdensiteten af sedimentet sættes lig $1,5 \text{ g/cm}^3$ (sandlag)
8. Grundvandstilstrømningen (simuleret strømning) til jordlagene bestemmes som summen af den vertikale og horisontale tilstrømning, som er beregnet med den opstillede hydrologiske model (MIKE-SHE) for beregningscellen ($250\text{m} \times 250\text{m}$), som boringen er beliggende i.

Nitratsårbare områder

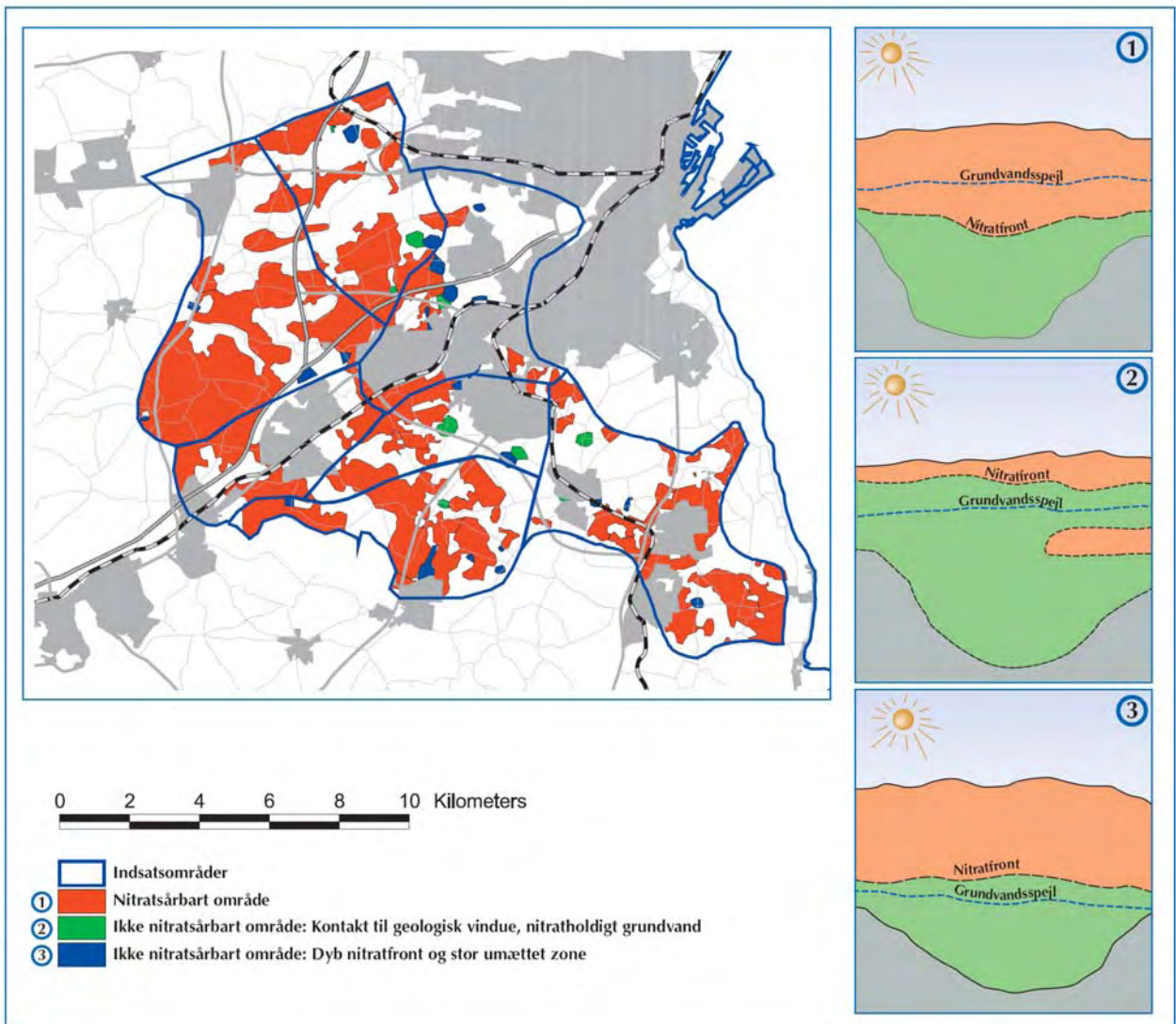
På figur 8.3.8 er vist de områder i Århus Syd, som er nitratsårbare områder. De nitratsårbare områder udgør ca. 37 % af Århus Syd-området. Udpegningen af disse områder er baseret på sammenstilling af geofysik, geologiske oplysninger, farvebeskrivelser af jordlagene og grundvandskemiske oplysninger.

De nitratsårbare områder er områder, hvor:

1. Der er < 15 meter ler i de øverste 30 meter af undergrunden og/eller
2. Der er målt nitrat i grundvandet og/eller
3. Farvebeskrivelser af jordlagene indikerer, at der er nitrat i grundvandet

På figur 8.3.8 er desuden vist ikke nitratsårbare områder, hvor der sandsynligvis er nitratholdigt grundvand i forbindelse med geologiske vinduer (grønne områder). Disse områder er udpeget på baggrund af farveoplysninger af jordlagene. Her sker der ikke direkte vertikal nedsivning af nitrat til grundvandsmagasinet. Området er derfor ikke nitratsårbart. Det formodes, at nitraten i grundvandet er strømmet horisontal mod grundvandsmagasinet fra et nærtliggende nitratsårbart område.

De blå områder på figur 8.3.8 er ikke nitratsårbare områder i Århus Syd-området, hvor den umættede zone er stor. Nitratfronten ligger dybt under terræn (> 7 m.u.t.), men ikke under grundvandsspejlet. Det formodes derfor, at der ikke er nitrat i grundvandet i disse områder.



Figur 8.3.8 Kort for Århus Syd-området over nitratsårbare områder. Desuden er angivet ikke nitratsårbare områder, hvor der sandsynligvis er nitratholdigt grundvand i forbindelse med kontakt til geologiske vinduer (grønne områder). De blå områder viser ikke nitratsårbare områder, hvor den umættede zone er stor, og nitratfronten ligger dybt under terrænen (> 7 m.u.t.), men ikke under grundvandsspejlet.

8.4 Områder med anden sårbarhed

I det foregående afsnit blev der udarbejdet et nitratsårbarhedskort. Alle de udpegede nitratsårbare områder skønnes også at have en betydelig ”anden sårbarhed”. Med ”anden sårbarhed” menes, at der er risiko for andre forureningskilder (specielt pesticider) end nitrat i grundvandet.

På baggrund af fundene af pesticider og andre miljøfremmede stoffer i grundvandet i Århus Syd-området vil det blive vurderet, om det er muligt at udpege andre områder med ”anden sårbarhed”.

Fund af pesticider og andre miljøfremmede stoffer

Tablet 8.4.1 viser i hvor mange undersøgte boringer, der er fundet pesticider i Århus Syd-området. De ældste analyser stammer fra 1993. Mange af boringerne er undersøgt flere gange. Det fremgår at BAM (20 % fundhyppighed) er det hyppigst fundne stof i råvandet efterfulgt af dichlorprop og mechlorprop (6 % fundhyppighed) og 4-CPP (5 % fundhyppighed). I 4 % af de undersøgte boringer er der fundet BAM over grænseværdien, mens der i 1 % af boringerne er der fundet mechlorprop og 4-CPP over grænseværdien.

Stof	Antal			%	
	Undersøgt	Med fund	>0,1µg/l	Fund	>0,1 µg/l
BAM	153	30	6	20	4
Dichlorprop	155	10	0	6	0
Mechlorprop	155	10	2	6	1
4-CPP	131	6	1	5	1

Tablet 8.4.1 Fundhyppighed af de pesticider, der er fundet i råvandet fra boringer i Århus Syd-området gennem perioden (1993-2004), hvor der er målt for de pågældende pesticider.

Desuden forekommer der enkelte sporadiske fund af andre pesticider og miljøfremmede stoffer som bl.a. AMPA, glyphosat, phenol, desisopropylatrazin, simazin, atrazin og bentazon. Disse fund er typisk tæt på detektionsgrænsen, og ofte genfindes de ikke ved senere analyser.

På figur 8.4.1 er de boringer markeret, hvor der har været overskridelser og fund af pesticider i grundvandet gennem perioden 1993-2004, hvor der er målt for de pågældende stoffer. Desuden er vist alle de boringer i Århus Syd-området, som er undersøgt for pesticider.

Nitratsårbare områder

Det ses af figur 8.4.1, at der flere steder i Århus Syd-områder er fund af pesticider inden for de udpegede nitratsårbare områder.

Byerne

I byområderne i Århus Syd-området er der ofte fundet pesticider (se figur 8.4.1). Der har været pesticidfund i boringerne, som er beliggende i byerne Beder, Mårslet, Tranbjerg, Hasselager, Kolt, Hørning, Harlev, Stautrup og Brabrand. I boringer, som er beliggende i Beder og Brabrand, er der desuden fundet pesticidkoncentrationer i råvandet, der ligger over grænseværdien for pesticider i drikkevand (0,1 µg/l).

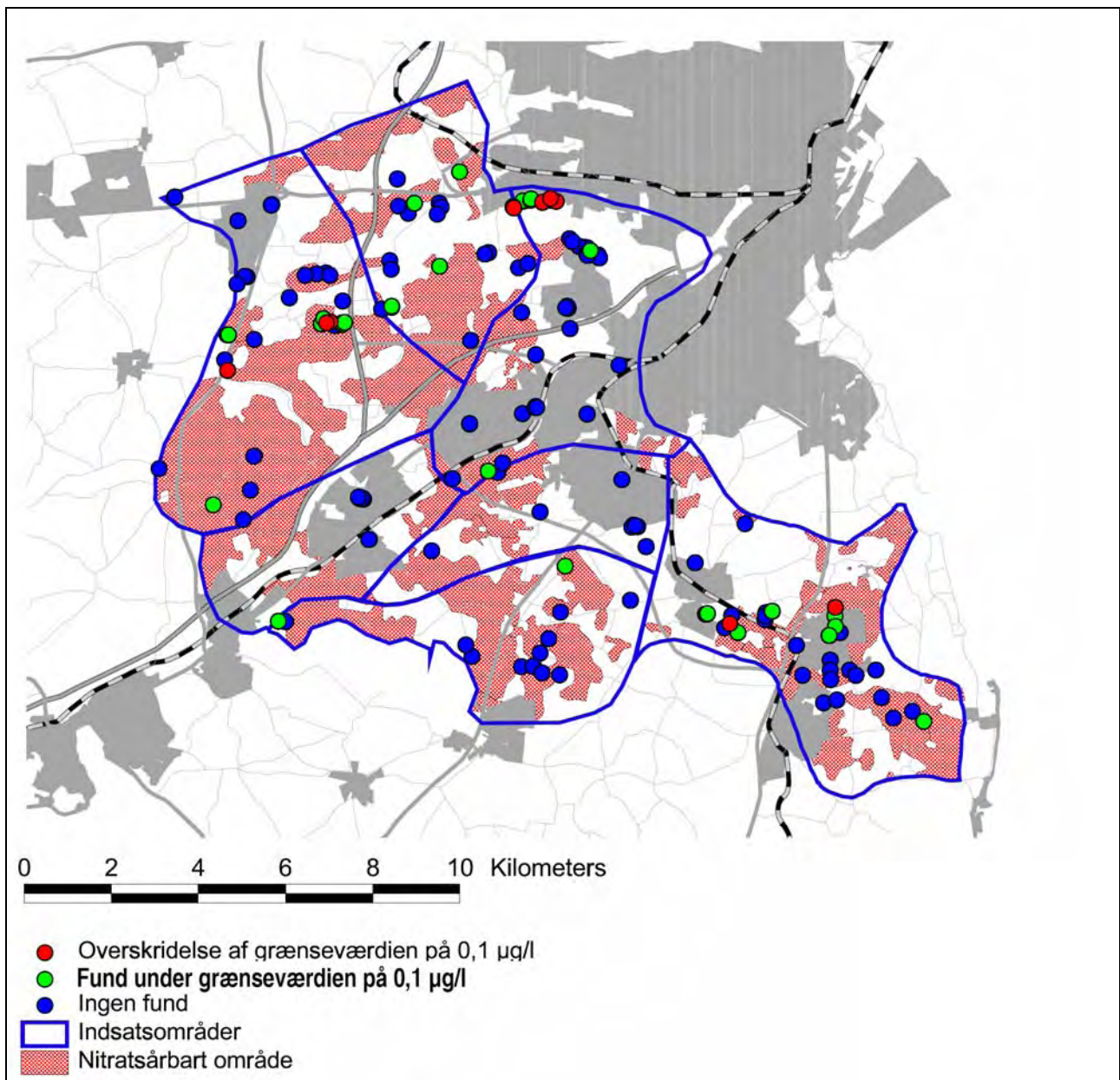
Ikke-nitratsårbare områder

Der er flere steder i Århus Syd-området, hvor der er fund af pesticider uden for byerne og de nitratsårbare områder (se figur 8.4.1). Fundene kan enten skyldes:

1. Geologiske vinduer, hvor pesticiderne vil kunne udvaskes til grundvandsmagasinerne,
2. Nedsivning af pesticider i sprækker i lerdæklagene eller
3. Utætte borer.

Udpegning af områder med anden sårbarhed

Det vurderes, at det i Århus Syd-området ikke er muligt at udpege områder med ”anden sårbarhed” uden for de nitratsårbare områder. Det skyldes, at der ikke eksisterer tilstrækkelig med viden til at udføre en sådan udpegning på nuværende tidspunkt.



Figur 8.4.1 Kort over fundene af pesticider i råvandet i undersøgte borer i Århus Syd-området vist sammen med de nitratsårbare områder fra figur 8.3.8. Resultater fra alle analyserede borer fra 1993-2004 er medtaget. Dato for dataudtræk: april 2005.

9. Sammenstilling af data – konkluderende bemærkninger

I det følgende vil der blive foretaget en sammenstilling af udvalgte resultater fra de foregående kapitlers gennemgang af geologi, hydrogeologi, kemi og resultater fra grundvandsmodellen. Denne sammenstilling skal sikre overblik og danner grundlag for sårbarhedsbeskrivelserne (kapitel 10) og udfærdigelsen af anbefalingerne (kapitel 11) i de udpegede nitratsårbare områder inden for de enkelte indsatsområder.

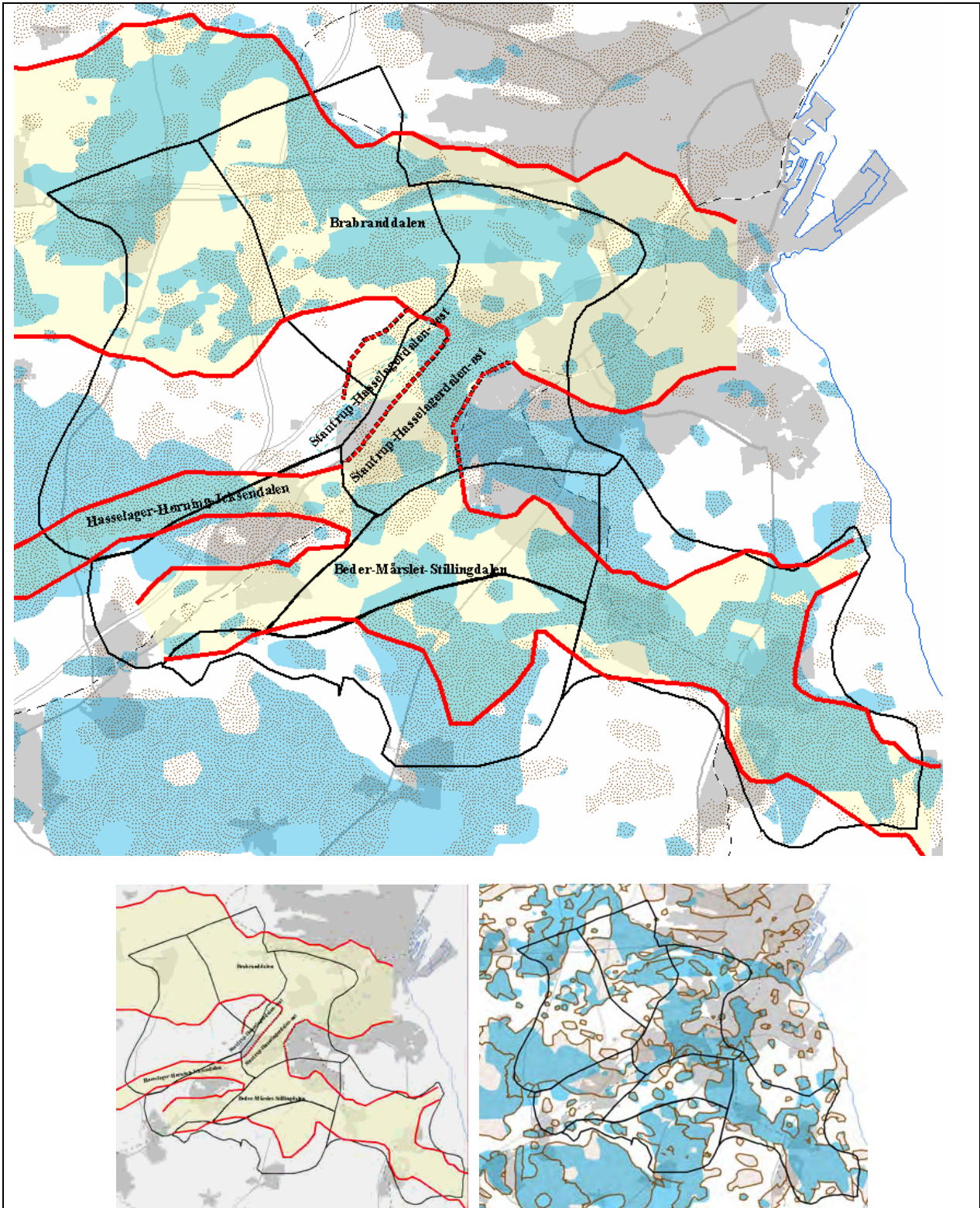
9.1 Grundvandsmagasiner og de begravede dale

I Århus Syd-området er der kortlagt flere begravede dalstrukturer (figur 9.1.1). Dalstrukturene er oftest opfyldt med mægtige, sandede kvartære aflejringer, der således udgør de primære grundvandsmagasiner i området. Vandindvindingen i området knytter sig især til de to største dalstrukturer: Brabranddalen og Beder-Mårslet-Stillingdalen.

Grundvandsmagasinerne er opdelt i øvre og nedre grundvandsmagasiner. De øvre magasiner svarer til sandlag, der indeholder de øverste 20 m af grundvandet, mens de nedre grundvandsmagasiner udgøres af grundvandet dybere end de 20 m fra grundvandsspejlet.

Såvel de øvre som de nedre magasiner findes fordelt over hele området (figur 9.1.1). Mellem dalstrukturene, f.eks. på plateauet mellem Hasselager-Hørning-Jeksendalen og Beder-Mårslet-Stillingdalen, kan det øvre magasin have en større lateral udbredelse end det nedre magasin. I den østlige del af Brabranddalen er det nedre magasin mere sammenhængende end det øvre.

I den vestlige del af Beder-Mårslet-Stillingdalen har der ikke på baggrund af de tilgængelige boringsoplysninger og geofysiske målinger kunnet kortlægges væsentlige grundvandsmagasiner.



Figur 9.1.1. Grundvandsmagasinerne udbredelse i forhold til de begravede dale. De begravede dale er vist med røde streger udfyldt med gult (billedet til venstre), de øvre magasiner er vist med brune prikker, og de nedre magasiner er markeret med blå (billedet til højre).

9.2 Grundvandsdannende oplande, nitratsårbare områder og vandværkssårbarhed

Figur 9.2.1 viser fordelingen af grundvandsdannende oplande, nitratsårbare områder og vandværkssårbarheden for de aktive vandværker i fokusområdet.

Fokusområdet har et samlet areal på ca. 153 km² svarende til ca. 15.300 hektar. Inden for dette område er der udpeget ca. 57 km² nitratsårbare områder (37 %), mens det samlede grundvandsdannende opland er på ca. 129 km² (84 %) inden for fokusområdet.

Af de 20 aktive vandværker i fokusområdet har 43 % af kildepladserne en ustabil vandkvalitet og har dermed en stor vandværkssårbarhed under de nuværende indvindingsforhold.

Grundvandsdannende oplande

Århus Syd-området er et geologisk komplekst område, hvor der foregår en intensiv grundvandsindvinding specielt fra anlæg under ÅKV. Det har derfor vist sig at være vanskeligt at modellere grundvandsstrømningen i området.

Da grundvandsmodellens anvendelighed har vist sig ikke at være ens inden for hele fokusområdet har det for de enkelte kildepladser kun været muligt at udpege sandsynlighedsområder (lyserøde områder på figur 9.2.1) og kerneoplande (blå områder på figur 9.2.1) for kildepladser beliggende syd for den gule skillelinie vist på figur 9.2.1. For kildepladser beliggende nord for denne skillelinie er der udpeget et samlet potentielt grundvandsdannende opland (lyseblåt område på figur 9.2.1). Det har for ingen af kildepladserne været muligt at udpege et præcist grundvandsdannende opland.

Det har været muligt at udpege kerneoplande til 8 kildepladser. Kerneoplandene er koncentreret i den sydlige og østlige del af fokusområdet og dækker dele af de nitratsårbare områder, jf. figur 9.2.1.

Det ses, at en del af kerneoplandet for Vilhelmsborg kildeplads ligger uden for den sydlige afgrænsning af Indsatsområde Beder. Endvidere ses, at flere af sandsynlighedsområderne til kildepladserne beliggende syd for skillelinien ligger uden for fokusområdet. Det skal dog nævnes, at kun dele af Ravnholt Tiset og Stilling Indsatsområder er indeholdt i fokusområdet.

Det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien strækker sig flere steder ud over fokusområdet. Mod øst skyldes det bl.a., at indvindingen ved Vibyværket, som er beliggende uden for fokusområdet, er indeholdt i det samlede potentielle grundvandsdannende opland. Randområderne i det potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien er behæftet med stor usikkerhed. Inden for fokusområdet er det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien dog fastlagt med samme sikkerhed, som det er tilfældet for det samlede sandsynlighedsområde for kildepladserne beliggende syd for skillelinien. Dette betyder, at det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien kun kan anvendes inden for fokusområdet, jf. afsnit 7.12.

De grundvandsdannende oplande er ikke begrænset af de begravede dalstrukturer, selv om de fleste indvindingsboringer er placeret her. Dette kan skyldes dels den intensive indvinding, og dels den komplekse geologiske opbygning af området, der gør, at sandede lag i dalstrukturerne står i hydraulisk kontakt med sandlag på dalflankerne og på plateauerne.

Nitratsårbare områder og grundvandsdannende oplande

For at sikre fremtidens grundvand, bør grundvandet beskyttes i alle de nitratsårbare områder.

Stort set alle de nitratsårbare områder, inden for fokusområdet, er dækket af sandsynlighedsområder og kerneoplande til de aktive vandværker, jf. figur 9.2.1.

Figur 9.2.1 viser, at der er få nitratsårbare områder, der ikke er placeret i et grundvandsdannende opland.

Et større nitratsårbart område mod sydvest ved den begravede Hasselager-Hørning-Jeksen-dal (se figur 9.1.1 og 9.2.1) ser ikke umiddelbart ud til at udgøre noget grundvandsdannende opland til områdets kildepladser. Området er karakteriseret af meget få og små kildepladser. Det skal dog nævnes, at resultaterne fra grundvandsmodellen, på grund af geologisk usikkerhed og dermed ukendt strømningsmønster, er usikre i dette område.

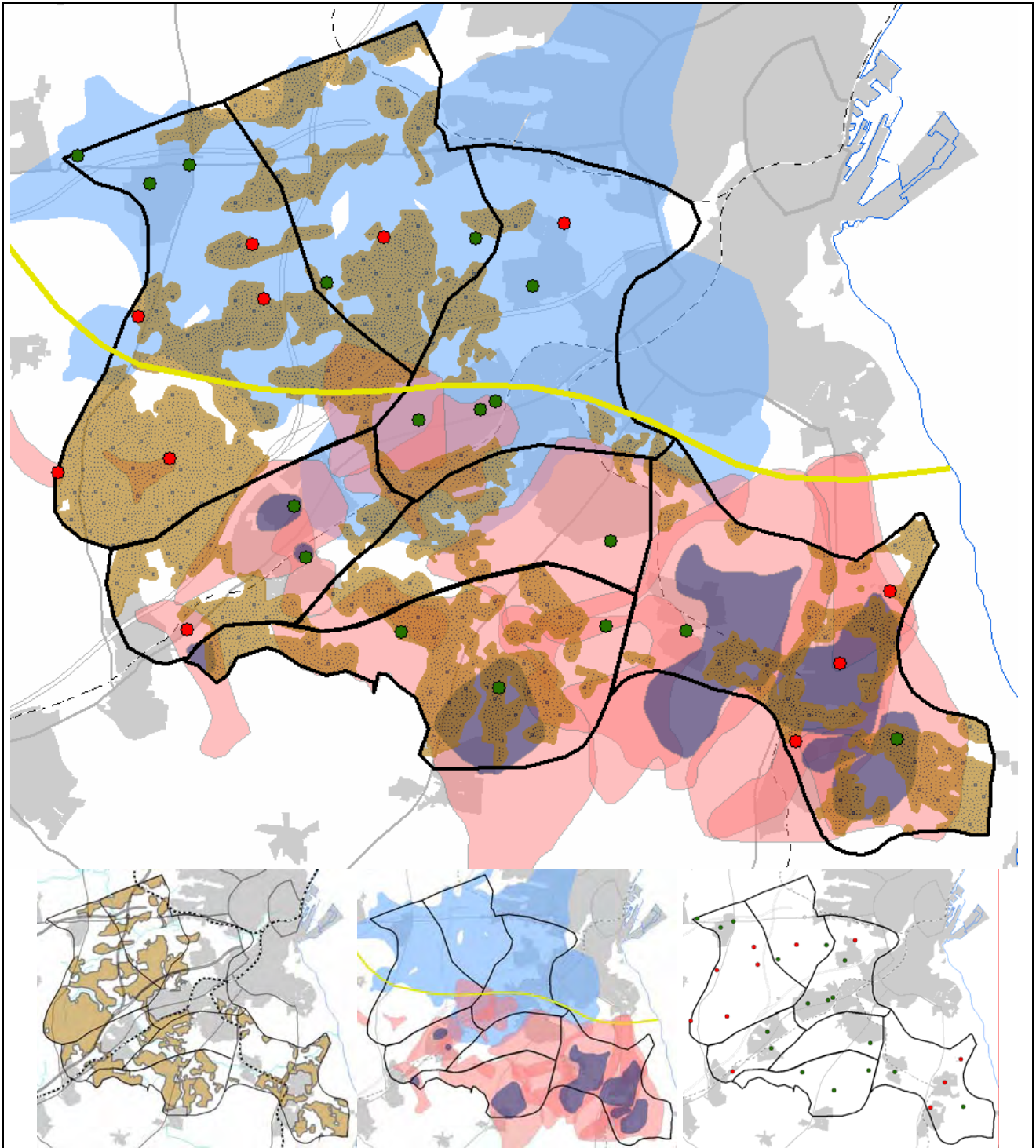
Derudover er en del af de nitratsårbare områder syd for Hasselager/Kolt samt de yderste dele af de nitratsårbare områder i Storskoven og Beder ikke dækket af grundvandsdannende oplande.

Sammenligning af nitratsårbare områder med vandværkssårbarheden

Nitratsårbare områder knytter sig til udpegede arealer, mens vandværkssårbarhed knytter sig til et vandværk og dermed indirekte til vandværkets grundvandsdannende opland. Da det ikke, med den opstillede grundvandsmodel, har været muligt at udpege det præcise grundvandsdannende opland til hvert vandværk, er det heller ikke muligt direkte at sammenligne de nitratsårbare områder med vandværkssårbarheden i de enkelte vandværkers grundvandsdannende oplande (se figur 9.2.1).

Det kan dog fastslås, at en del af det grundvand som vandværker med stor vandværkssårbarhed indvinder, må være dannet i nitratsårbare områder, uden at det præcis vides hvor disse er beliggende. For eksempel kan nærområdet til et vandværk med stor vandværkssårbarhed være vurderet til at have lille magasinsårbarhed over for nitrat, da det er vurderet, at der ved kildepladsen ikke er risiko for dannelse af nitratholdigt grundvand til de dele af grundvandsmagasinerne, som ligger dybere end 30 m under terræn.

Omvendt kan vandværkssårbarheden godt være lille for de vandværker, som indvinder fra beskyttede dybtliggende magasiner med en stabil nitratfri vandkvalitet, men hvor der i den øverste del af grundvandsmagasinet kan forekomme nitrat, og som derfor er udpeget som nitratsårbare områder.



Figur 9.2.1. Sammenstilling (store billede) af nitratsårbare områder (mindre billede til venstre) med grundvandsdannende oplande (midterste mindre billede) og vandværkssårbarhed (mindre billede til højre).

10. Beskrivelse af de nitratsårbare områder

I kapitel 8 blev områderne med stor nitratsårbarhed i Århus Syd-fokusområdet udpeget. Det blev desuden vurderet, at der - på nuværende tidspunkt - ikke er tilstrækkelig med viden til at udpege områder med "anden sårbarhed" uden for de nitratsårbare områder.

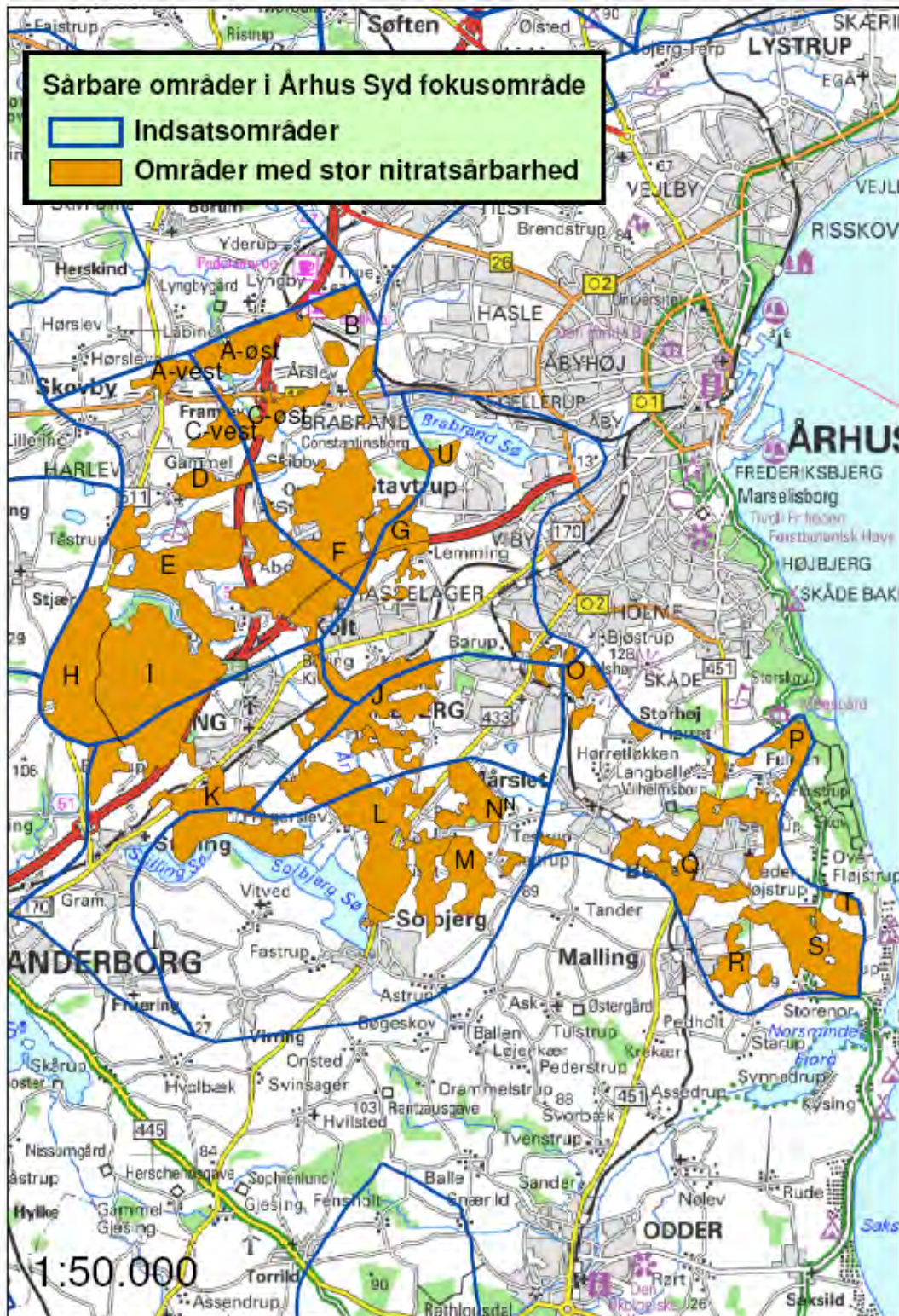
Med udgangspunkt i Miljøstyrelsens Zoneringsvejledning er det muligt at klassificere de nitratsårbare områder i områder med stor, nogen eller lille nitratsårbarhed. Disse definitioner er beskrevet i indledningen til kapitel 8 om grundvandets naturlige beskyttelse og sårbarhed. Denne inddeling er dog yderligere modificeret og tilpasset de faktiske forhold i Århus Amt.

I Århus Syd-fokusområdet anvendes klassificeringen "Stor nitratsårbarhed" og "Lille nitratsårbarhed", hvilket vil sige, at betegnelsen "Nogen nitratsårbarhed" ikke anvendes. Dette skyldes en lavere detaljeringsgrad af de ældre geofysiske PACEP-data, som udgør størstedelen af datagrundlaget i Fokusområdet til udredning af de geologiske forhold af de øverste 30 meter af jorden. PACEP-metoden er forældet i forhold til i detaljer at kunne opløse den geologiske kompleksitet, hvilket har givet sig udslag i udvikling af den nyere PACES-metode. Ved at anvende resultaterne fra PACEP-metoden er det derfor kun muligt at udpege områder med samlede lerlagstykkelser på over eller under 15 m i de øverste 30 meter af jorden. Det betyder således, at der som ovenfor nævnt for hele Århus Syd-fokusområdet kun skelnes mellem betegnelserne "Stor nitratsårbarhed" og "Lille nitratsårbarhed".

Alle de udpegede nitratsårbare områder i Århus Syd-fokusområdet har **stor nitratsårbarhed** (se figur 10.1). I de udpegede områder med stor nitratsårbarhed er der mindre end 15 m lerdæklag i de øverste 30 m af jorden. I områderne med stor nitratsårbarhed bliver der dannet nitratholdigt grundvand, og dette er enten dokumenteret direkte ved grundvandskemiske målinger eller indirekte ved nitratfrontens beliggenhed, der er baseret på boringers farvebeskrivelser af jordlagene.

I de resterende områder i Århus Syd-fokusområdet er der lille nitratsårbarhed. Her er lerlagstykkelsen større end 15 m i de øverste 30 meter af jorden, og det vurderes, at der ikke er risiko for dannelse af nitratholdigt grundvand til de dele af grundvandsmagasinerne, som ligger dybere end 30 m under terræn.

I dette kapitel er der foretaget en beskrivelse af hvert af de udpegede områder med stor nitratsårbarhed inden for Århus Syd-fokusområdet. For hvert område vises dels et oversigtskort over områdets beliggenhed og dels en principskitse, der har til formål at illustrere nogle overordnede vandkemiske forhold i hvert område bl.a. omkring nitratfrontens forløb og grundvandsspejlsniveauerne. Samtlige områder med stor nitratsårbarhed er tildelt et bogstav, som er fortløbende inden for hele Fokusområdet.



Figur 10.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i Århus Syd-fokusområdet.

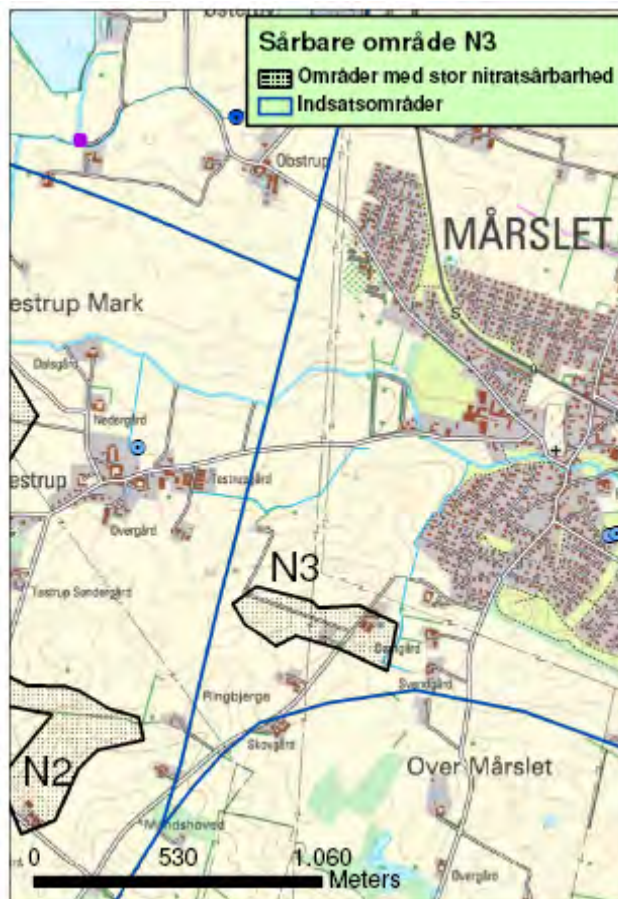
10.1 Nitratsårbare områder – Indsatsområde Beder

I Indsatsområde Beder findes der områder med stor nitratsårbarhed med følgende betegnelser N3 (delområde af område N), O, P, Q, R, S og T, hvilket fremgår af figur 10.1.1. I flere tilfælde består områderne med stor nitratsårbarhed af flere eller mange små områder, som er samlet for at lette overskueligheden. Det drejer sig om områderne O, P, Q og T.



Figur 10.1.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Område N3 er et lille delområde af område N, som ligger SV for Mårslet i den vestlige udkant af Indsatsområde Beder. De øvrige delområder af område N ligger inden for Indsatsområde Ravnholt-Tiset. Arealanvendelsen er udelukkende landbrug. Der er tale om et lettere kuperet morænelandskab med terræn i kote 60-65 m.



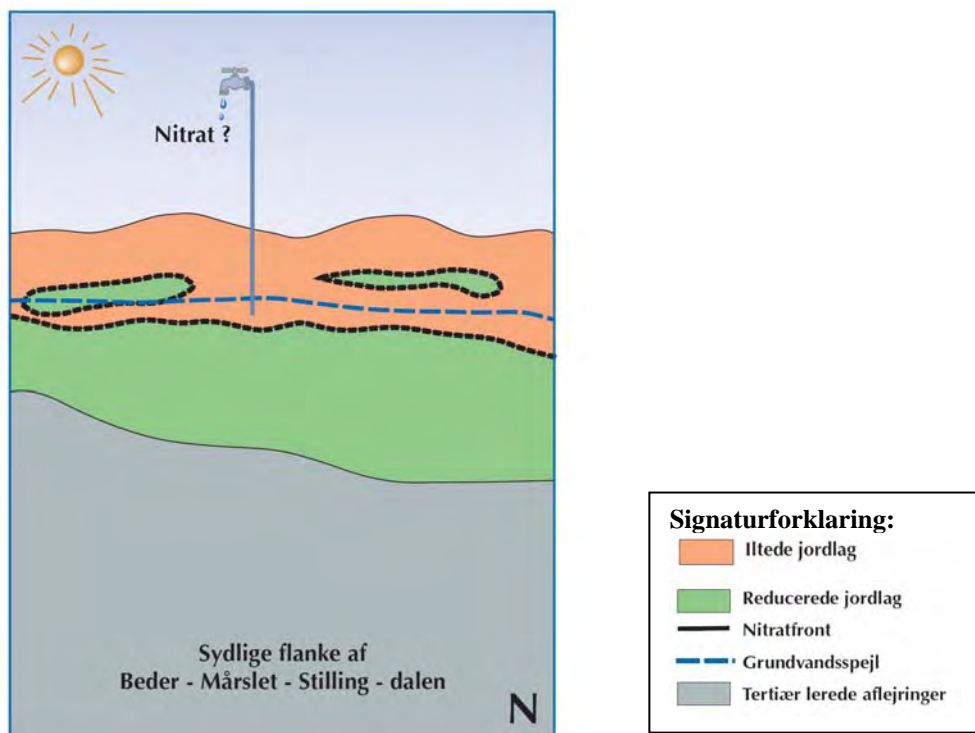
Figur 10.1.2 Kort, som viser beliggenheden af område N3 med stor nitratsårbarhed. De mørkeblå cirkler vest for Mårslet viser 2 af ÅKV's borer ved Østerbyværket. Den lyseblå cirkel nordvest for N3 er Testrup Vandværks boring.

Området ligger på den sydlige flanke af den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.3).

I områdets østlige del findes sandsynligvis et sammenhængende grundvandsmagasin fra ca. 15 m til mindst 50 m under terræn.

Der findes ingen almene vandforsyningsanlæg inden for området.

Sandsynlighedsområderne for henholdsvis Vilhelmsborg Kildeplads og Mårslet Vandværk overlapper område N3.



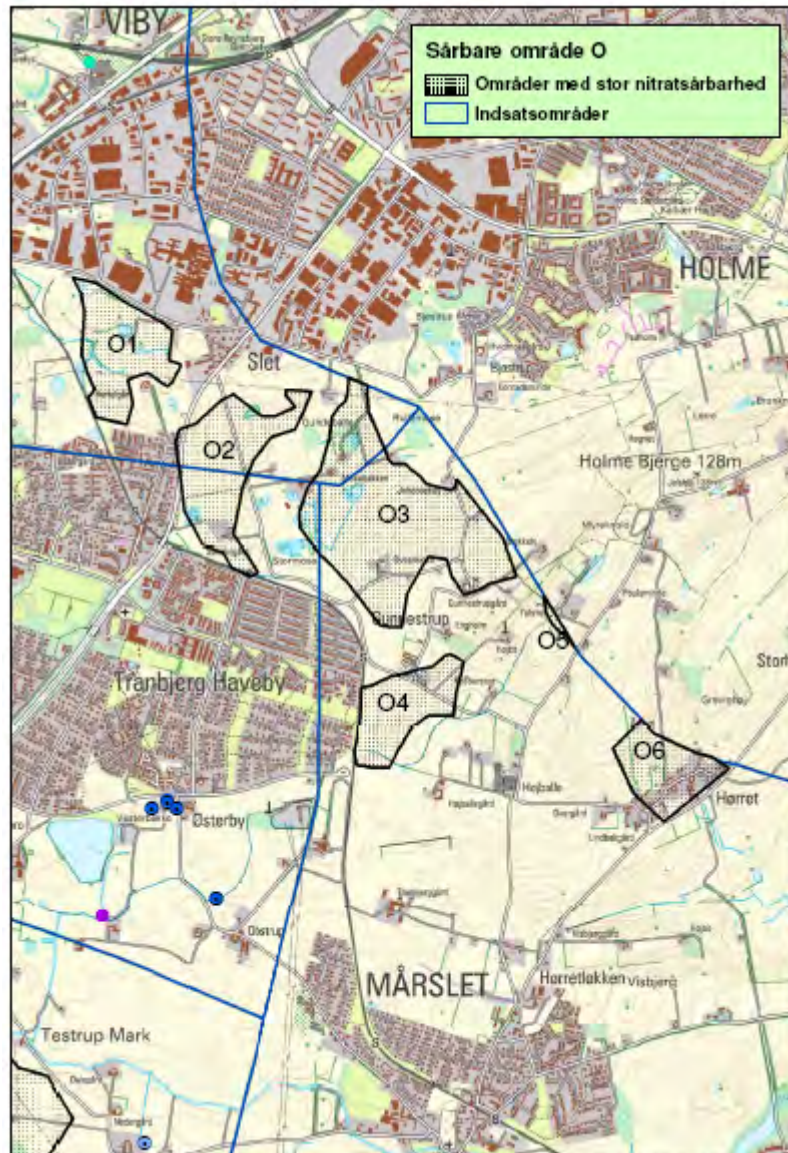
Figur 10.1.3 Principskitse for område N med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Der er ingen oplysninger om vandkemi og nitratkoncentrationer i område N3. Der er oplysninger om nitratfrontens beliggenhed fra en enkelt boring, hvor fronten er ca. 44 m under terræn. Da grundvandsspejlet ligger ca. 20 m under terræn, vil der sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område N3.

Område O ligger mellem Tranbjerg og Holme og består af 6 delområder, hvoraf især de 3 sydligste er meget små. Områderne O4, O5, O6 samt delvist O3 ligger inden for Indsatsområde Beder. Alle delområder er primært landbrugsområder. Der er tale om et kuperet randmorænelandskab.

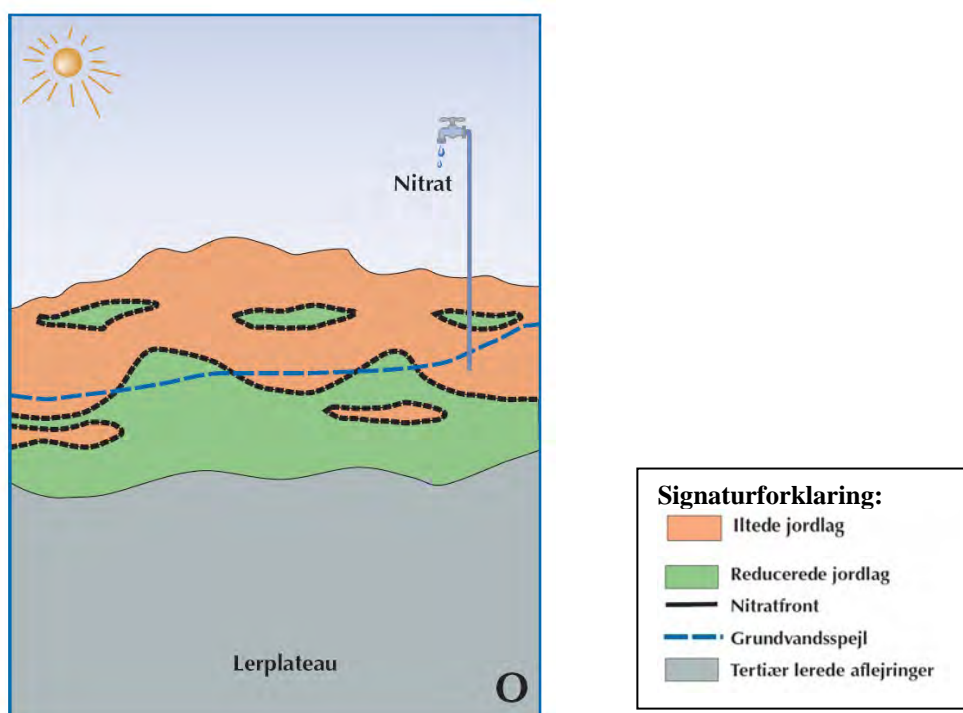
Hele det sårbare område O ligger samlet set i et område med en relativ højtliggende og jævn prækvartæroverflade af ler (se figur 10.1.5). De overliggende ca. 60 m består både af sandede miocæne lag og kvartære sedimenter af moræneler og smeltevandssand.

Der findes ingen almene vandforsyningsanlæg inden for området.



Figur 10.1.4 Kort, som viser beliggenheden af område O med stor nitratsårbarhed (området består af i alt 6 delområder). Gruppen af blå cirkler syd for Tranbjerg viser ÅKV's borer ved Østerbyværket.

Flere af de 6 delområder i område O overlappes af sandsynlighedsområder til 2 forskellige kildepladser – Østerby Kildeplads (Østerbyværket) og Vilhelmsborg Kildeplads (Bederværket), og det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien.



Figur 10.1.5. Principskitse for område O med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Grundvandsspejlet for området under ét varierer i intervallet kote 30-45 m. Grundvandsstrømningen er rettet mod nord/nordøst.

Der er oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i enkelte boringer i området. Nitratfronten ligger ca. 40 m under terræn. Der er fundet nitratholdigt grundvand (ca. 15-50 mg/l) i 2 boringer fra det nedlagte Hørret Vandværk (1996) i O6. Der er ikke fundet pesticider i disse boringer.

Område P består af 3 delområder af forskellige størrelser, som er beliggende i området omkring Fulden i Fulden-dalen. P1 ved Langballe – arealanvendelsen er skov i den nordligste del og landbrug i den øvrige del, P2 nordvest for Fulden – landbrugsområde, og P3 omkring Lille Fulden - skov i den nordlige og landbrug i den sydlige del. Det bakkede landskab er under sidste istid dannet under isens fremrykning, hvor isen har skubbet underlaget op foran sig, hvorved Jelshøjbuerne (Holme Bjerger, VØ-orientering) og Skåde Bakker (NS-orientering) er dannet.



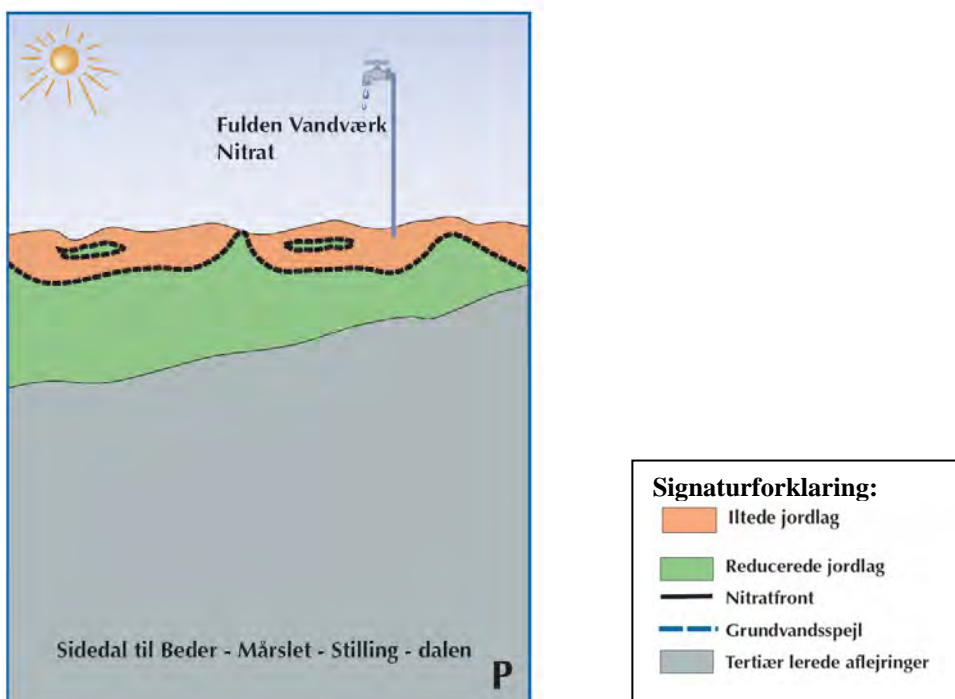
Figur 10.1.6 Kort, som viser beliggenheden af område P med stor nitratsårbarhed (området består af i alt 3 delområder). Den lyseblå cirkel ved Fulden viser placeringen af indvindingen til Fulden Vandværk (kildevæld).

Der er antagelig en lavning i prækvartæroverfladen langs med Giber Å. Område P antages at være delvist sammenfaldende med en sidedal til den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.7).

Fulden Vandværk er det eneste almene vandforsyningsanlæg i området (indvinder fra et kildevæld) og ligger i den sydlige udkant af P3.

De 3 delområder i område P overlappes af sandsynlighedsområder til 3 kildepladser under Bederværket: Skoleparken Kildeplads, Byagerparken Kildeplads og Vilhelmsborg Kildeplads.

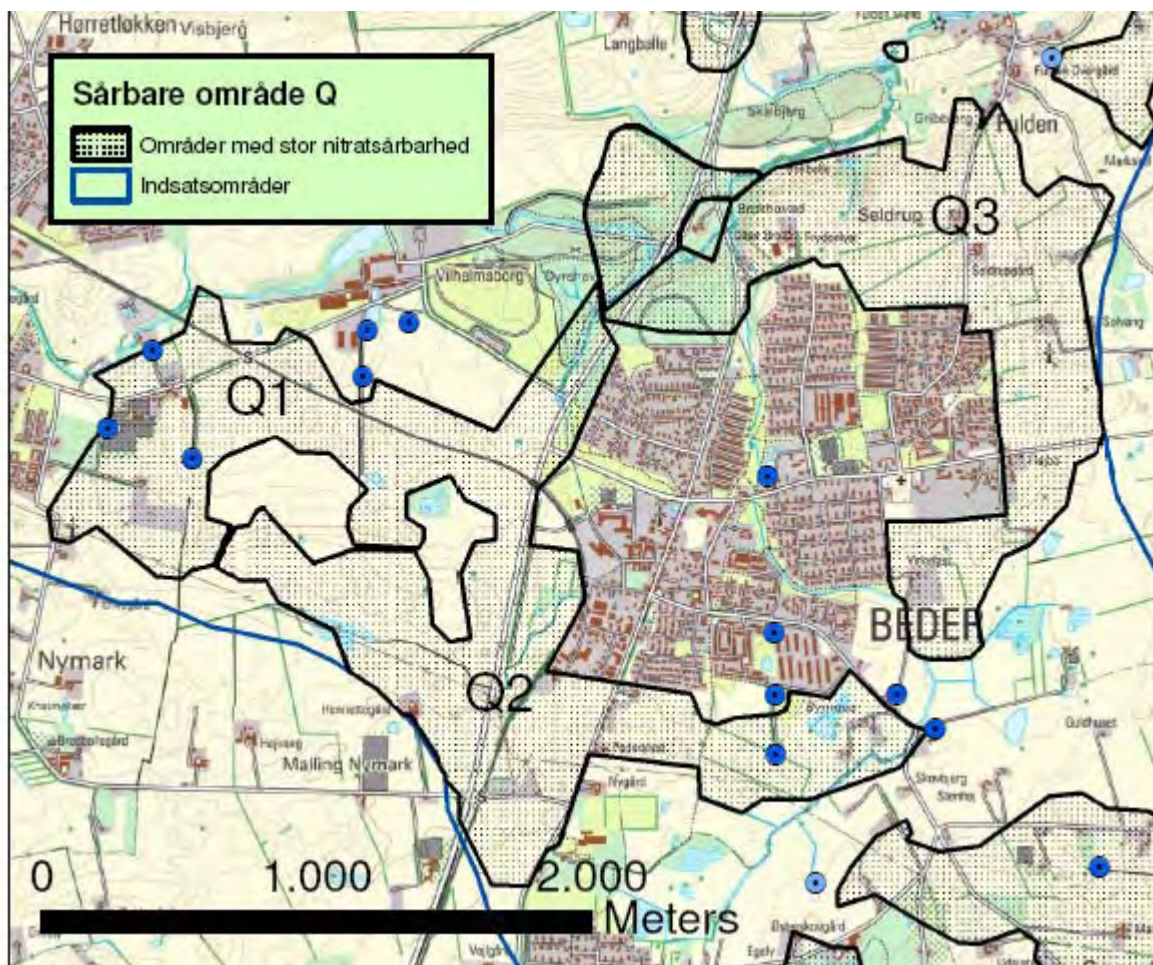
Der er ikke udpeget et grundvandsdannende opland til Fulden Vandværk.



Figur 10.1.7 Principskitse for område P med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Der er oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i enkelte boringer i området. Nitratfronten ligger ca. 0 - 15 m under terræn. De eneste vandkemiske målinger, der findes i område P, er fra Fulden Vandværk, hvor der indvindes nitratholdigt grundvand (ca. 5-20 mg/l).

Område Q er et stort nærmest ringformet område (se figur 10.1.8), som i vid udstrækning omkranser hele Beder by. Området er opdelt i Q1 (strækker sig mod vest til umiddelbart øst for Mårslet), Q2 (området syd for Beder og i sydvestlig retning til Malling Nymark) og Q3 (området nord og øst for Beder). Endelig er medtaget et lille område, som ligger mellem Fulden Mølle og Rokballe (Q4). Der er tale om et område, hvor arealanvendelsen samlet set er domineret af landbrug. Dog findes der skov i området nordvest for Beder. Området er kuperet. Det bakkede landskab er dannet under den sidste istid, hvor isen har skubbet og foldet underlaget foran sig, hvorved Jelshøjbuerne (Holme Bjerge, VØ-orientering) og Skåde Bakker (NS-orientering) længere mod nord blev dannet.

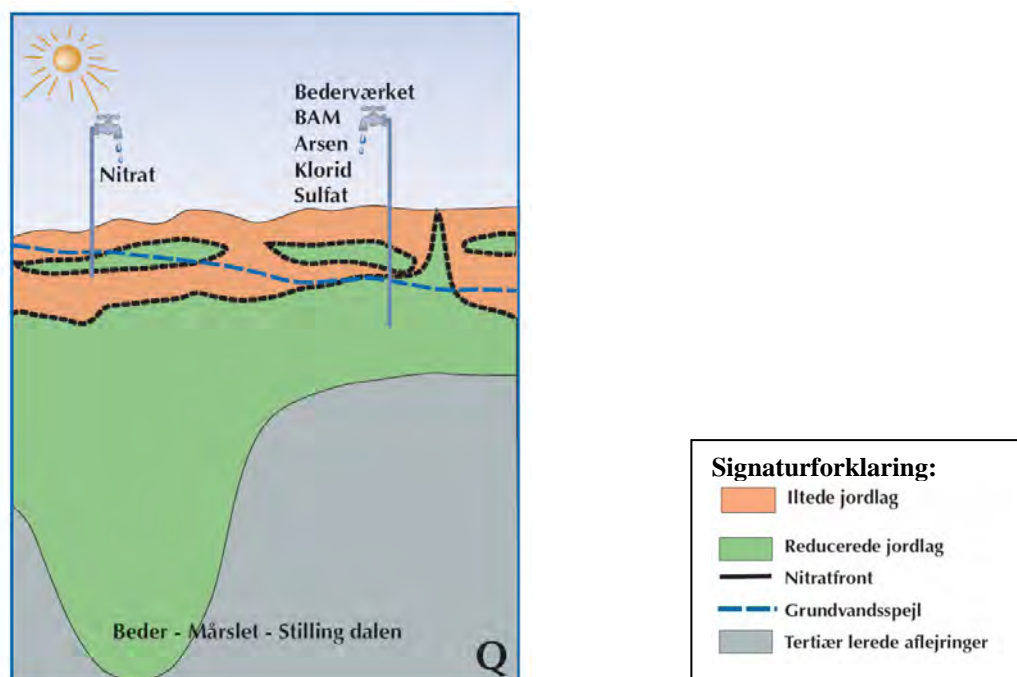


Figur 10.1.8 Kort som viser beliggenheden af område Q med stor nitratsårbarhed (området består af 3 delområder). De blå cirkler viser placeringen af Bederværkets indvindingsboringer (ÅKV). Den lyseblå cirkel henholdsvis længst mod nord og syd er Fulden Vandværk og Malling Vandværks boring.

Især område Q1 er beliggende hen over den dybe, begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.9). Område Q2 ligger over den sydlige flanke af dalen, mens Q3 tilsvarende primært ligger over den nordlige flanke af dalen. I den prækvartære dal findes meget tykke magasinbjergarter ned til 100-160 m under terræn.

Der er meget store vandindvindingsinteresser i området. Bederværket (ÅKV) har anlæg i Beder By (Skoleparken), umiddelbart syd for byen (Byagerparken, område Q2) og ved Vilhelmsborg (område Q1).

Område Q er helt eller delvist dækket af sandsynlighedsområder og kerneoplande til alle Bederværkets kildepladser og Malling Vandværk.



Figur 10.1.9 Principskitse for område Q med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

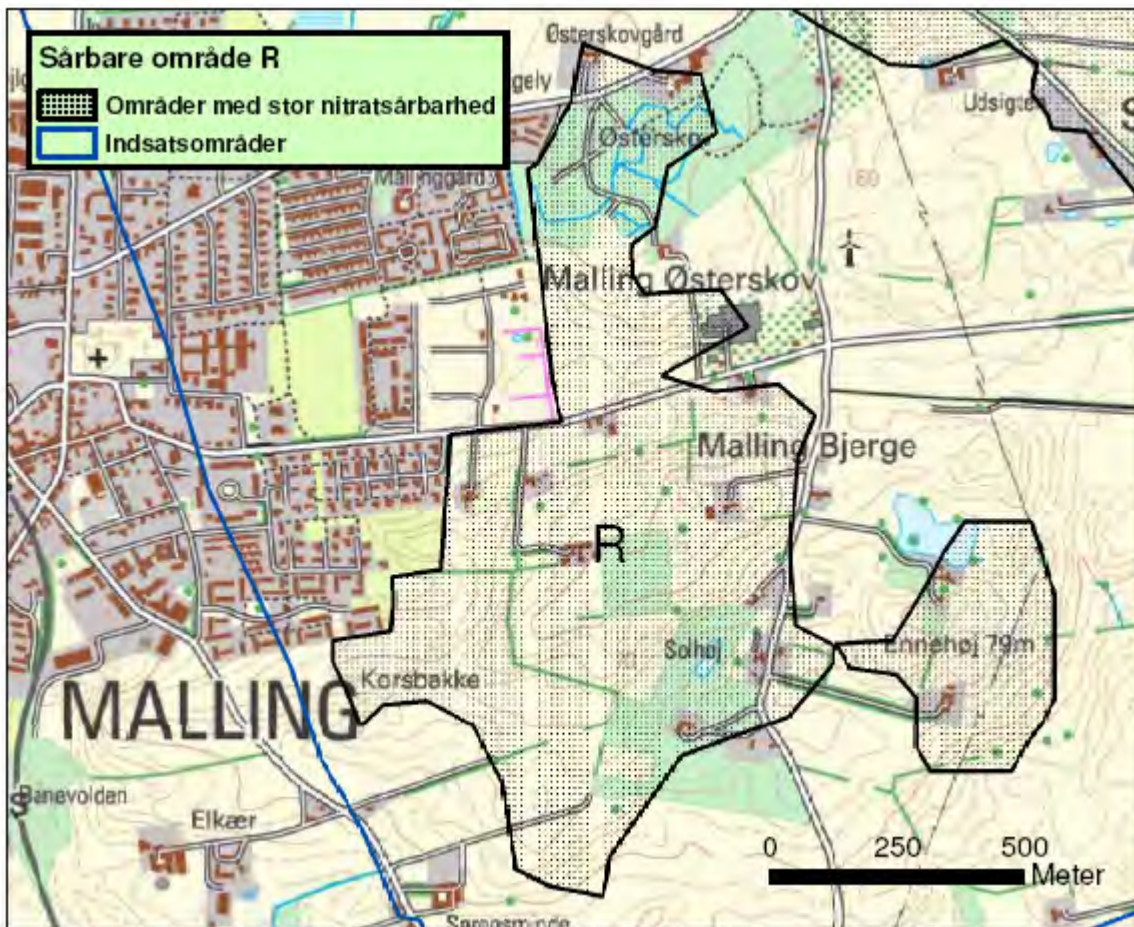
Der er forholdsvis mange oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område Q. Nitratfronten ligger ca. 0-30 m under terræn. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold helt til terræn, mens der andre steder sandsynligvis er nitratholdigt grundvand i det øvre grundvandsmagasin. Der er i en enkelt markvandingsboring i den vestlige del af delområde Q1 fundet nitratholdigt grundvand med en koncentration på 10 mg/l.

Sulfatindholdet i grundvandsmagasinet varierer meget (10-300 mg/l), og i flere af indvindingsboringerne er der både et højt og stigende sulfatindhold.

Der er fund af pesticidet BAM i 2 borerigerne i den vestlige del af område Q.

Desuden viser arsenanalyser, at indholdet i grundvandet (ca. 3-8 µg/l) er forhøjet, i forhold til grænseværdien på 5 µg/l, i flere af borerigerne i område Q. Der er også fundet et højt kloridindhold (op til 450 mg/l) i 2 boreriger i et mindre område mellem Beder og Malling.

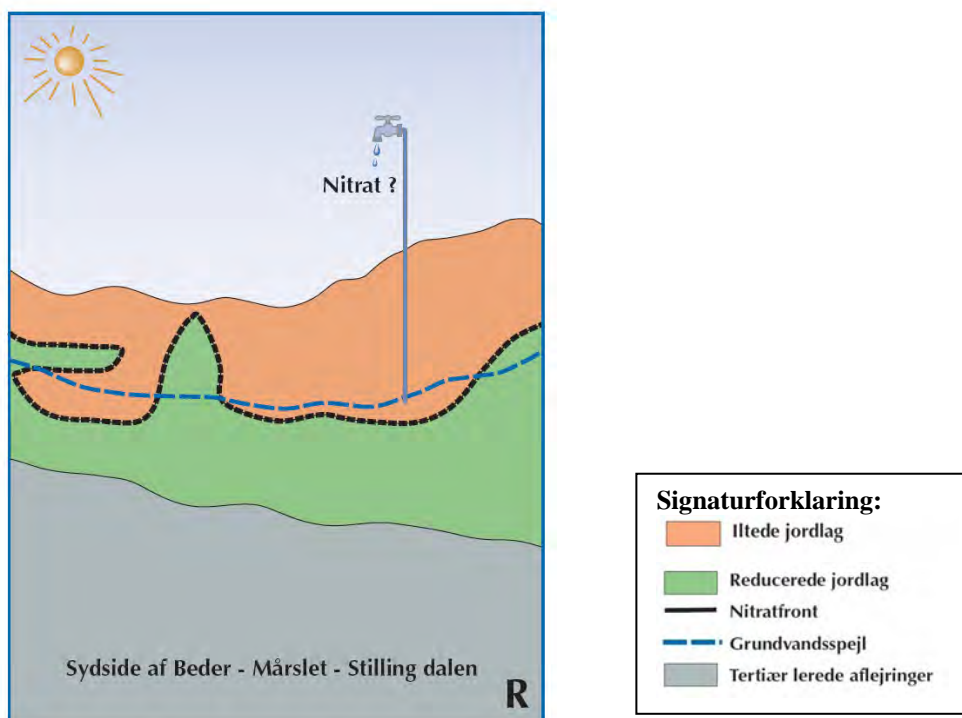
Område R er beliggende umiddelbart øst for Malling og dækker området mellem byen og Malling Bjerge og en enkelt "udposning" omkring "Ennehøj" samt nordpå til Østerskov. Området er kuperet, men terrænet er lavest længst mod nord og syd og højest i østlig retning. Arealanvendelsen er primært landbrug.



Figur 10.1.10 Kort, som viser beliggenheden af område R med stor nitratsårbarhed.

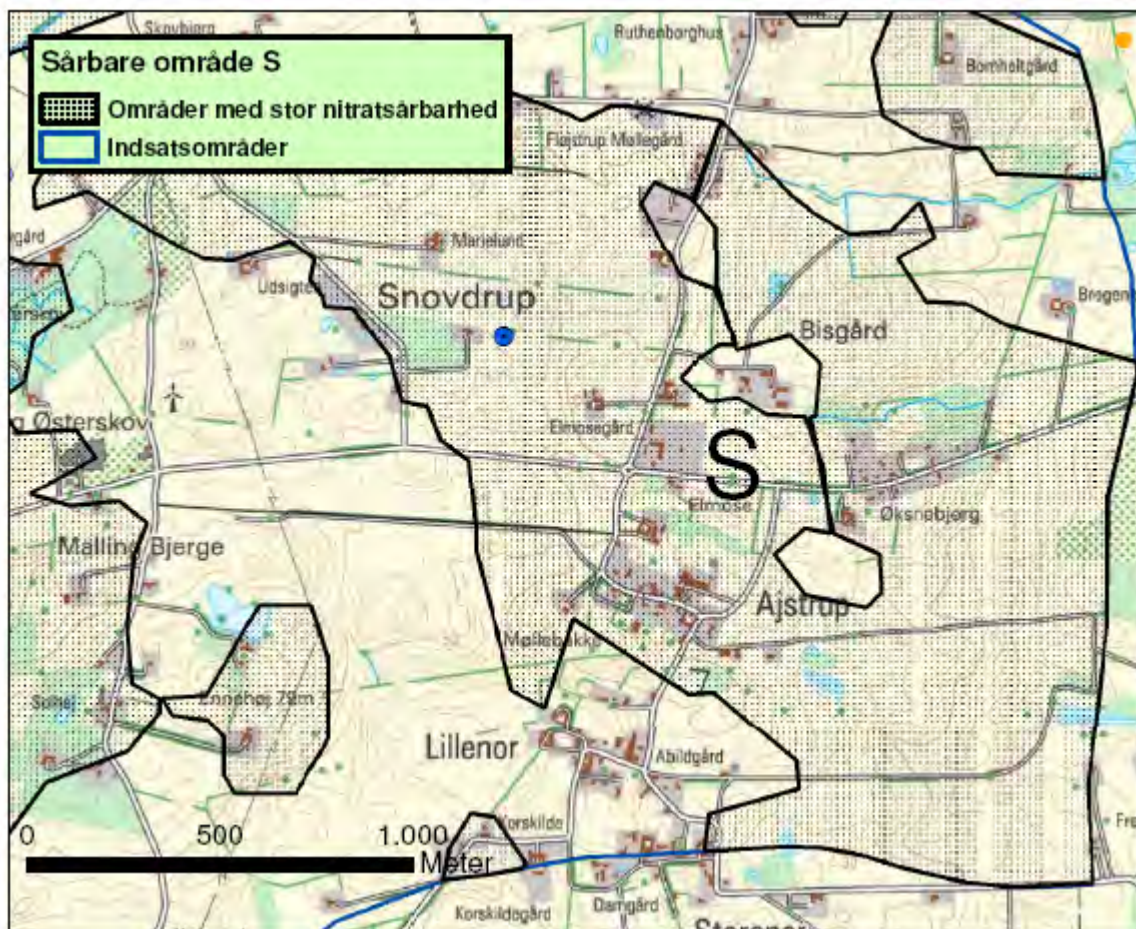
Området ligger på sydflanken af den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.11). Der ligger ingen almene indvindinger i område R. Der er dog alligevel store vandindvindingsinteresser inden for område R, idet der findes kerneoplande og sandsynlighedsområder for både Malling Vandværk og Ajstrup Kildeplads.

Der er sparsomt med oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område R. Nitratfronten formodes at ligge fra ca. 5-30 m under terræn. Der er ingen vandkemiske målinger og dermed ingen nitratmålinger af grundvandet i område R.



Figur 10.1.11 Principskitse for område R med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Område S består først og fremmest af et stort område, som strækker sig fra vest og nord for Snovdrup til Beder indsatsområdets østlige kant. Endvidere består området af et lille område SV for Lillenor, som ikke er særskilt omtalt på grund af sin ringe størrelse. Området er primært domineret af landbrug, hvor den midterste del dog udgøres af bymæssig bebyggelse. Der er tale om et kuperet morænelandskab med et generelt faldende terrænniveau fra vest mod øst. Landskabet ligger højest i den sydlige del af området (Møllebakke).



Figur 10.1.12 Kort, som viser beliggenheden af område S med stor nitratsårbarhed. De blå cirkler i området er indvindingsboringer tilhørende Århus Kommunale Værkers anlæg ved Ajstrup (underanlæg til Bederværket).

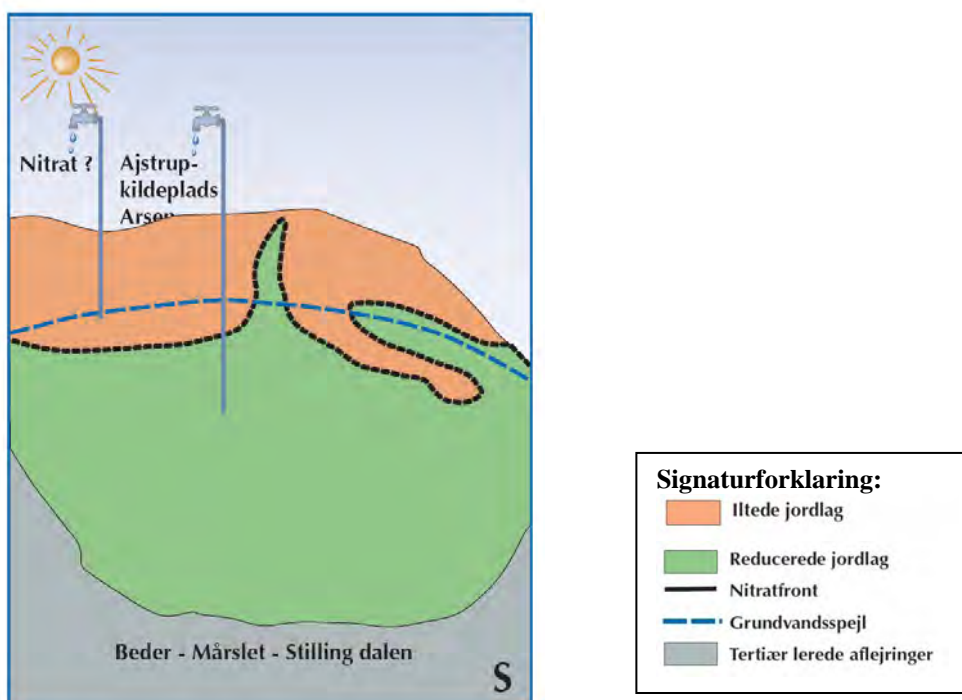
Område S dækker stort set hele den østligste del af den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.13). Området dækker ligeledes begge flanker af dalen.

Indvindingsboringerne til Ajstrup Kildeplads ligger inden for område S. Indvindingsboringen til Malling Vandværk ligger lige vest for området.

Inden for den vestlige del af område S findes der kerneoplade og sandsynlighedsområder for Ajstrup Kildeplads, Byagerparken Kildeplads og Malling Vandværk.

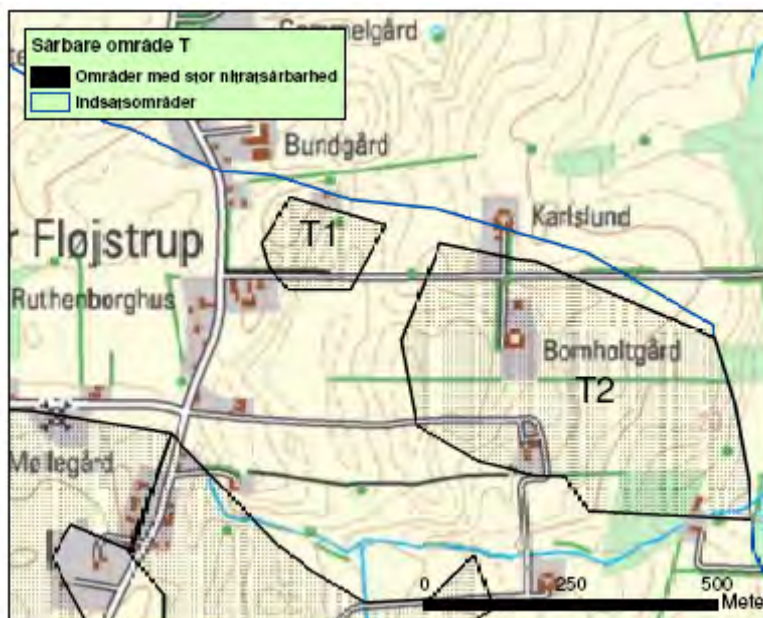
Der er oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i flere boringer i området. Nitratfronten ligger ca. 2-40 m under terræn.

Vandanalyser fra område S viser, at arsenindholdet i grundvandet i flere boringer er forhøjet (ca. 4-12 µg/l) i forhold til grænseværdien på 5 µg/l.



Figur 10.1.13 Principskitse for område S med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

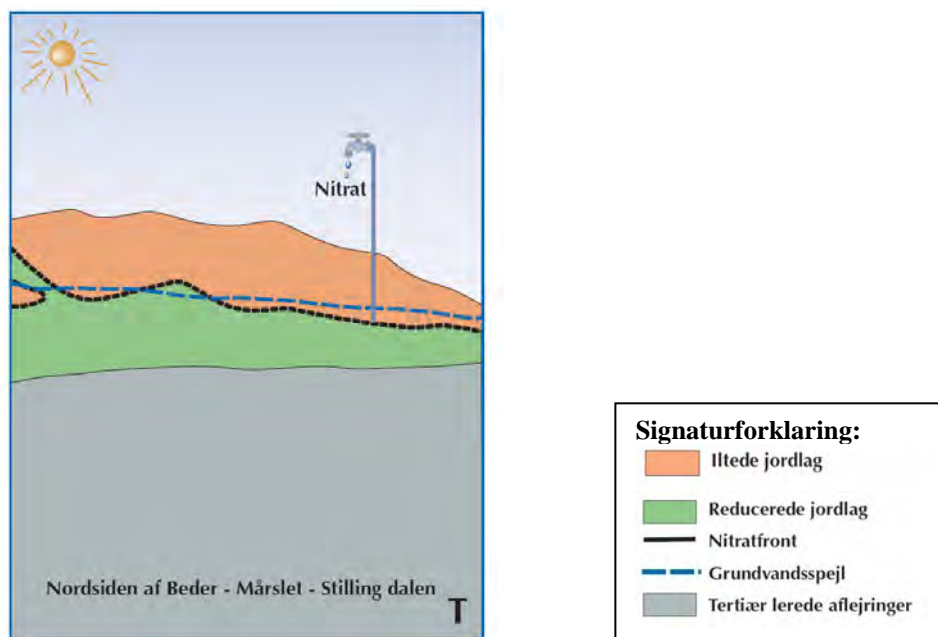
Område T er et lille 2-delt område (T1 og T2) beliggende mellem Neder Fløjstrup og kysten. Der er tale om et kuperet terræn med en bakkeorientering, som primært er rettet nord-syd. Terrænet er højest mod vest og falder mod øst/sydøst ned mod Vadbros Bæk. Der er lidt skov i den sydøstlige del omkring bækken (T2), mens arealanvendelsen i den øvrige del af området er præget af landbrug.



Figur 10.1.14 Kort, som viser beliggenheden af område T med stor nitratsårbarhed (2 delområder).

Område T er beliggende i et område, hvor den prækvartære undergrund ligger relativt højt. Området ligger på den nordøstlige flanke af den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (se figur 10.1.15).

Sandsynlighedsområdet for Ajstrup Kildeplads dækker hele T1 og den vestlige del af T2.



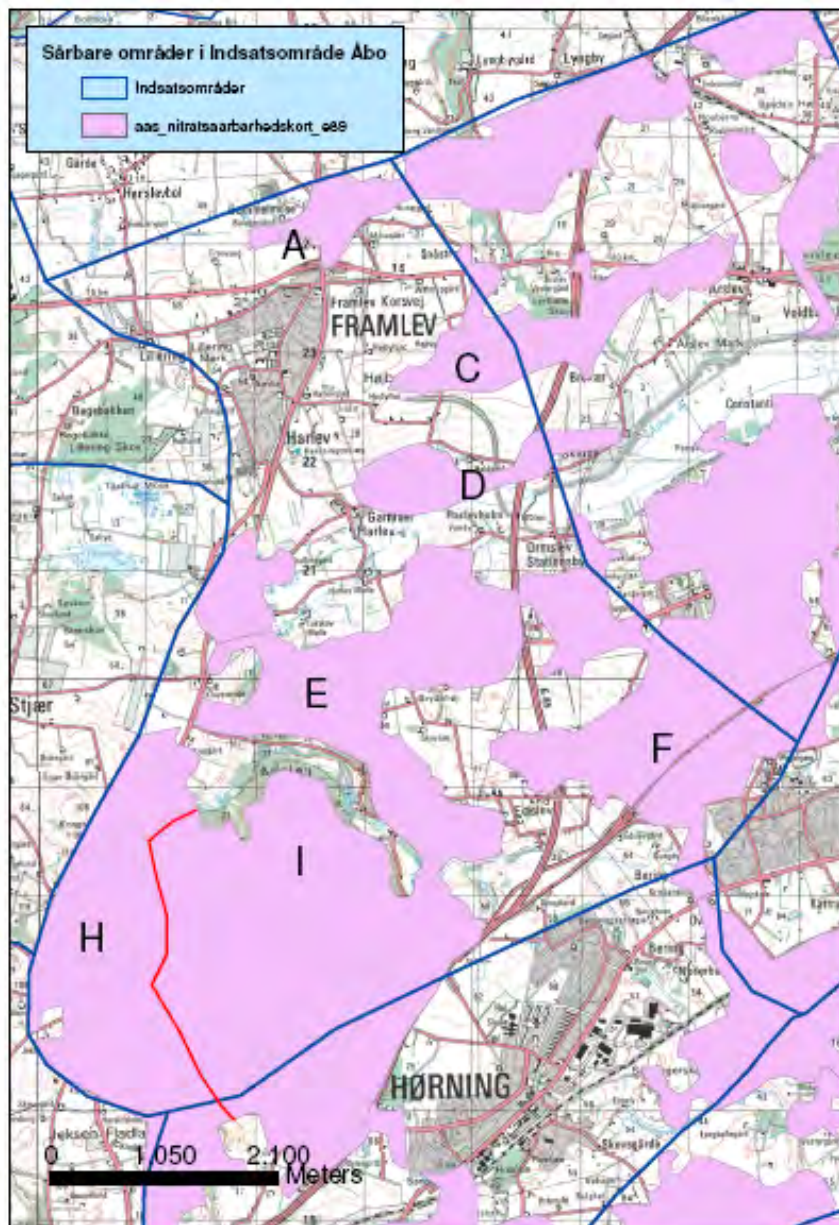
Figur 10.1.15 Principskitse for område T med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder.

Der er oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i 2 boringer i området fra det nu nedlagte Mariendal Havbakkers Vandværk.

Nitratfronten ligger ca. 10-25 m under terræn. Der er målt et nitratindhold på 7-10 mg/l i grundvandet i Mariendal Havbakkers Vandværks boringer.

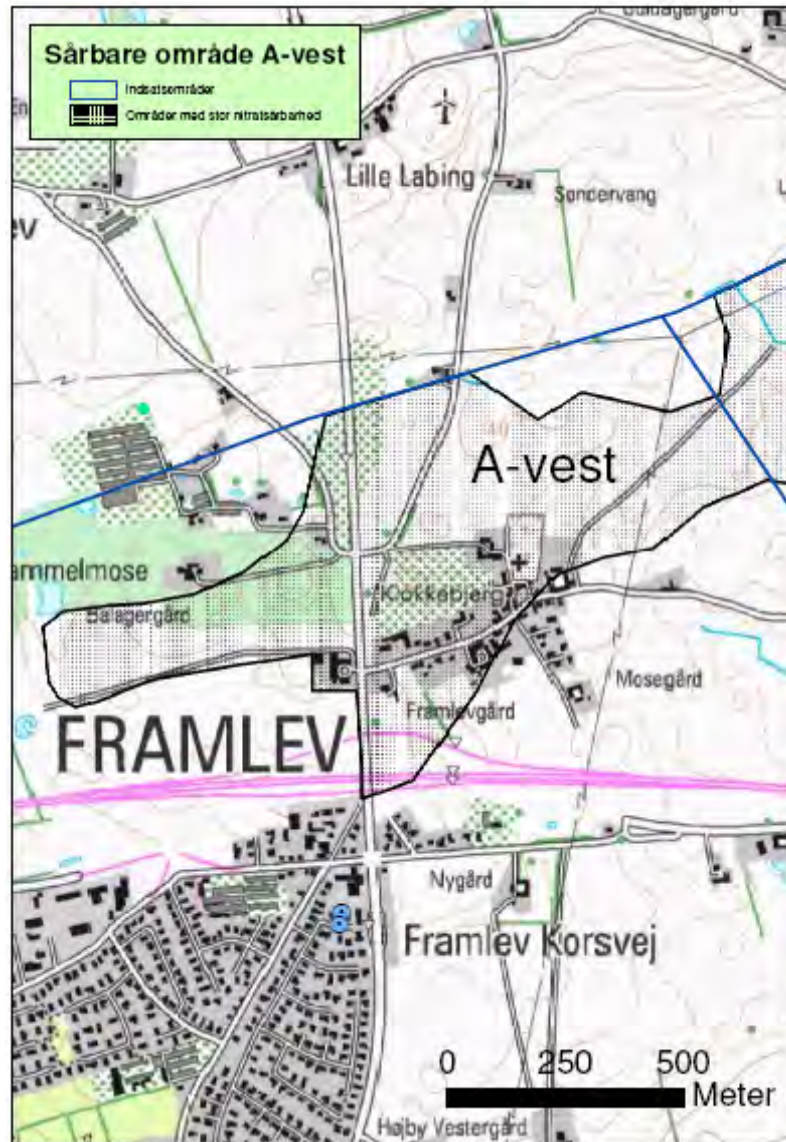
10.2 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Åbo

I Indsatsområde Åbo finder man områder eller dele heraf med stor nitratsårbarhed med følgende betegnelser A (vestlige del), C (vestlige del), D, E, F (sydlige del), H og I, hvilket fremgår af figur 10.2.1.



Figur 10.2.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i indsatsområde Åbo. Den røde linie angiver afgrænsningen mellem område H og I.

Område A-vest er beliggende i Framlev-området nord for Harlev og udgør samtidigt den nordøstligste del af Indsatsområde Åbo (se figur 10.2.1). Området er domineret af landbrug. I den centrale del af området er der byvækst (Framlev by), mens Låsby-motorvejen går gennem den sydlige del af området. Område A's vestgrænse ligger tæt op af Den Østjydske Israndslinie, hvilket har givet sig udslag i et små-kuperet morænelandskab med mange små fordybninger (dødishuller).

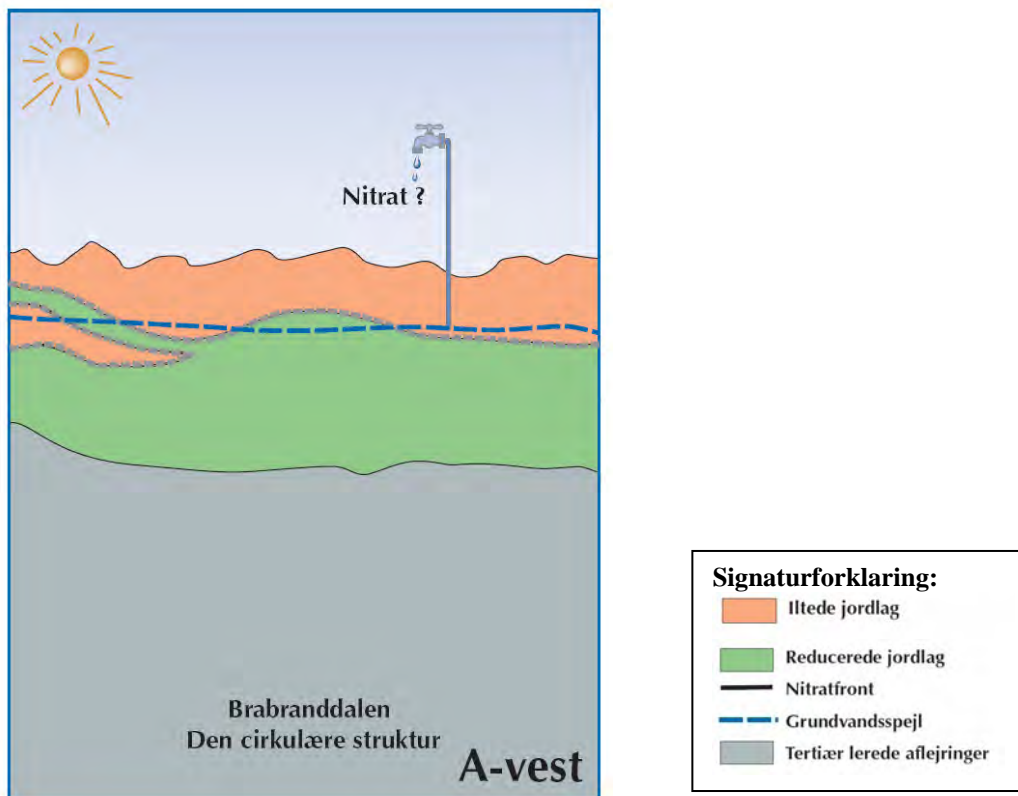


Figur 10.2.2 Kort, som viser beliggenheden af område A's vestlige del (A-vest) med stor nitratsårbarhed.

Område A-vest ligger centralt inden for en begravet dal i undergrunden - Brabranddalen, men samtidig i et område hvor danienkalken ligger højt.

Der ligger ingen vandværker inden for område A-vest.

Størstedelen af den vestlige del af område A er dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.1).



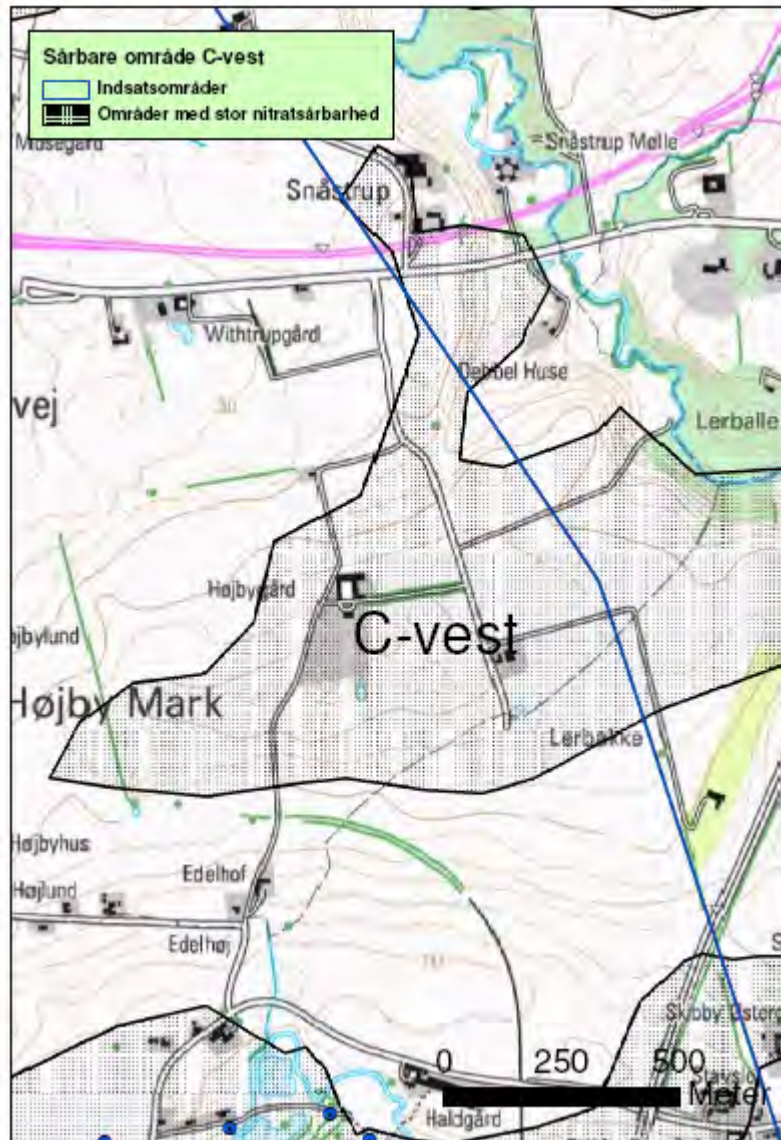
Figur 10.2.3 Principskitse for område A-vest med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo.

Der er ingen oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område A-vest. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område A-vest på grund af de tynde lerdæklag og risikoen for geologiske vinduer.

Område C-vest ligger øst for Harlev ved Højby Mark og området øst herfor, og ligger således i den nordøstlige del af Indsatsområde Åbo (se figur 10.2.1 og 10.2.4). Området er domineret af landbrug. Låsby-motorvejen og den Jyske motorvej (E-45) har et forløb henholdsvis umiddelbart nord og øst for området. Området kan opfattes som et storbakket morænelandskab. En "arm" går i nordlig retning væk fra området og indbefatter en del af den vestlige flanke af Lyngbygaards Ådalen.

Område C-vest ligger centralt inden for Brabranddalen, som i Harlev-området er meget bred, hvilket sandsynligvis skyldes at danienkalken ligger højt.

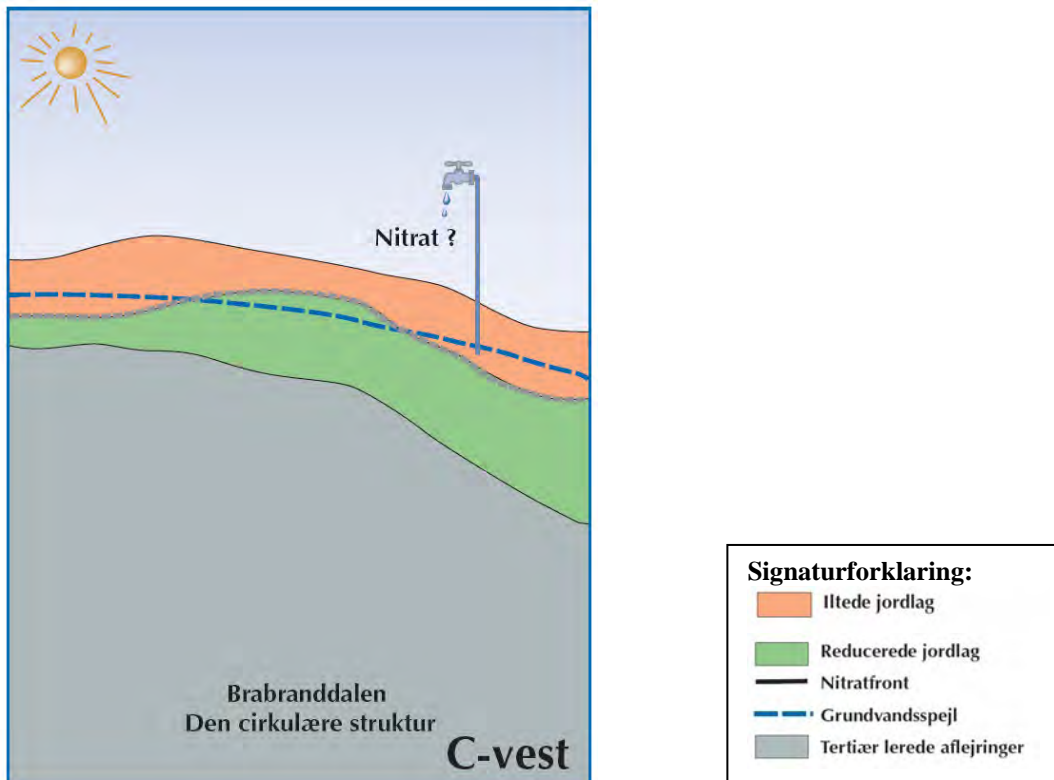
Der ligger ingen vandværker inden for området.



Figur 10.2.4 Kort, som viser beliggenheden af område C's vestlige del med stor nitratsårbarhed.

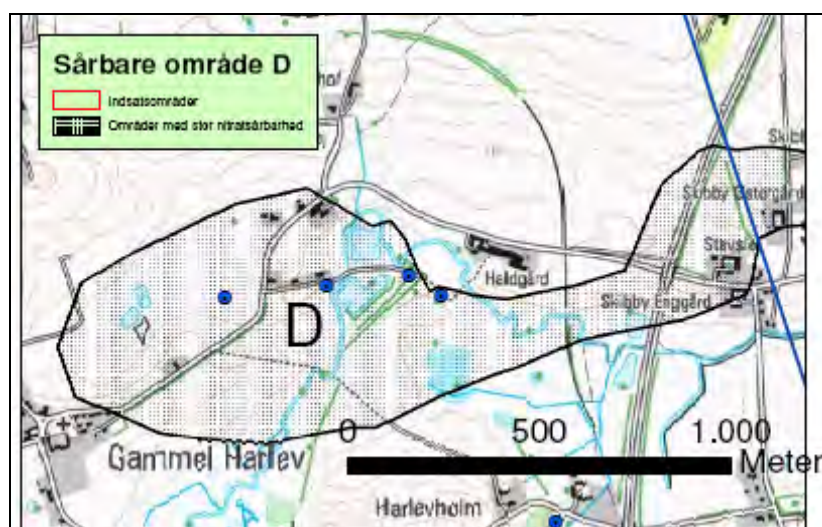
Den vestlige del af område C er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.1).

Der er ingen oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område C-vest. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område A-vest på grund af de tynde lerdæklag.



Figur 10.2.5 Principskitse for område C-vest med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo.

Område D er et langstrakt område beliggende sydøst for Harlev, hvor den østligste del af området ligger i Indsatsområde Storskoven. Området ligger for en stor dels vedkommende i Århus Ådalen (se figur 10.2.6). På grund af dens slyngende forløb skærer Århus Å sig ind i området flere gange. Desuden er der i den sydlige del af området et moseområde, som drænes af en lille bæk med forbindelse til åen. Vandspejlskoten for Århus Å er i området på ca. 4 m. Den østlige del af området er mere præget af landbrug kun afbrudt af Den Jydske Motorvej og øvrige vejanlæg. Terrænkoten ligger i den vestlige del på ca. 10 m og stiger jævnt i den østlige del til kote ca. 15 m (ved Skibby). Den østligste del af området (Indsatsområde Storskoven) ligger i kote 15-20 m.

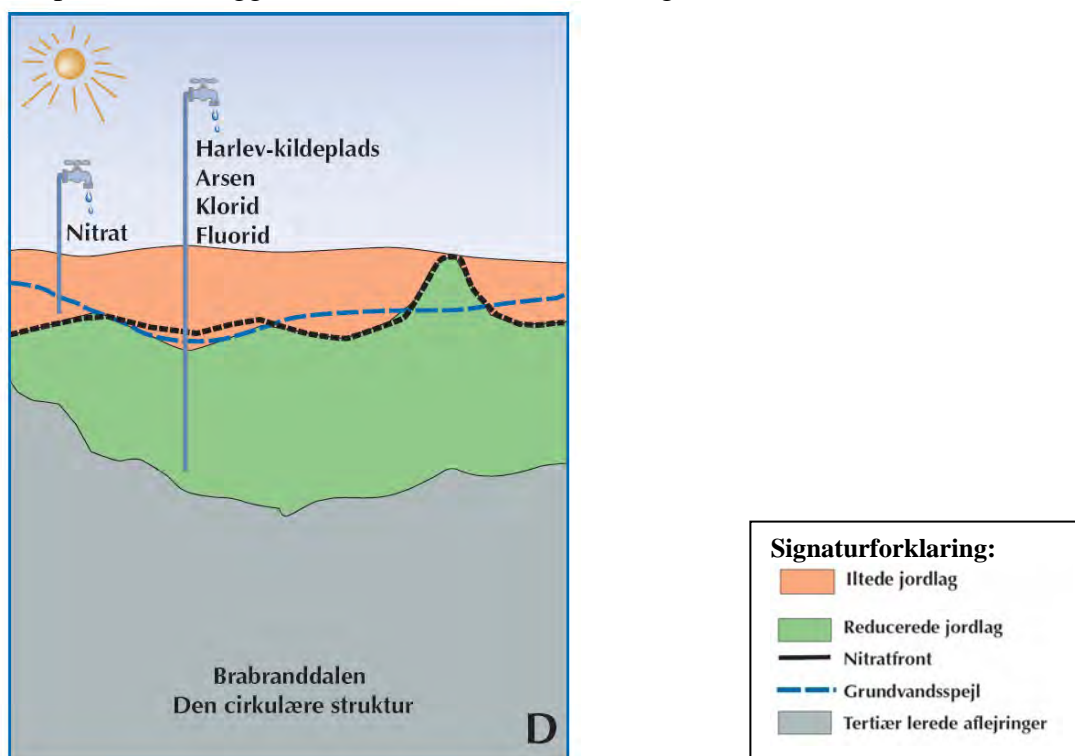


Figur 10.2.6 Kort, som viser beliggenheden af område D med stor nitratsårbarhed. De lille cirkler i område D viser ÅKV's indvindingsboringer ved Harlev Kildeplads (Åboværket).

Område D ligger centralt inden for en dyb begravet dalstruktur - Brabranddalen (se figur 10.2.7). Dalstrukturen er meget bred i området, hvilket sandsynligvis skyldes højtliggende danienkalk.

Der er store vandindvindingsinteresser i området, idet 3 af Harlev Kildeplads' (Åboværket, ÅKV) indvindingsboringer ligger i område D (se figur 10.2.6).

Området er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.1).



Figur 10.2.7 Principskitse for område D med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo.

Der er forholdsvis mange oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område D på grund af indvindingsboringerne i området.

Nitratfronten ligger ca. 2-15 m under terræn, hvilket betyder, at der nogle steder er reducerede forhold næsten helt til terræn, mens der andre steder er nitratholdigt grundvand i det øvre grundvandsmagasin. Der er desuden i flere af de aktive indvindingsboringer ved Harlev Kildeplads fundet et højt og stigende sulfatindhold (op til 110 mg sulfat pr. l). Dette indikerer, at indvindingen forcerer omsætningen af pyrit i indvindingsboringerens nærhed.

Der er i en indvindingsboring ved det nedlagte (1986) Gl. Harlev Vandværk, i den vestlige del af område D, fundet nitratholdigt grundvand med koncentrationer på 10-70 mg/l.

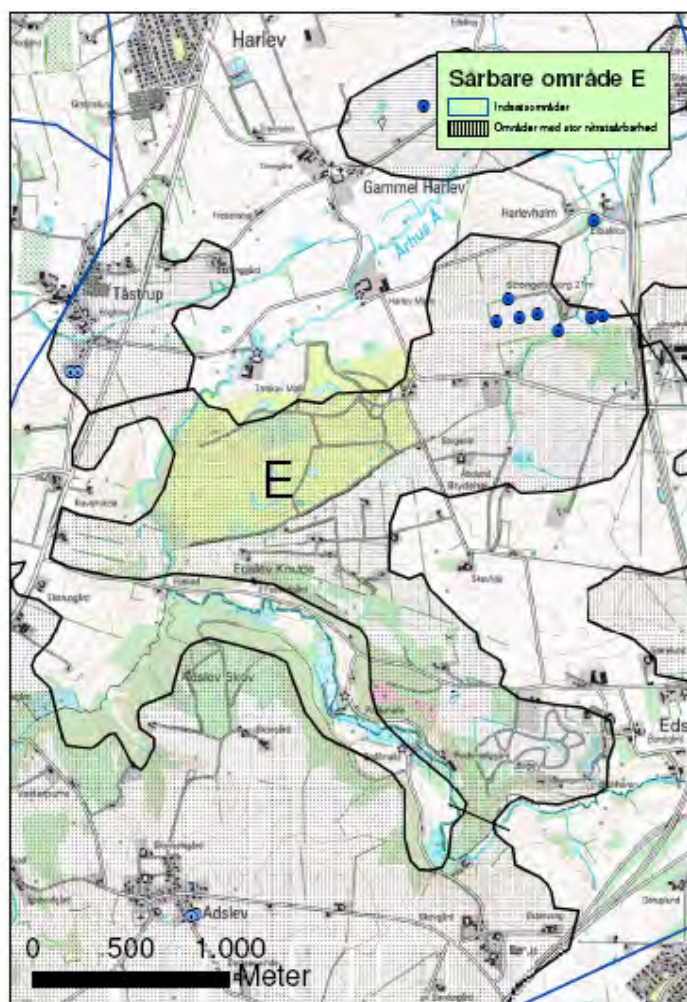
De fleste af boringerne i område D er filtersat i den reducerede og nitratfrie del af grundvandsmagasinet. Der er ingen fund af pesticider.

Desuden viser arsenanalyser, at indholdet i grundvandet er forhøjet (ca. 30-62 µg/l) i flere af boringerne ved Harlev Kildeplads i forhold til grænseværdien på 5 µg/l. Der er også fundet et højt

kloridindhold (op til 130 mg/l) i borerer ved Harlev Kildeplads. Der er ligeledes fundet et højt fluoridindhold (op til 1,4 mg/l) i den vestlige del af område D.

Område E er et stort og vidt forgrenet område, som er beliggende syd for Harlev mellem Hadsten-Stilling vejen mod vest og Den Jyske Motorvej mod øst (figur 10.2.8). Området mellem Tarskov Mølle og Edslev Knude udgør kernen af området med 2 små udløbere mod vest, hvor den nordlige indbefatter Tåstrup-området samt en stor nordøstlig udløber, som afsluttes ved Harlevholm og en sydøstlig udløber, som ender vest for Edslev. Den sydlige afgrænsning af området er nordflanken af Århus Ådalen. Området udgøres hovedsageligt af et meget kuperet morænelandskab, som er gennemskåret af Århus Å, og erosionskløfter ned mod ådalen. De højeste koter på 50-60 m findes på plateauerne, mens de laveste koter findes ved Århus Å's forløb gennem området (ca. 10-30 m).

En stor del af arealanvendelsen er landbrug – især i den nordøstlige del. Den centrale del er domineret af en stor golfbane og i den sydøstlige udløber findes flere lossepladser bl.a. Edslev Losseplads.



Figur 10.2.8 Kort, som viser beliggenheden af område E med stor nitratsårbarhed. De blå cirkler i den nordøstlige del af området er ÅKV's indvindingsboringer ved Åbo Kildeplads (Åboværket). Gruppen af borerer (samme farve) i område D er ÅKV's borerer ved Harlev Kildeplads (Åboværket). De lyseblå cirkler i den vestlige del af område E er Tåstrup Vandværks 2 indvindingsboringer.

Område E ligger ved den sydlige flanke af en dyb begravet dalstruktur - Brabrand-dalen (se figur 10.2.9). Dalstrukturen er meget bred i området, hvilket sandsynligvis skyldes højtliggende kalk.

Der er store vandindvindingsinteresser inden for område E på grund af tilstedeværelsen af Åbo Kildeplads (Åboværket, ÅKV). Desuden ligger Tåstrup Vandværks borer inden for den nordvestligste del af område E.

Den største del af område E er dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.1).

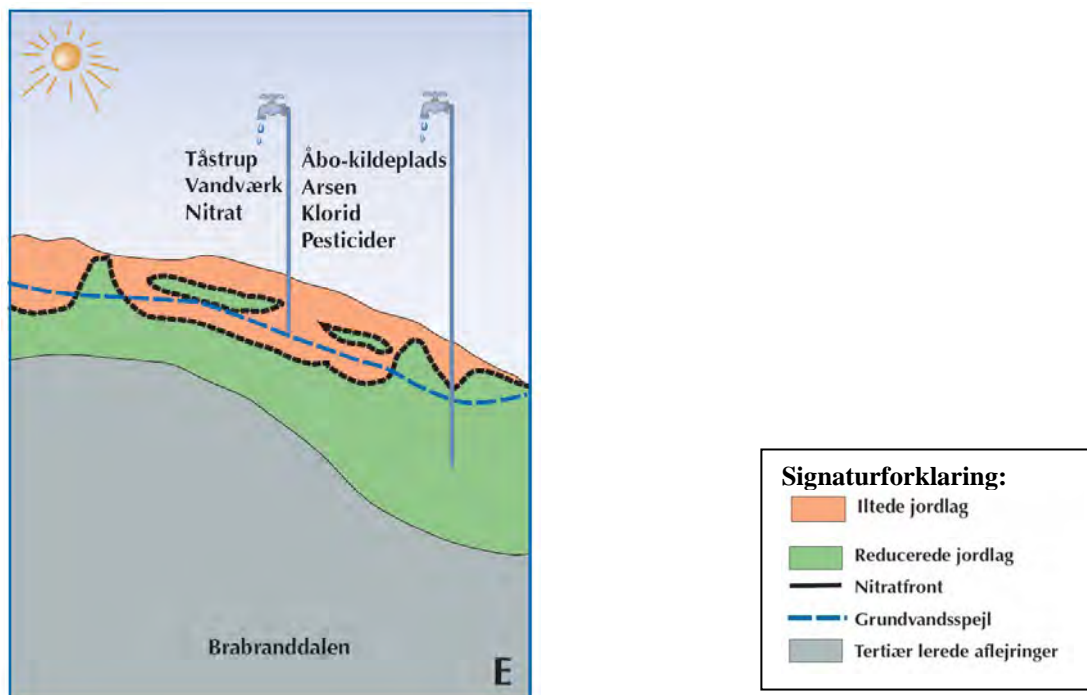
Der er forholdsvis mange oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område E især på grund af de mange indvindingsboringer i området.

Nitratfronten ligger ca. 0-30 m under terræn. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold helt til terræn, mens der andre steder er nitratholdigt grundvand i det øvre grundvandsmagasin. Der er desuden i flere af de aktive indvindingsboringer ved Åbo Kildeplads fundet et højt og stigende sulfatindhold (op til 160 mg sulfat pr. l). Dette indikerer, at indvindingen forcerer omsætningen af pyrit i indvindingsboringerens nærhed.

Der er i den vestlige del af område E målt et nitratindhold på 20-45 mg/l i iltet/anoxisk grundvand ved en markvandingsboring (DGU nr. 88.879) og ved en af de to indvindingsboringer ved Tåstrup Vandværk. I begge borer er der desuden fundet BAM.

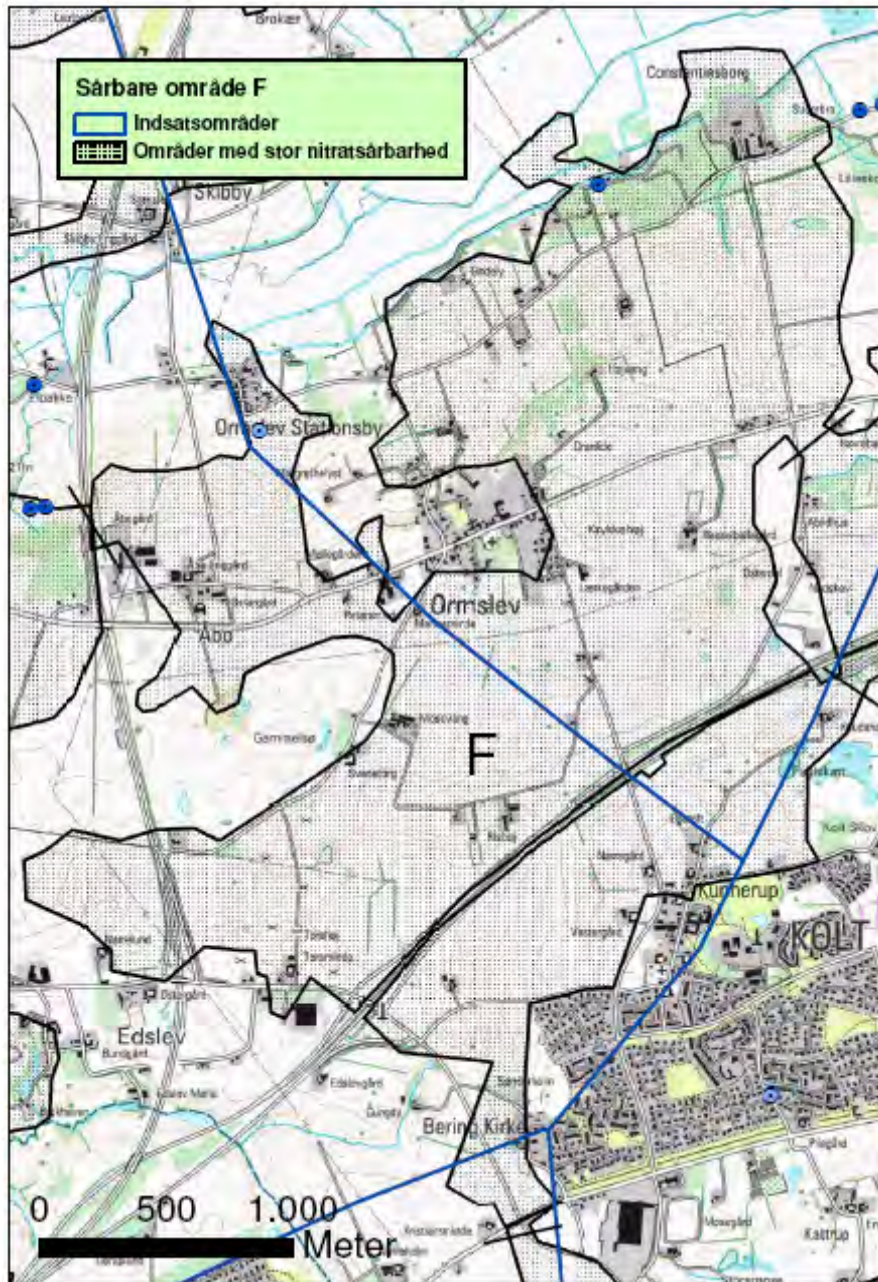
Boringerne ved Åbo Kildeplads er alle filtersat i den reducerede og nitratfrie del af grundvandsmagasinet. I 6 af de 7 aktive indvindingsboringer ved Åbo Kildeplads er der fund af ét eller flere af pesticiderne BAM, dichlorprop, mechlorprop og 4-CPP. Specielt er indholdet af 4-CPP over grænseværdien i 4 af borerne ved den seneste indberettede analyse fra 2004.

Desuden viser arsenanalyser, at indholdet i grundvandet er forhøjet (op til ca. 13 µg/l), i forhold til grænseværdien på 5 µg/l, i flere af borerne ved Åbo Kildeplads. Derudover er kloridindholdet relativt højt i den vestlige del af område E (op til 110 mg/l).



Figur 10.2.9 Principskitse for område E med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo

Område F er et meget irregulært område mellem Åbo/Ormslev i nord, motorvej E45 nord for Edslev i vest og nordvest for Kolt i syd og øst. Det er kun den sydlige del af område F, som ligger i Indsatsområde Åbo (se figur 10.2.10). Området er præget af landbrug. Området gennemskæres af flere motorvejsstrækninger. Terrænet ligger højest længst mod sydøst (ca. kote 80 ved Hørning) og falder ret jævnt mod vest til ca. 50 m. Mod nordvest falder terrænet ret brat ned mod Århus Ådalen (ca. 25 m).

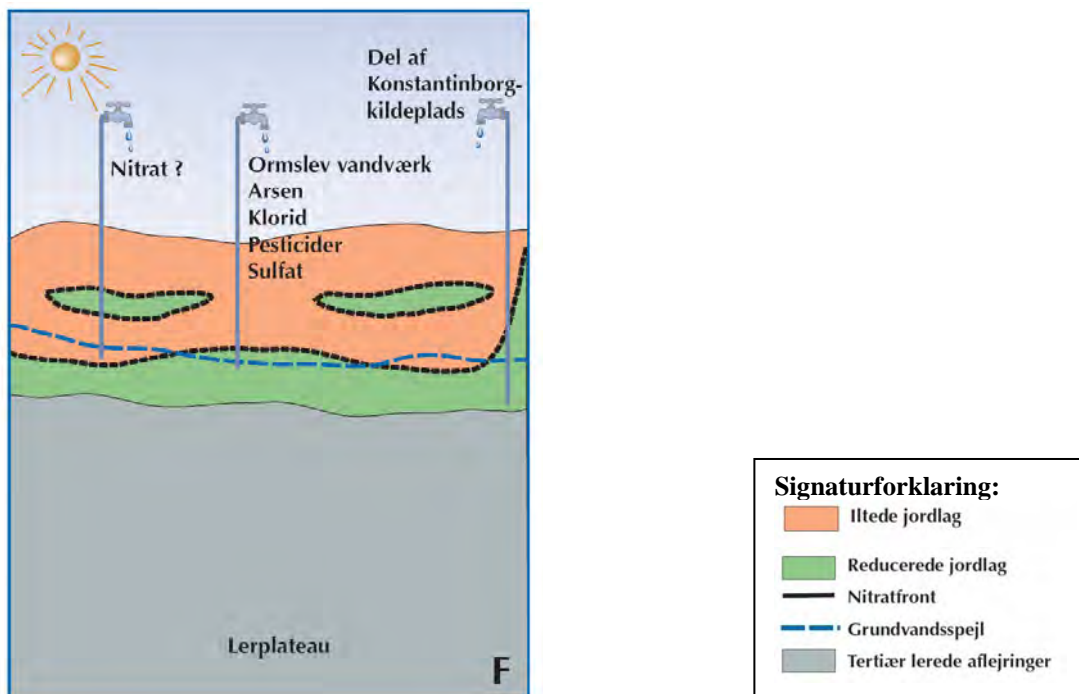


Figur 10.2.10 Kort, som viser beliggenheden af område F med stor nitratsårbarhed. De lyseblå cirkler henholdsvis nordvest for Ormslev og i Kolt er borer tilhørende Ormslev Vandværk og Hasselager-Kolt Vandværk. I det nordøstlige hjørne ligger 3 indvindingsboringer til Constantinsborg Kildeplads (Stautrupværket) og længst mod vest ses 3 af Åboværkets borer (begge ÅKV).

I området ligger den tertiære leroverflade i undergrunden generelt højt (se figur 10.2.11). Der er tale om et jævnt lerplateau. Den eneste fordybning i lerplateauet findes længst mod øst, hvor en sidedal til Stautrup-Hasselagerdalen er beliggende.

I den del af område F, som findes inden for Indsatsområde Åbo, findes der ingen aktive vandværker eller indvindingsboringer. Ormslev Vandværk ligger i det nordvestlige hjørne af område F og Constantinsborg Kildepladsens vestligste boring (Stautrupværket) nordligst i området - begge inden for Indsatsområde Storskoven.

Område F er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.2). En væsentlig del af den sydlige del af område F er endvidere dækket af sandsynlighedsområdet til Hasselager Kolt Vandværk (Pilegårdsvej Kildeplads).



Figur 10.2.11 Principskitse for område F med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo.

Der er forholdsvis få oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område F i forhold til områdets udstrækning.

Nitratfronten ligger ca. 0-40 m under terræn, hvilket betyder, at der nogle steder er reducerede forhold forholdsvis tæt på terræn, mens nitratholdigt grundvand andre steder er trængt ned i grundvandsmagasinet.

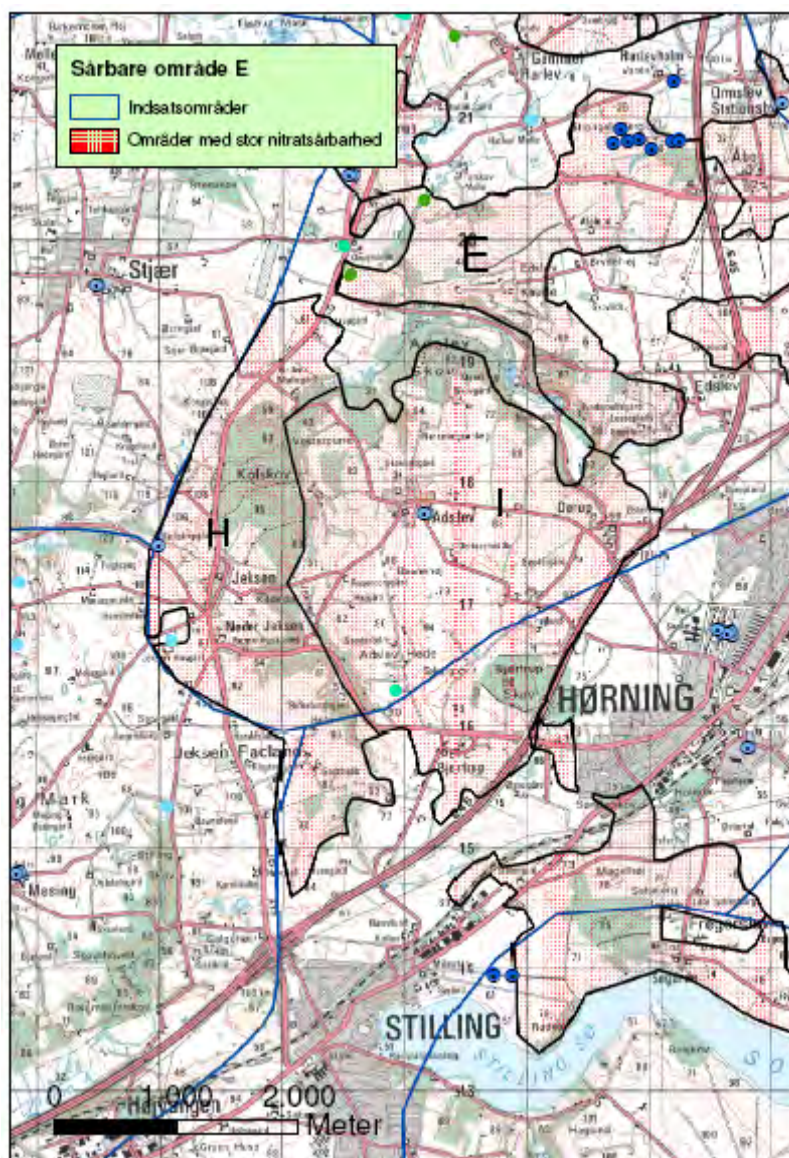
Der er ingen målinger af nitratindeholdet i iltet eller anoxisk grundvand inden for område F, da alle borerne er filtersat i den reducerede og nitrutfrie del af grundvandsmagasinet. Dog er der fundet pesticiderne BAM, atrazin og desethyatratin i en sløjfet indvindingsboring (DGU nr. 88.1085) ved Ormslev Vandværk. Tillige er der i en af de aktive indvindingsboringer (DGU nr. 88.543), ved Constantinborg Kildeplads, fundet BAM.

Arsenanalyser viser, at indholdet i grundvandet er højt (ca. 10-20 µg/l) i flere af borerne i område F. Der er også fundet et højt kloridindhold (op til 165 mg/l) i en af de sløjfede borer ved Constantinborg Kildeplads.

Område H og I

Syd for Århus Ådalen ligger på strækningen mellem Fusvad og Pinds Mølle et stort sårbart område, som både består af de sårbare områder **H** og **I**. Området strækker sig til nord for motorvej E45

mellem Stilling og Hørning. Område H og I er adskilt af Jeksendalen (se figur 10.2.12). Områderne er beskrevet hver for sig.



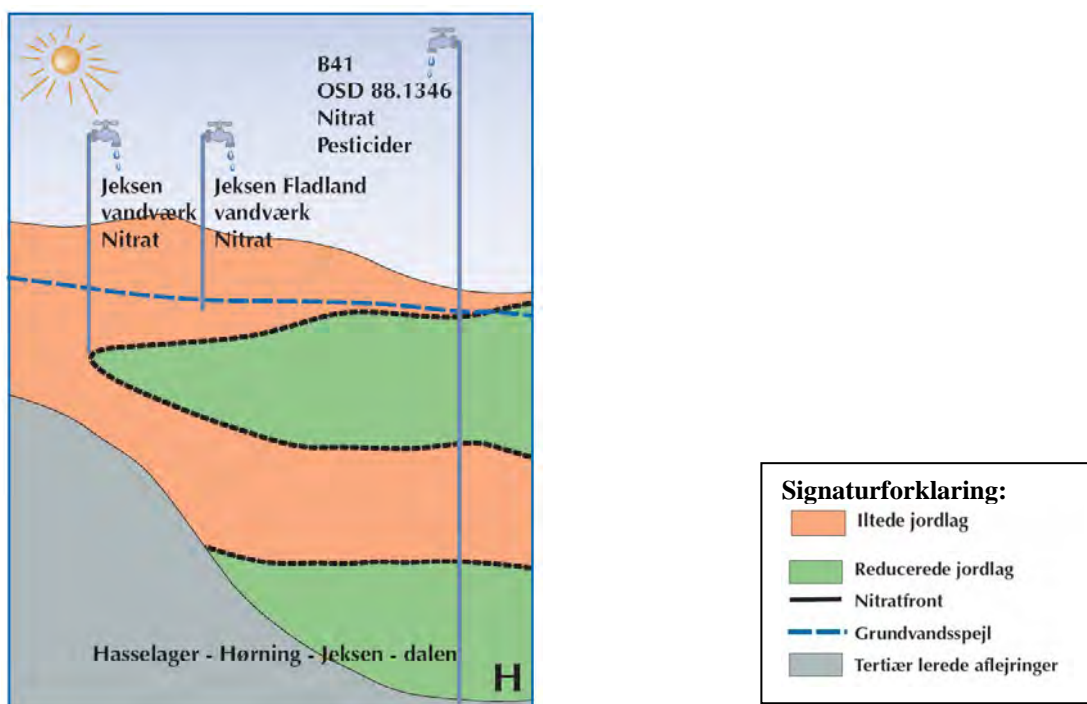
Figur 10.2.12 Kort, som viser beliggenheden af områderne H og I med stor nitratsårbarhed. De lyseblå cirkler i området er borer tilhørende Jeksen Vandværk (Område H) og Adslev Vandværk (område I). Syd for område I ligger område K med 2 borer tilhørende Stillingværket (Skanderborg Kommunale Vandforsyning). Område H og I er adskilt af Jeksendalen.

Område H er et langstrakt område, hvor den vestlige del er domineret af landbrug, mens den østlige del – den vestlige flanke af Jeksendalen er domineret af skov (Kolskov). Område H ligger 3,5-4 km øst for den Østjyske Israndlinie og er derfor et højtliggende og meget kuperet istidslandskab. Der er talrige små lavninger i landskabet også kaldet dødishuller. Der findes desuden mange erosionskløfter på den vestlige flanke af Jeksendalen.

Området gennemskæres i undergrunden af den vestlige del af den begravede Hasselager-Hørning-Jeksendal, som både er dyb og smal (se figur 10.2.13). Dalfyldet i den begravede dal er domineret af sandede aflejringer. Den begravede dal kan ikke erkendes i terrænet.

Der er ikke de helt store vandindvindingsinteresser i området. Kun Jeksen Vandværk og det ikke-almene vandværk, Jeksen Fladland Vandværk, ligger inden for området. De 2 vandværker indvinder fra øvre grundvandsmagasiner (se figur 10.2.13).

Inden for området findes kun mindre dele af sandsynlighedsområderne til Jeksen Vandværk og Adslev Vandværk samt en mindre del af det samlede potentielle grundvanddannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien (se figur 9.2.1).



Figur 10.2.13 Principskitse for område H med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo.

Der er forholdsvis få oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område H i forhold til områdets udstrækning. Resultaterne fra den dybe undersøgelsesboring (DGU nr. 88.1346, OSD13-B41) har derfor stor betydning for tolkningen af nitratsårbarheden i området.

Nitratfronten ligger ca. 10-90 m under terrænet. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold forholdsvis tæt på terrænet, mens nitratholdigt grundvand andre steder er trængt dybt ned i grundvandsmagasinet via geologiske vinduer.

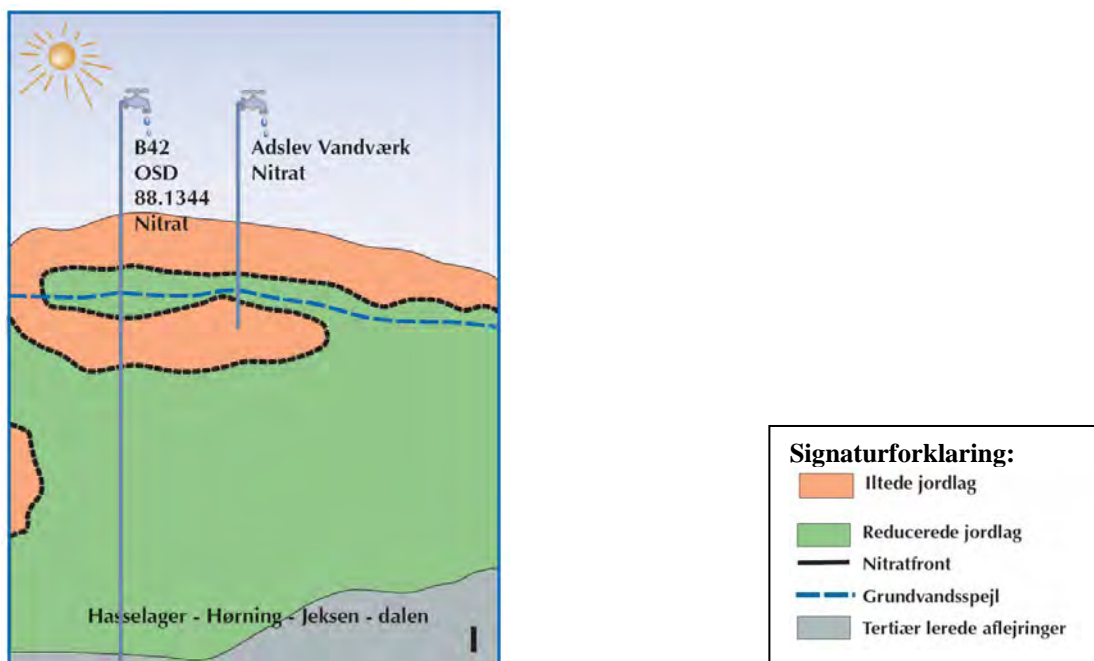
Der er flere steder fundet nitratholdigt grundvand med koncentrationer mellem 10-50 mg/l. Det drejer sig om en nu sløjfet boring ved Jeksen Vandværk, det aktive ikke-almene vandværk Jeksen Fladland Vandværk og ved 2 filtre i undersøgelsesboringen. Der er desuden fundet BAM og Des-Dip-Atrazin i undersøgelsesboringen.

Område I er adskilt fra område H af Jeksendalen. Område I er ligesom område H et højtliggende morænelandskab, men generelt ikke så kuperet som område H. Området er mest kuperet i den vestlige del, hvor der er talrige erosionsdale ned mod Jeksendalen. Området er domineret af landbrug undtagen ved flanken af Jeksendalen og Århus Ådalen, hvor der er skov.

Området gennemskæres i undergrunden af den vestlige del af den begravede Hasselager-Hørning-Jeksedal, som både er dyb og smal (se figur 10.2.14). Dalfyldet i den begravede dal er domineret af sandede aflejringer. Den begravede dal kan ikke erkendes i terrænet, idet den f.eks. ikke har et sammenfald med den nuværende Jeksedal.

Adslev Vandværk ligger i området.

Størstedelen af sandsynlighedsområdet til Adslev Vandværk samt en meget lille del af sandsynlighedsområdet til Gl. Hørning vandværk ligger i område I (se figur 9.2.1).



Figur 10.2.14 Principskitse for område I med stor nitratsårbarhed i indsatsområdet Åbo.

Der er forholdsvis få oplysninger om vandkemi og nitratfrontens beliggenhed i område I i forhold til områdets udstrækning. Resultaterne fra den dybe undersøgelsesboring (DGU nr. 88.1344, OSD13-B42) har derfor stor betydning for tolkningen af nitratsårbarheden i området.

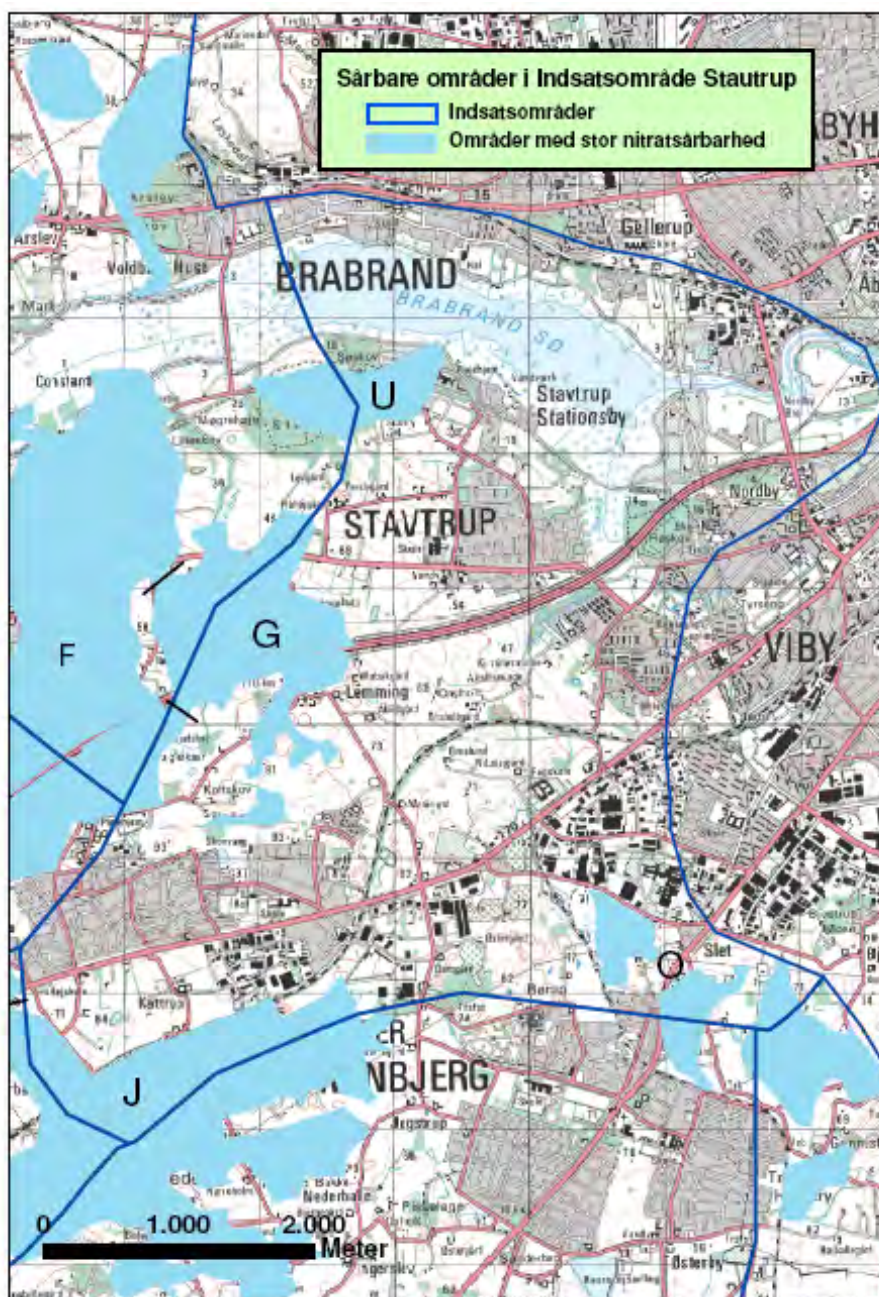
Nitratfronten ligger ca. 10-50 m under terræn. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold forholdsvis tæt på terræn, mens nitratholdigt grundvand andre steder er trængt dybt ned i grundvandsmagasinet via geologiske vinduer.

Der er 2 steder fundet nitratholdigt grundvand med koncentrationer mellem 20-25 mg/l. Det drejer sig om den ene (filterindtag 40-43 m under terræn) af de to indvindingsboringer ved Adslev Vandværk og det øverste filter i undersøgelsesboringen (45-47 m under terræn). Der er ingen fund af pesticider i område I.

10.3 Nitratsårbare områder – Indsatsområde Stautrup

Som det ses af figur 10.3.1 har Indsatsområde Stautrup kun få områder med stor nitratsårbarhed, som alle er placeret langs udkanten af indsatsområdet. Det fremgår ligeledes af figur 10.3.1, at i Indsatsområde Stautrup finder man sårbare områder med følgende betegnelser G (østlig del), J (nordlig del), O (nordlig del) og U (østlig del).

Område G består af et stort område og et lille område længere mod syd. Område O består af i alt 6 små delområder, som er samlet under ét, hvoraf O1, O2 og O3 mere eller mindre indgår i Indsatsområde Stautrup. Det sårbare område O er beskrevet under Indsatsområde Beder (afsnit 10.1), hvorfor der henvises hertil. Endvidere findes der et lille delområde af område F inden for området. Område F er beskrevet under Indsatsområde Storskoven (afsnit 10.4).



Figur 10.3.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Stautrup.

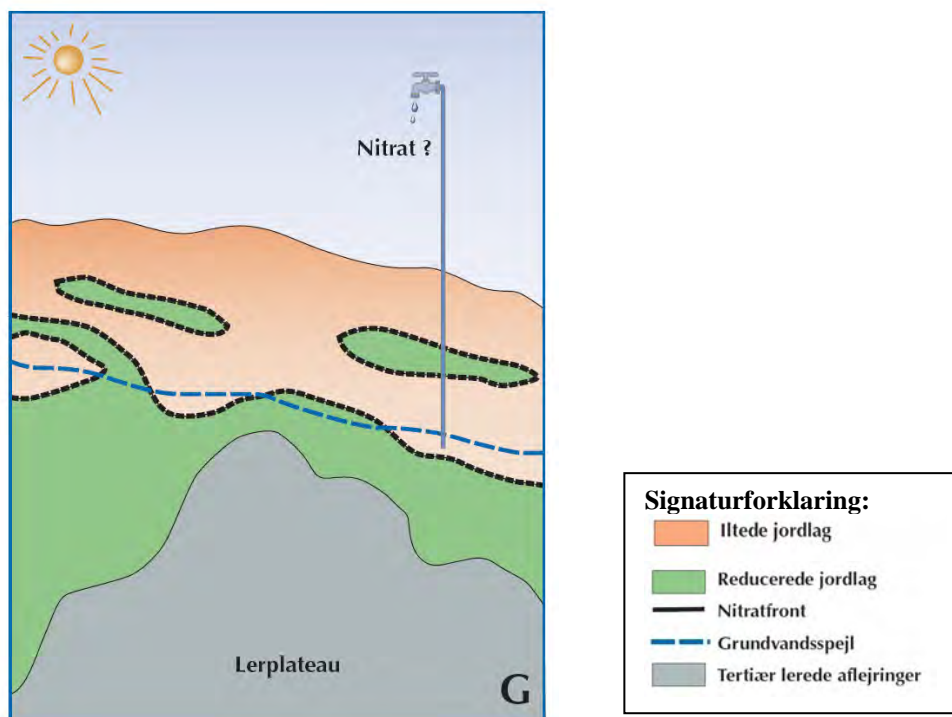
Område G ligger meget tæt op ad område F (Indsatsområde Storskoven) og er beliggende vest for Stautrup med Stautrup-Ormslev-vejen som den øvre grænse (se figur 10.3.2). Syd for Lemming fortsætter en sydgående ”arm” til området nord for Kolt og Hasselager. Området gennemskæres af motorvej E45. Området er domineret af landbrug med enkelte småskove især i områdets nordlige del. Området kan karakteriseres som et højtliggende morænelandskab, hvor terrænet er højest mod syd ved Lemming (kote 75-80 m) og er generelt faldende i nordlig retning, hvor terrænkoten ligger på 45-50 m.



Figur 10.3.2 Kort som viser beliggenheden af område G med stor nitratsårbarhed.

Hovedparten af området ligger på et lerplateau i undergrunden (se figur 10.3.3). Området ligger således mellem, mod nord, sydflanken af den tertiære dal, Brabranddalen og mod syd Stautrup-

Hasselagerdalen. Den sydlige del af området ligger hen over selve dalsystemet (ca. kote -110 m). Der er således i området en niveauforskel af det tertiære ler på ca. 100 m.



Figur 10.3.3 Principskitse for område G med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Stautrup.

Der findes ingen vandforsyningsboringer inden for selve området.

Område G er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien.

Den store indvinding ved Stautrupværket har bevirket en grundvandssænkning i området.

Der er ingen oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område G. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i området på grund af de tynde lerdæklag og risikoen for kontakt til geologiske vinduer.

Område U er beliggende på sydsiden af den vestlige del af Brabrand Sø i et kuperet morænelandskab. Kun den østlige del af området ligger i Indsatsområde Stautrup, mens den vestlige del ligger i Indsatsområde Storskoven. Området består primært af en skråning ned mod Brabrand Sø. Omtrent halvdelen af området er dækket af skov, især Storskov, som dækker hele den sydvestlige del. Resten af området består af landbrug og byområde.

Området er beliggende centralt i Brabranddalen, hvor den tertiære leroverflade ligger meget dybt, og hvor Stautrup-Hasselagerdalen støder sammen med Brabranddalen (se figur 10.3.5).

Der er store indvindingsinteresser i området, idet Storskoven Kildeplads har sine boringer umiddelbart syd for område U, mens boringerne ved Stautrup Kildeplads ligger umiddelbart øst for området.

Den store indvinding ved Stautrupværket har bevirket en markant grundvands­senkning i området.

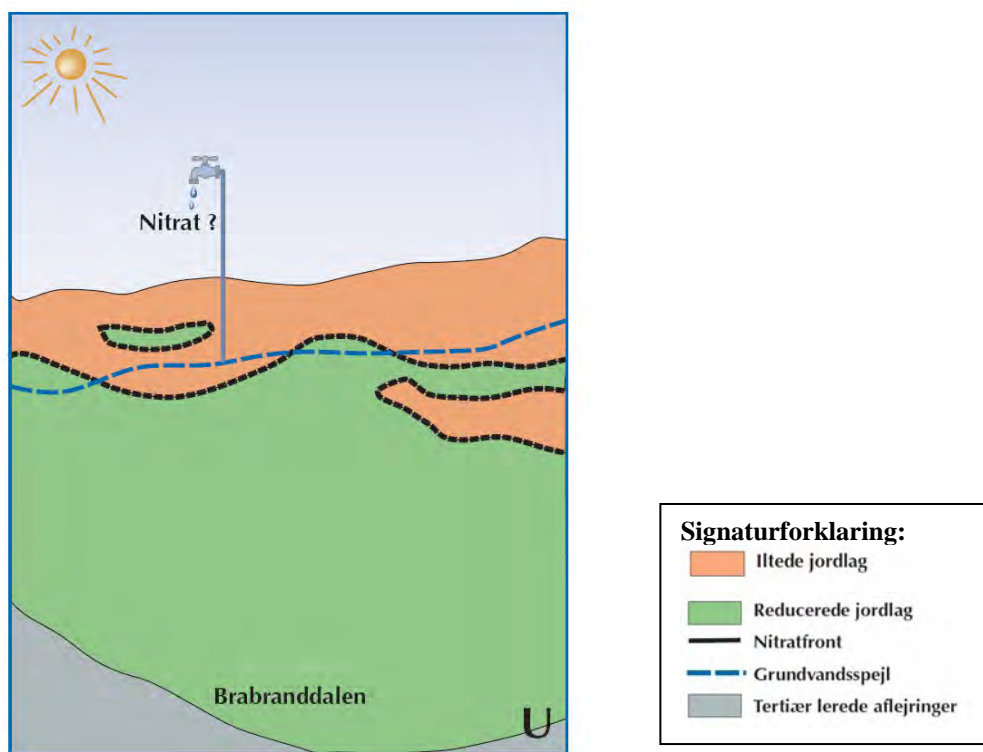


Figur 10.3.4 Kort, som viser beliggenheden af område U med stor nitratsårbarhed. Som det ses af kortet, er det kun den østlige del af området, som ligger i område U. De 2 mørkeblå cirkler lige syd for område U (Storskov) og den ene cirkel i områdets nordlige del (Bøgehøj) er borerige tilhørende Storskoven Kildeplads (Stautrupværket, ÅKV). De 2 borerige lige øst for område U tilhører Stautrup Kildeplads.

Område U er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien.

Der findes kun oplysninger om vandkemi og nitratkoncentrationer i område U fra en ny indvindingsboring, DGU nr. 89.1644 (2005) under Stautrupværket (ÅKV). Boringen er filtersat 70-88 m under terræn og indvinder nitratfrit grundvand af vandtype C med et relativt højt indhold af

sulfat (Ca. 62 mg/l). Det relativt høje sulfatindhold fra opstarten af boringen indikerer, at området er sårbart over for forurening. Nitratfronten ligger 4-20 m under terræn. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område U på grund af risikoen for kontakt til geologiske vinduer.



Figur 10.3.5 Principskitse for område U med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Stautrup.

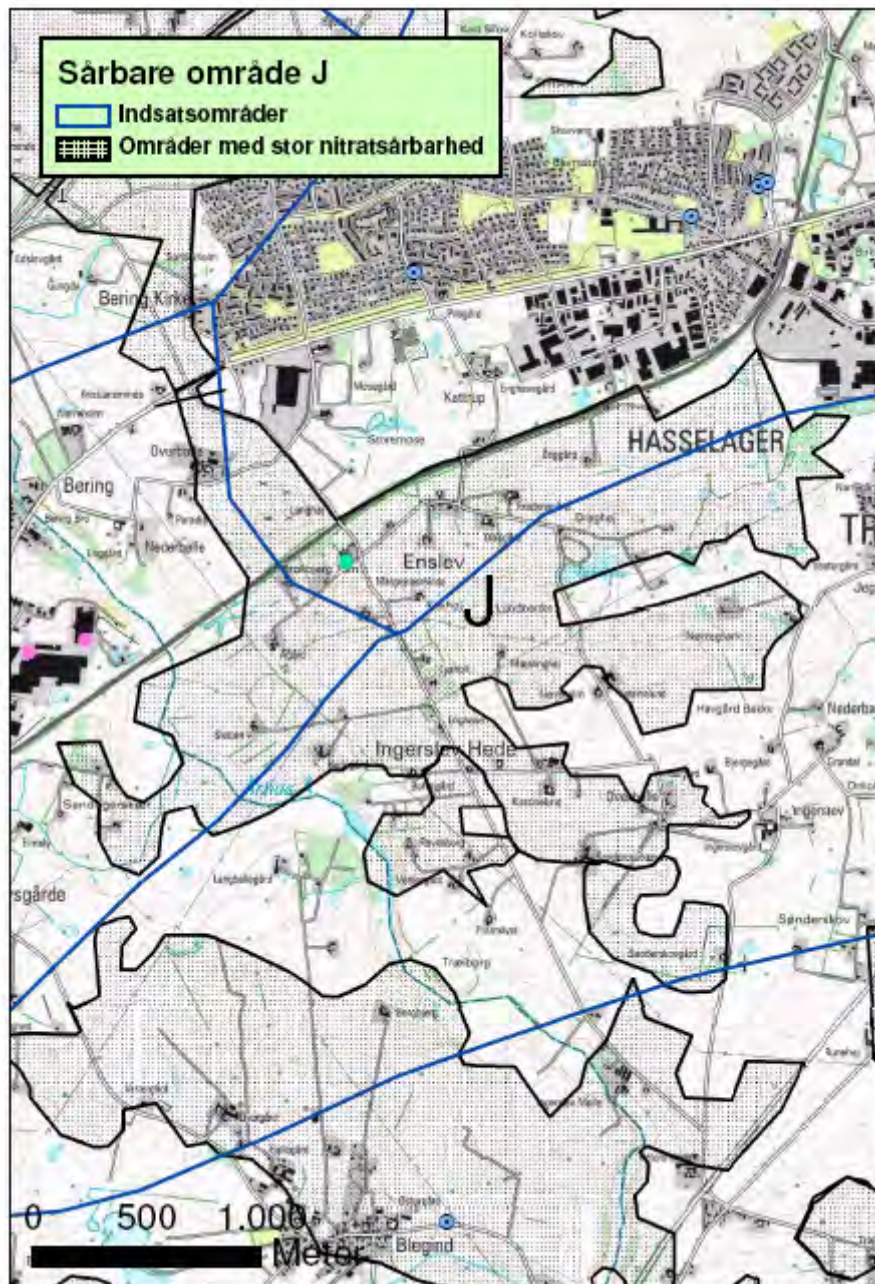
Område J er beliggende syd for Hasselager, syd for jernbanen og har sin udbredelse fra SØ for Hørning i vest til vest for Tranbjerg i øst (dækker Enslev-området og Ingerslev Hede). Den nordlige del af Område J er beliggende i Indsatsområde Stautrup (se figur 10.3.6). Område J udgør ligeledes en del af 2 andre indsatsområder – Stilling (mod syd) og Østerby (mod øst).

Området grænser op til industriområder ved Hørning, Hasselager og Tranbjerg, men området i sig selv er domineret af landbrug. Området er et morænelandskab præget af mange dødishuller og med et jævnt fald fra nordøst til området omkring Århus Å i det sydvestligste hjørne af området.

Område J er beliggende, hvor 3 begravede dalsystemer krydser hinanden. Mod nord Stautrup-Hasselagerdalen, mod vest Hasselager-Hørning-Jeksendalen og mod syd Beder-Mårslet-Stillingdalen. Område J har således en central placering i forhold til de dybe dalsystemer i Århus Syd-området (se figur 10.3.7).

Der findes ingen almene indvindingsanlæg inden for område J.

Bortset fra nogle små områder mod syd er hele område J dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladser beliggende nord for skillelinien. Den nordlige og sydøstlige del af område J er endvidere dækket af sandsynlighedsområder til Hasselager Kolt Vandværks kildepladser samt til Østerby Kildeplads (Østerbyværket).

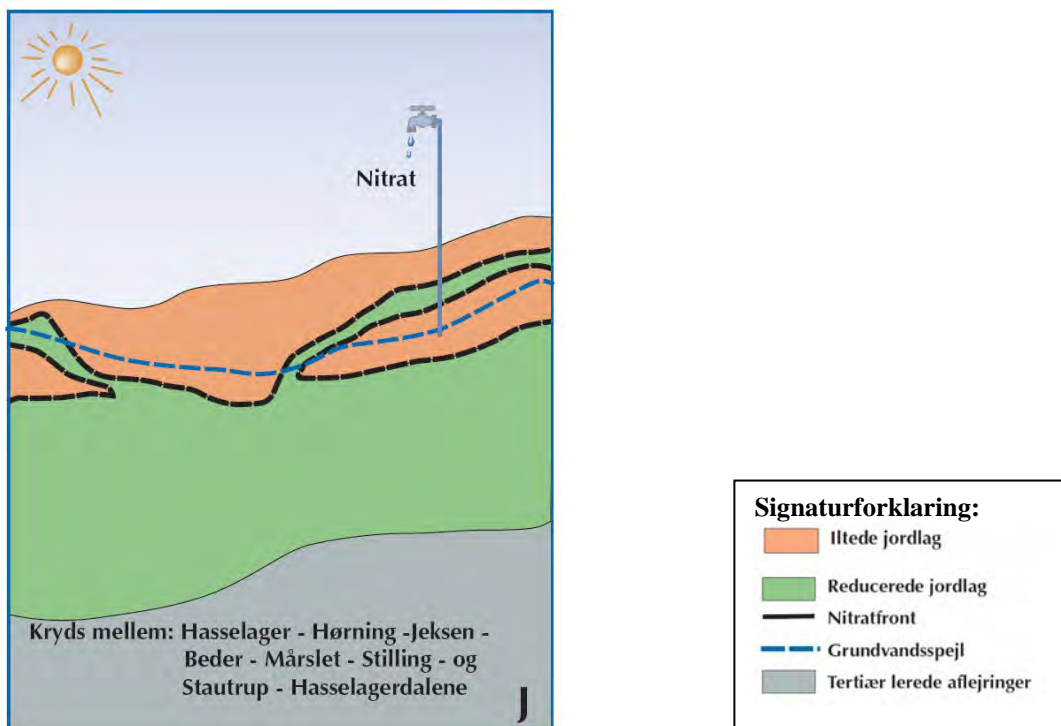


Figur 10.3.6 Kort, som viser beliggenheden af område J med stor nitratsårbarhed. Som det ses af kortet rækker området ind i flere indsatsområder.

Nitratfronten ligger ca. 5-8 m under terræn i den sydvestlige del af området. I den resterende del af område J, tættere på Hasselager, ligger nitratfronten noget dybere og varierer mellem 3-35 m under terræn. Det vil sige, at der nogle steder er reducerede forhold helt til terræn, mens der andre steder sandsynligvis er nitratholdigt grundvand i det øvre grundvandsmagasin. Desuden er der fundet reducerede jordlag over den dybeste nitratfront som tegn på en kompliceret grundvandsstrømning og risiko for kontakt til geologiske vinduer.

De fleste af borerne i område J er filtersat i den reducerede og nitratfrie del af grundvandsmagasinet. Dog er der på det nedlagte (1978) Enslev Vandværk, lige syd for Hasselager, fundet nitratholdigt grundvand (ca. 35 mg/l).

Desuden er pesticidet BAM (0,034 µg/l) fundet i en undersøgelsesboring (DGU nr. 89.1543).

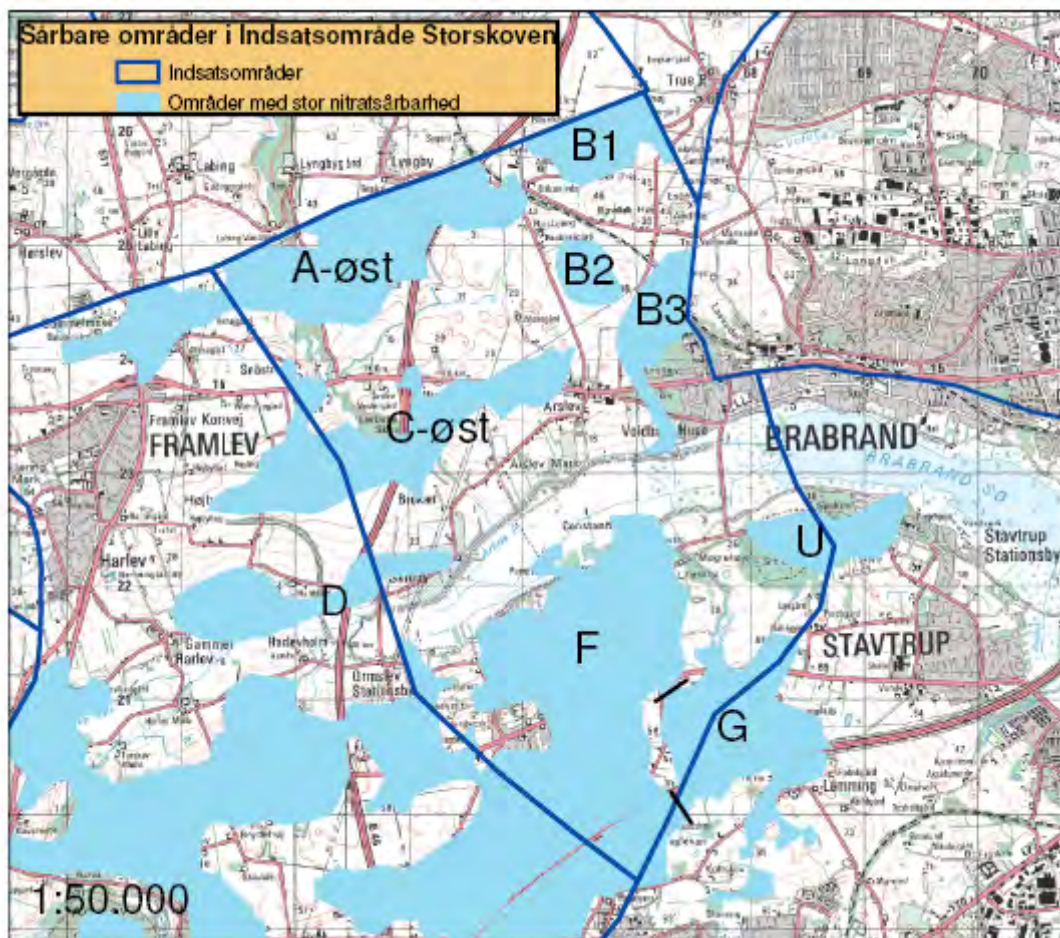


Figur 10.3.7 Principskitse for område J med stor nitratsårbarhed i indsatsområdet Stautrup.

10.4 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Storskoven

I Indsatsområde Storskoven findes områder med stor nitratsårbarhed med følgende betegnelser A-øst, B, C-øst, D, F (nordlige del), G (nordlige del) og den vestlige del af U, hvilket fremgår af figur 10.4.1. I flere tilfælde består de sårbare områder af flere mindre områder, som er samlet for at lette overskueligheden.

I dette afsnit beskrives kun de sårbare områder A-øst, B og C-øst, idet D og F er beskrevet i afsnit 10.2 (Indsatsområde Åbo), mens områderne G og U er beskrevet i afsnit 10.3 (Indsatsområde Stautrup).



Figur 10.4.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Storskoven.

Område A-øst er den østlige del af et langstrakt område mellem Harlev/Framlev i vest og Lyngby/Motorvej E-45 i øst. Området er beliggende i den nordvestlige del af Indsatsområde Storskoven (se figur 10.4.2). Område A-vest er beskrevet i afsnit 10.2 (Indsatsområde Åbo).

Område A-øst er domineret af landbrug undtagen, hvor Lyngbygårds Å skærer sig gennem området. På skråningerne ned mod åen er der skov. Der er tale om et småkuperet morænelandskab, som bærer præg af, at der ikke er langt til Den Østjydske Israndslinie.

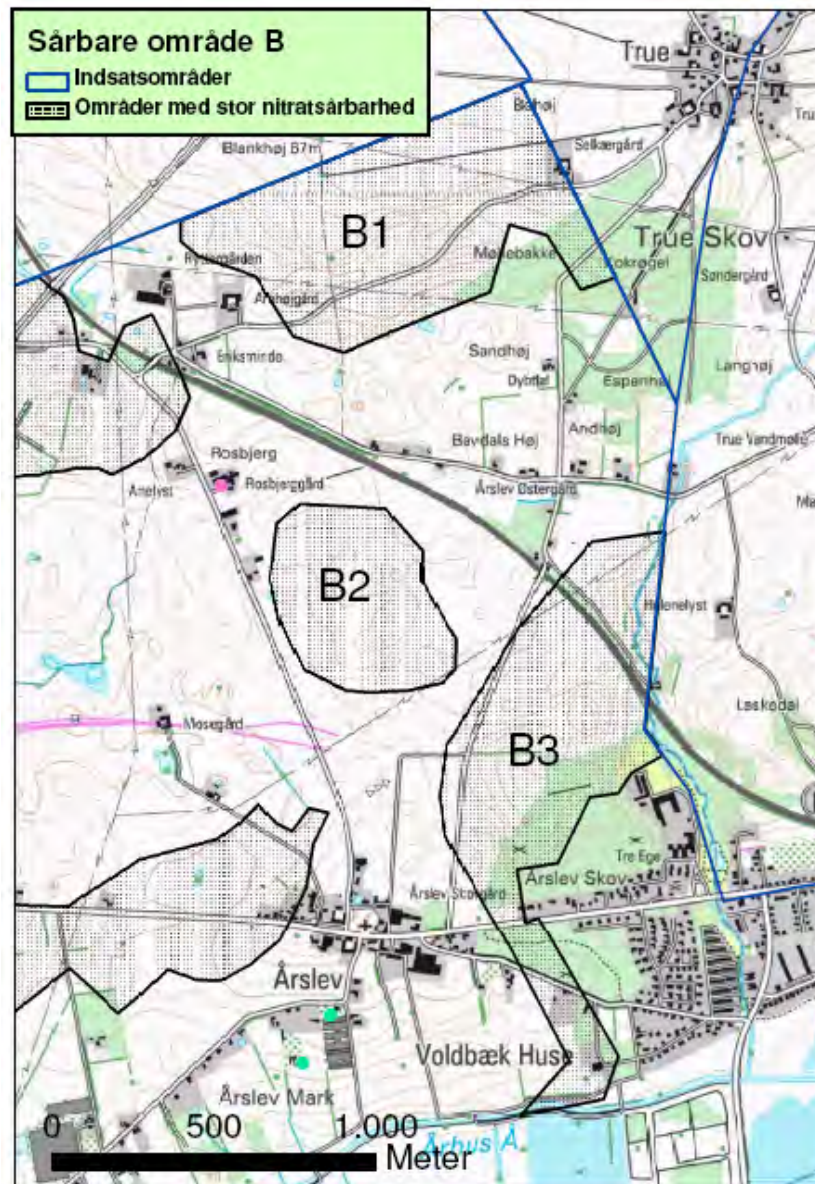


Figur 10.4.2 Kort, som viser beliggenheden af område A's østlige del (A-øst) med stor nitratsårbarhed.

Område A-øst ligger inden for den nordlige del af en begravet dal i undergrunden – Brabranddalen – men i et område, hvor det tertiære ler, især i den centrale del, formodes at være relativt højtliggende (se figur 10.4.3).

Der ligger ingen vandværker inden for området. Glamhøj Losseplads ligger umiddelbart syd for den østlige del af område A-øst. En stor del af området er dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien.

Der er ingen oplysninger om nitratkoncentrationer i grundvandet i område A-øst. Til gengæld er der en del oplysninger om nitratfrontens beliggenhed, da der er udført flere kontrolboringer i forbindelse med Glamhøjvej Losseplads. Nitratfrontens beliggenhed varierer mellem 0-35 m under terræn. Der vil derfor sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område A-øst på grund af de tynde lerdæklag og risikoen for geologiske vinduer.

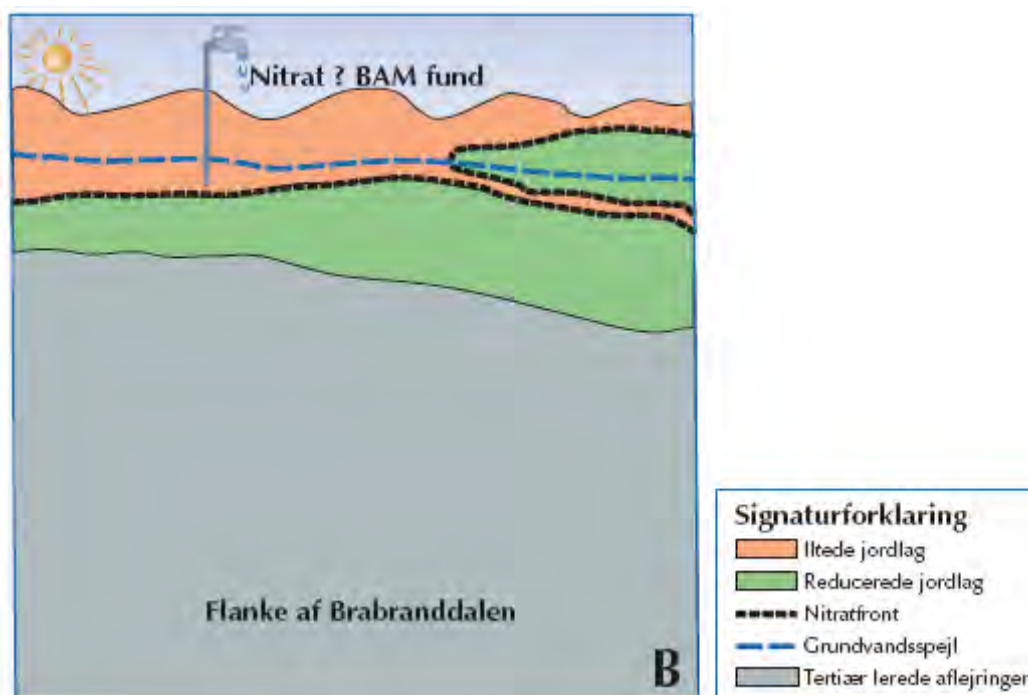


Figur 10.4.4 Kort, som viser beliggenheden af område B med stor nitratsårbarhed (området består af i alt 3 delområder).

Område B1 er beliggende på et højtliggende lerplateau nord for den meget brede dal i undergrunden – Brabranddalen. B2 ligger ved nordflanken af Brabranddalen, mens B3 ligger hen over dalen, men tilsyneladende i et område, hvor det tertiære ler ligger relativt højt.

Der er ingen vandværker inden for nogen af delområderne. Det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien dækker hele B2 og B3, mens B1 kun delvist er dækket.

Det er kun få oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område B. Nitratfronten formodes at ligge ca. 10-30 m under terræn. Der er vandanalyser fra en undersøgelsesboring i området, hvor der er fundet reduceret BAM-holdigt grundvand. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område B på grund af de tynde lerdæklag og forekomsten af geologiske vinduer.



Figur 10.4.5 Principskitse for område B med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Storskoven.

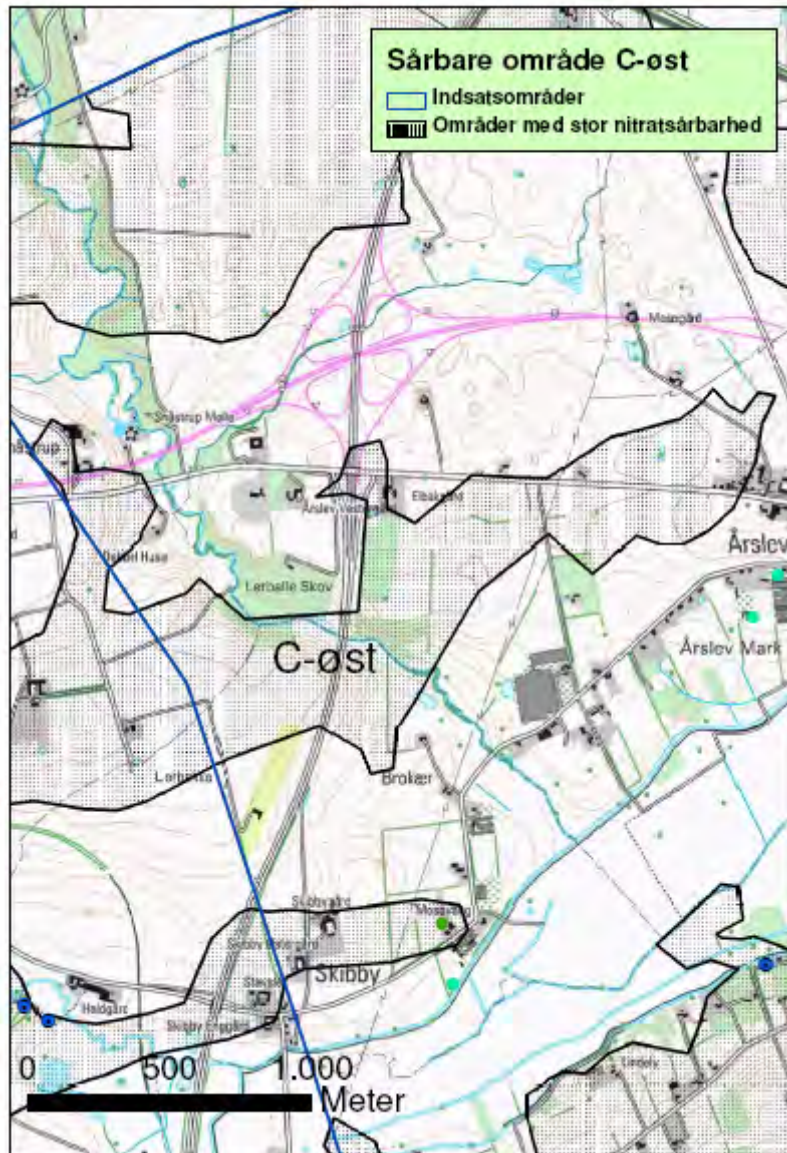
Område C-øst er den østlige del af område C, som er et langstrakt område fra Højby Mark i vest til Årslev i øst. Området gennemskæres af motorvej E-45. Område C-vest er beskrevet i afsnit 10.2 (Indsatsområde Åbo). Området er præget af landbrug bortset fra skov, hvor Lyngbygårds Å skærer sig gennem området (Lerballe Skov).

Der er tale om et småkuperet morænelandskab (kote 25-35 m). Ved Lyngbygårds Å falder terrænet til kote 5-10 m.

Område C-øst ligger centralt inden for den prækvartære dal, Brabranddalen, som i Harlev-området er meget bred. Brabranddalen er fyldt op af aflejringer med en meget kompleks opbygning.

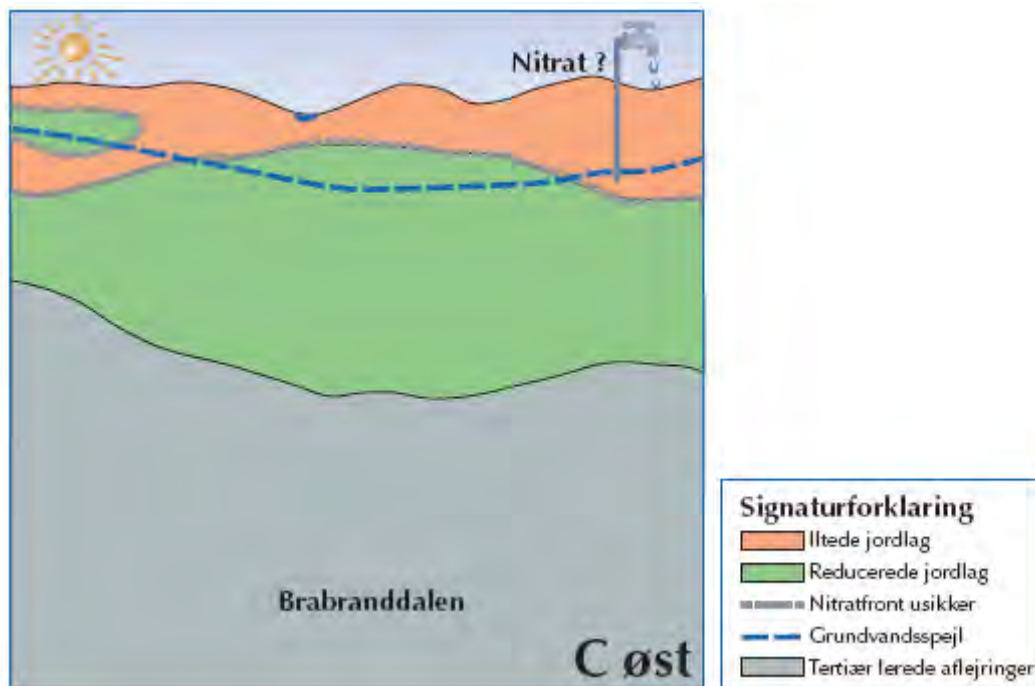
Der ligger ingen vandværker inden for området.

Område C-øst er fuldstændig dækket af det samlede potentielle grundvandsdannende opland for kildepladserne beliggende nord for skillelinien.



Figur 10.4.6 Kort, som viser beliggenheden af område C-øst med stor nitratsårbarhed. De mørkeblå cirkler i mod sydvest og sydøst viser henholdsvis placeringen af 2 indvindingsboringer ved Harlev Kildeplads (Åboværket, ÅKV) og en indvindingsboring ved Constantinsborg Kildeplads (Staurupværket, ÅKV).

Der er ingen oplysninger om nitratfrontens beliggenhed i område C-øst. Der er vandkemiske oplysninger fra 2 af borerne fra den ikke aktive Årslev-kildeplads (ÅKV). Her er borerne filtersatte i den nitratfrie reducerede del af grundvandsmagasinet, hvor grundvandet har et højt indhold af klorid (op til ca. 300 mg/l) og fluorid (op til ca. 1,2 mg/l). Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område C-øst på grund af de tynde lerdæklag.



Figur 10.4.7 Principskitse for område C-øst med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Storskoven.

10.5 Nitratsårbare områder - Indsatsområde Østerby

I Indsatsområde Østerby findes områder med stor nitratsårbarhed med følgende betegnelser J (sydlig del), O (dele af O2 og O3), L (nordlig del) og K (yderste spids af indsatsområdet), hvilket fremgår af figur 10.5.1. I flere tilfælde består de sårbare områder af flere eller mange små områder, som er samlet for at lette overskueligheden.

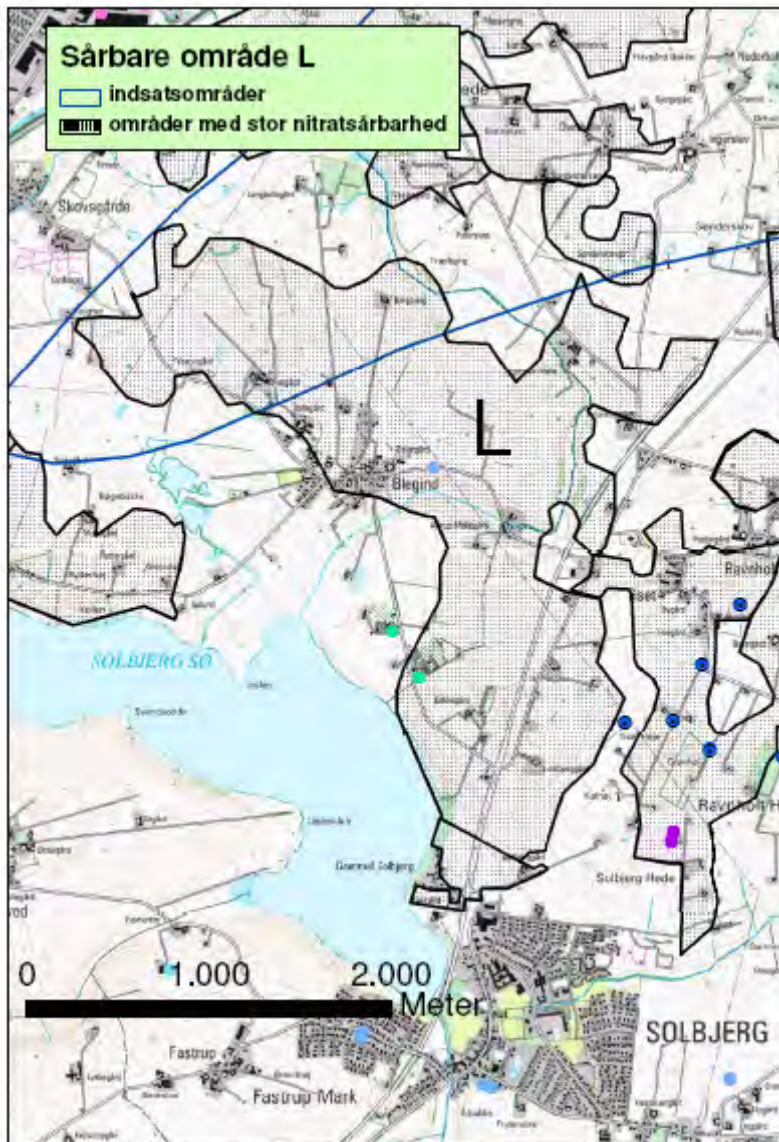
I dette afsnit beskrives kun det sårbare områder L, idet J er beskrevet i kapitel 10.3 (Indsatsområde Stautrup), O er beskrevet i kapitel 10.1 (Indsatsområde Beder) og K er beskrevet i afsnit 10.6 (Andre områder).



Figur 10.5.1 Oversigt over områder med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Østerby.

Område L er et stort område, hvor den nordligste tredjedel findes i Indsatsområde Østerby, mens resten af området ligger inden for Indsatsområde Ravnholt-Tiset (se figur 10.5.2). Området strækker sig fra sydøst for Hørning (Skovsgårde), nord om Blegind og bøjer herfra mod syd ned til Solbjerg og Solbjerg Sø. Området er domineret af landbrug og gennemskæres af Århus Å (ca. kote 50 m).

Området kan karakteriseres som et højtliggende og meget kuperet morænelandskab, hvor den del af området, som ligger inden for Indsatsområde Østerby har terrænhøjder i niveauet 50-60 m. I den del af område L, som ligger syd for Indsatsområde Østerby ligger terrænet generelt noget højere, 70-80 m under terræn.



Figur 10.5.2 Kort som viser beliggenheden af område L med stor nitratsårbarhed. Den lyseblå ring lige øst for Blegind er en boring tilhørende Blegind Vandværk. De mørkeblå cirkler øst for den sydlige del af område L viser placeringen af borerne tilhørende Ravnholt-Tiset Kildeplads (ÅKV).

Den nordlige del af område L ligger til dels over den vestlige del af Beder-Mårslet-Stillingdalen og til dels på den sydlige flanke af denne begavede dal. Dalfyldet i den begravede dal har en meget kompleks sammensætning. Den begravede dal kan ikke erkendes i det nuværende terræn.

Der ligger ingen vandværker i den nordlige del af område L (inden for Indsatsområde Østerby). Blegind Vandværk ligger dog inden for område L, men inden for Indsatsområde Ravnholt-Tiset. Lige uden for den sydøstlige afgrænsning af området ligger Ravnholt-Tiset Kildeplads (Østerbyværket).

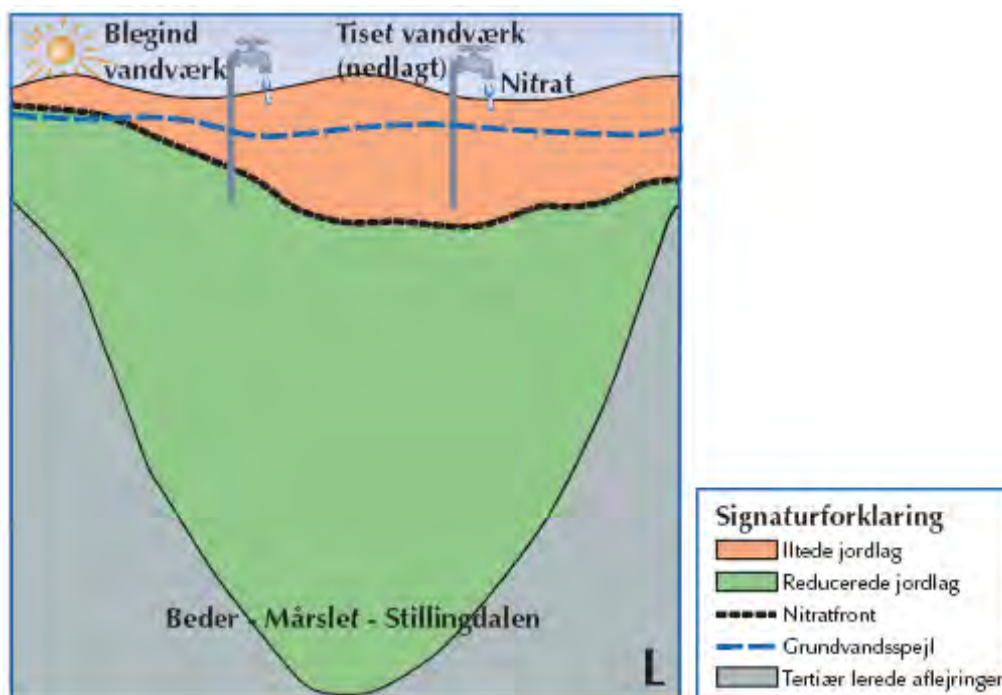
Bortset fra den nordligste del er hele område L dækket af henholdsvis sandsynlighedsområdet til Blegind Vandværk, sandsynlighedsområde og kerneopland til Ravnholt-Tiset Kildeplads samt en meget lille del af sandsynlighedsområdet til Østerby Kildeplads.

Nitratfronten ligger omkring 8-35 m under terrænen i område L, dog har den sydlige del af området en noget højere liggende nitratfront (ca. 2 m under terrænen).

De fleste af borerne i område L er filtersat i den reducerede og nitratfrie del af grundvandsmagasinerne. Dog er der på det nedlagte Tiset Vandværk fundet nitratholdigt grundvand med op til ca. 20 mg nitrat per liter. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand mange andre steder i område L på grund af de tynde lerdæklag.

I den nordlige udkant af område L findes undersøgelsesboringen med DGU nr. 98.1128 (B34). Her er der fundet reduceret grundvand med et varierende og højt indhold af klorid (40-280 mg/l) og arsen (15-33 µg/l).

Der er ikke fundet pesticider i område L.

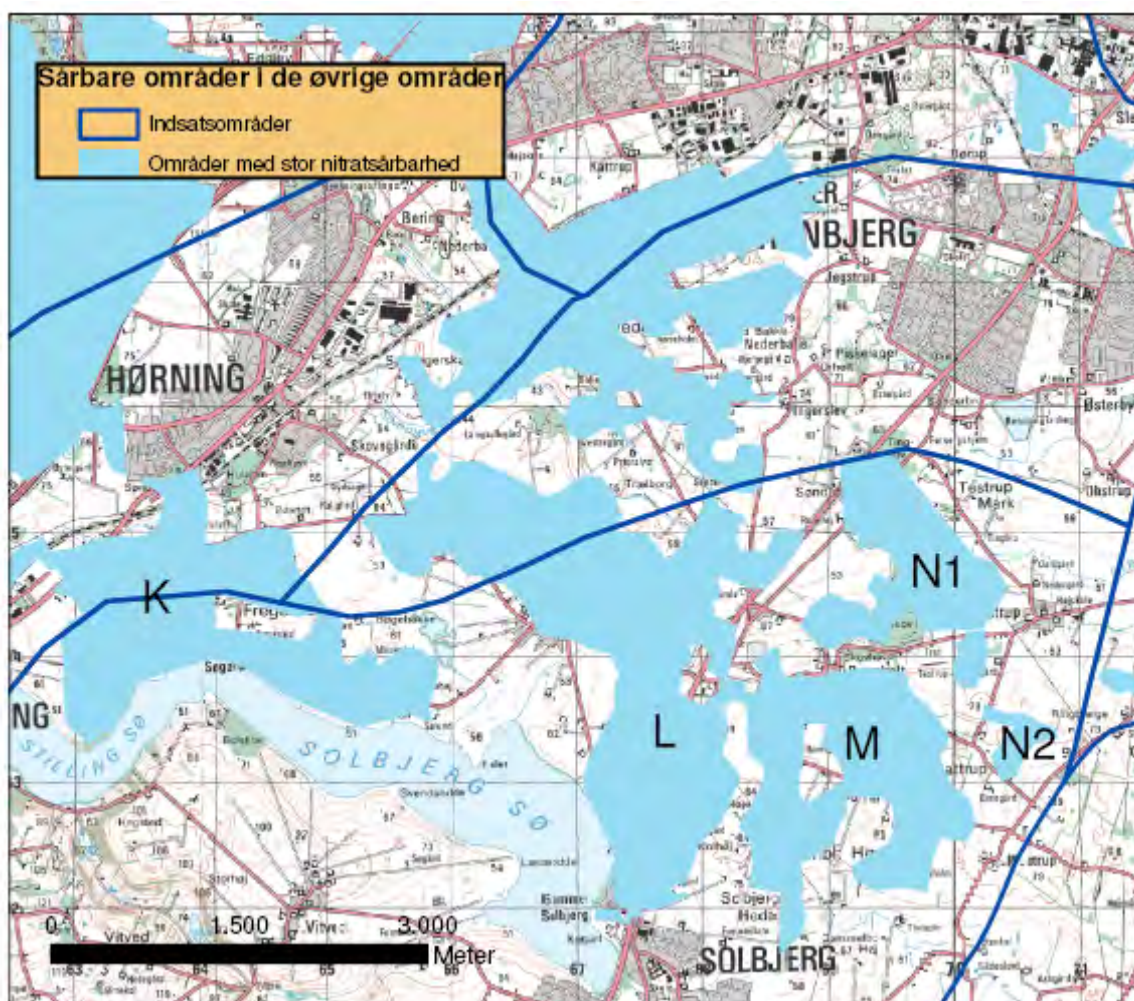


Figur 10.5.3 Principskitse for område L med stor nitratsårbarhed.

10.6 Beskrivelse af andre nitratsårbare områder

I dette afsnit bliver der foretaget en beskrivelse af andre resterende udpegede områder med stor nitratsårbarhed i Århus Syd fokusområdet, som ikke er beskrevet i de foregående 5 afsnit.

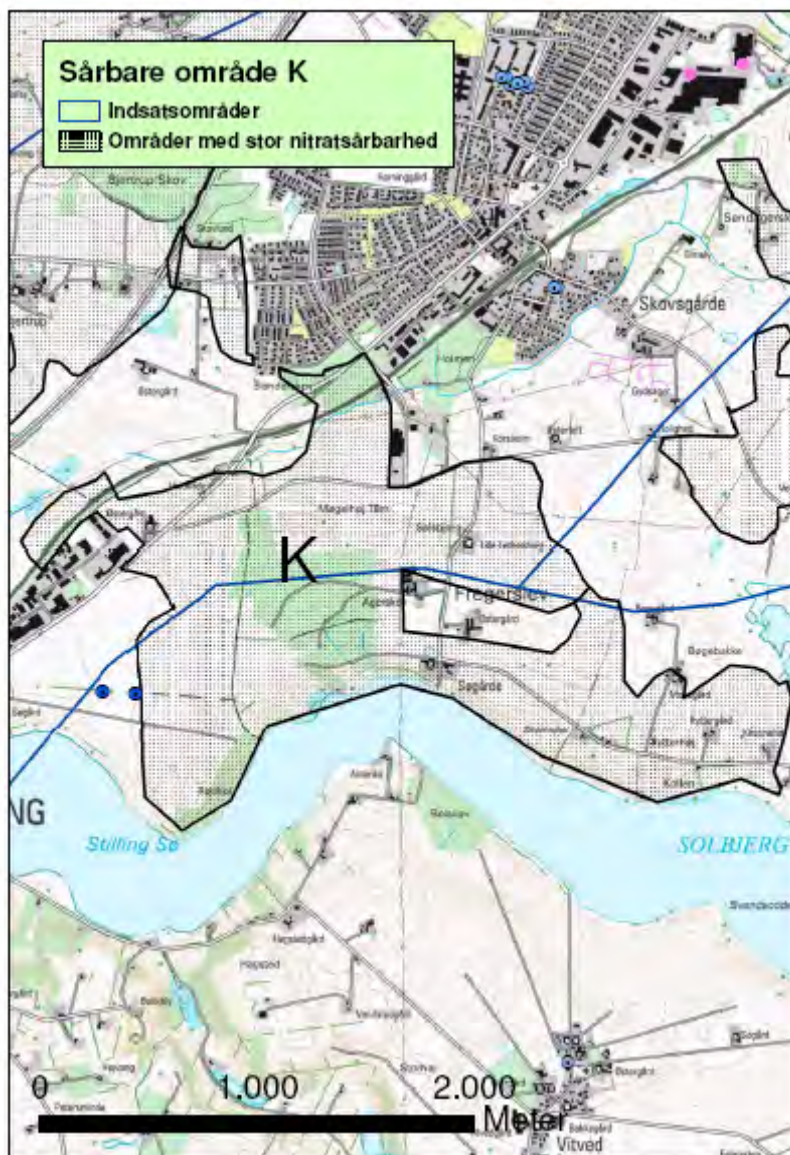
De resterende områder med stor nitratsårbarhed er område K, M og N (se figur 10.6.1). Den nordligste del af område L ligger i Indsatsområde Østerby, og beskrivelsen af dette område findes under Indsatsområde Østerby (afsnit 10.5).



Figur 10.6.1 Oversigt over andre områder med stor nitratsårbarhed i Århus Syd fokusområdet, som ikke tidligere er beskrevet.

Område K er et stort område mellem Hørning i nord og Stilling/Solbjerg i syd (se figur 10.6.2). Den nordlige del af området ligger i Indsatsområde Stilling, mens den sydlige del ligger i Indsatsområde Ravnholt-Tiset. Endelig udgør en lille bid af området den vestligste spids af Indsatsområde Østerby. Området er domineret af landbrug med enkelte større skovarealer vest for Fregerslev (Agerskov).

Området kan karakteriseres som et højtliggende morænelandskab (kote 70-80 m), beliggende kun få km øst for Den Østjydske Israndslinie, hvilket også forklarer tilstedeværelsen af de mange dødshuller. Længst mod syd falder terrænet ned mod den ca. 7 km lange Stilling/Solbjerg Sø, som ligger i øst-vest vendt tunneldal.

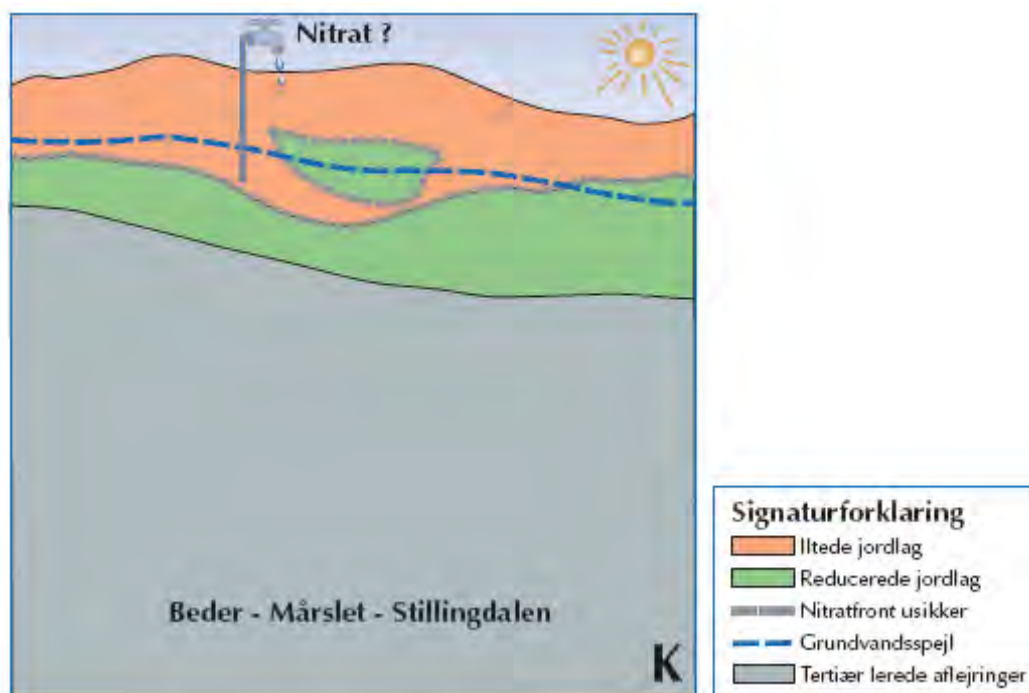


Figur 10.6.2 Kort, som viser beliggenheden af område K med stor nitratsårbarhed. De lyseblå ringe i den nordlige og sydlige del af Hørning viser beliggenheden af henholdsvis Gl. Hørning og Hørning Stationsbys boringer. De mørkeblå cirkler lige vest for område K viser placeringen af Stillingværkets boringer.

Den nordlige del af område K ligger over en dyb dal i undergrunden, ”Beder-Mårslet-Stillingdalen”. Den midterste del ligger over den sydlige flanke af denne dal, mens den sydlige del ligger på et højtliggende lerplateau i undergrunden (se figur 10.6.3).

Der ligger ingen almene indvindinger i område K. Dog ligger Stillingværket (Skanderborg Kommunale Værker) umiddelbart vest for området. Den vestlige del af område K overlappes af sandsynlighedsområde og kerneopland til Stillingværket. Den østlige del overlappes af sandsynlighedsområderne til Hørning St. Vandværk og Ravnholt Tiset Kildeplads (Østerbyværket). En meget lille del af den nordlige del af område K er dækket af sandsynlighedsområdet til Gl. Hørning Vandværk.

Der er ingen oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område K. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand i område K på grund af de tynde lerdæklag og risikoen for kontakt til geologiske vinduer.



Figur 10.6.3 Principskitse for område K med stor nitratsårbarhed.

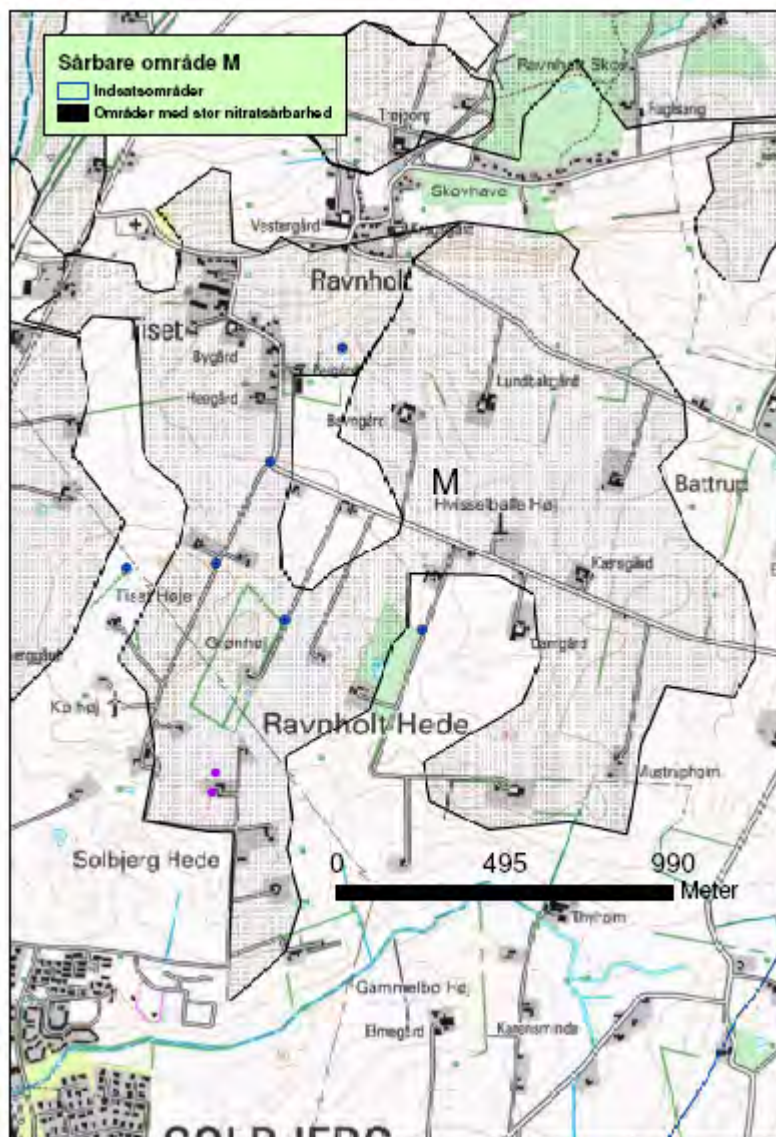
Område M er et meget irregulært område mellem Solbjerg i syd og Tiset og Ravnholt i nord (se figur 10.6.4). En stor del af området udgøres af Solbjerg Hede og Ravnholt Hede. Området er domineret af landbrug. Der er stort set intet skov i område M.

Området kan karakteriseres om et højtliggende og lettere kuperet morænelandskab på nordsiden af Stilling-Solbjerg Tunneldalen (terrænkote typisk 75-85 m).

Den sydlige del af området ligger på et jævnt, højtliggende tertiært lerplateau (kote 0-10 m), mens den nordlige del udgøres af en bassinstruktur, hvor tertiæroverfladen ligger i ca. kote -40 m. Dette bassin støder mod nord op til "Beder-Mårslet-Stillingdalen".

Der er store vandindvindingsinteresser i området, idet Ravnholt Tiset Kildeplads har sine borerer dels i og dels meget tæt på område M.

Sandsynlighedsområde og kerneopland til Ravnholt Tiset Kildeplads dækker langt størstedelen af området. Derudover dækker sandsynlighedsområderne til Østerby Kildeplads (Østerbyværket) og Mårslet Vandværk den nordlige og østlige del af område M.

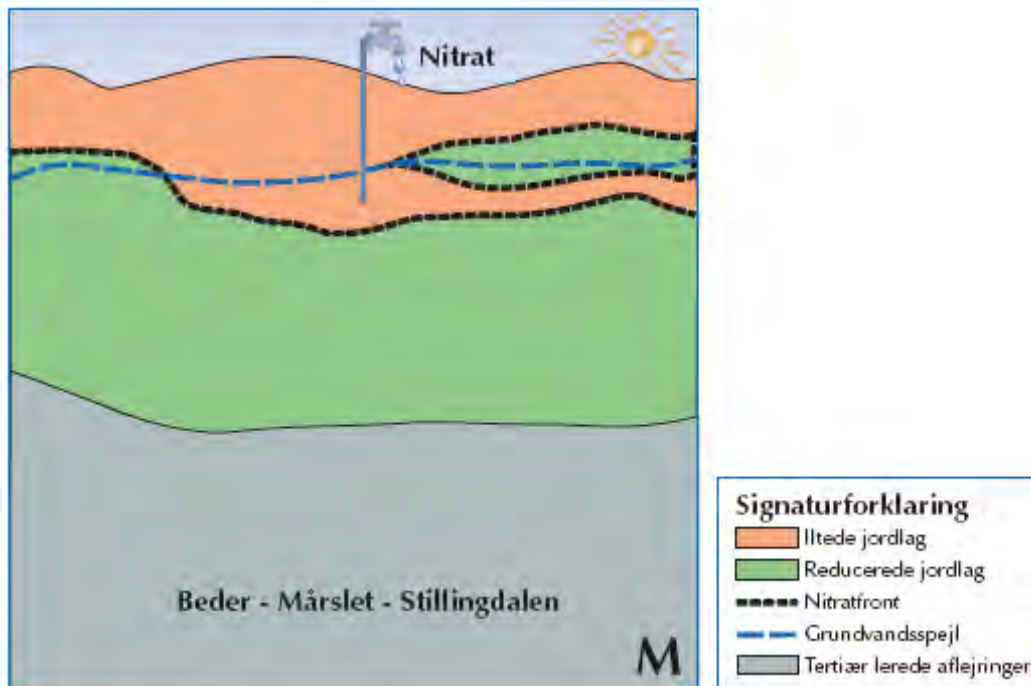


Figur 10.6.4 Kort, som viser beliggenheden af område M med stor nitratsårbarhed. De mørkeblå cirkler centralt inden for området viser placeringen af indvindingsboringerne tilhørende Ravnholt-Tiset Kildeplads (ÅKV).

Nitratfronten ligger omkring 20-45 m under terræn i område M. Der er fundet reducerede jordlag over den dybeste nitratfront som tegn på kompliceret grundvandsstrømning og risiko for kontakt til geologiske vinduer.

De fleste af boringerne i område M er filtersat i den reducerede og nitratfrie del af grundvandsmagasinet. Der er ved et enkelt vandforsyningsanlæg (1-2 husstande) fundet nitratholdigt grundvand med et indhold på 10 mg/l nitrat. Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand mange andre steder i område M på grund af de relative tynde lerdæklag.

Der er ikke fundet pesticider i område M.



Figur 10.6.5 Principskitse for område M med stor nitratsårbarhed.

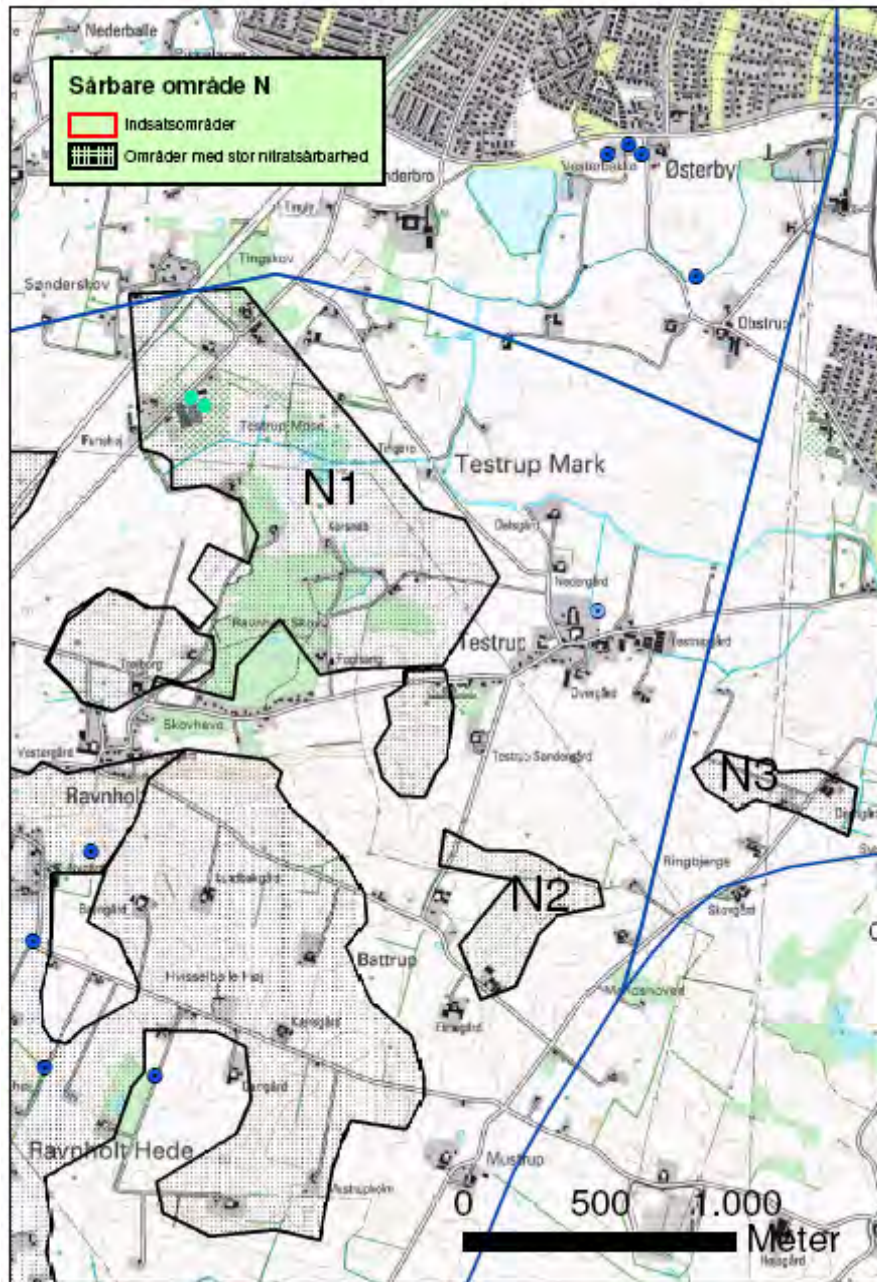
Område N består af 3 delområder, hvoraf N3 ligger inden for Indsatsområde Beder. Vedrørende beskrivelsen af N3 henvises derfor til afsnit 10.1. N1 er langt det største område, som ligger mellem Tranbjerg i nord og Ravnholt og Testrup i syd. Den nordlige del af N1 er domineret af gartneridrift, mens den vestligste del og østlige del er domineret af landbrug. Den centrale del udgøres af Ravnholt Skov. Den nordlige del af området gennemskæres af Morsbæk, som er en del af Giber Å-systemet.

N2 er et lille og udpræget landbrugsområde ca. 800 m syd for Testrup.

Område N kan samlet set kategoriseres som et svagt bølgende morænelandskab (terrænkoter omkring 60 m) med de laveste områder ned mod Morsbæk (ca. kote 50 m).

Område N ligger mellem den sydlige flanke af "Beder-Mårslet-Stillingdalen" og den bassinstruktur, som kort er beskrevet under område M. Koten for den tertiære leroverflade er vurderet til at ligge i kote -80 - -40 m.

Selv om der ikke findes almene vandforsyningsanlæg inden for område N er der alligevel vandindvindingsinteresser, idet den vestligste spids af N1 udgøres af sandsynlighedsområdet til Ravnholt-Tiset Kildeplads. Sandsynlighedsområdet til Vilhelmsborg Kildeplads (ÅKV) dækker den sydøstlige del af N1 og sydlige del af N2. Endvidere dækker sandsynlighedsområdet for Mårslet Vandværk den sydlige del af N1 og hele N2.



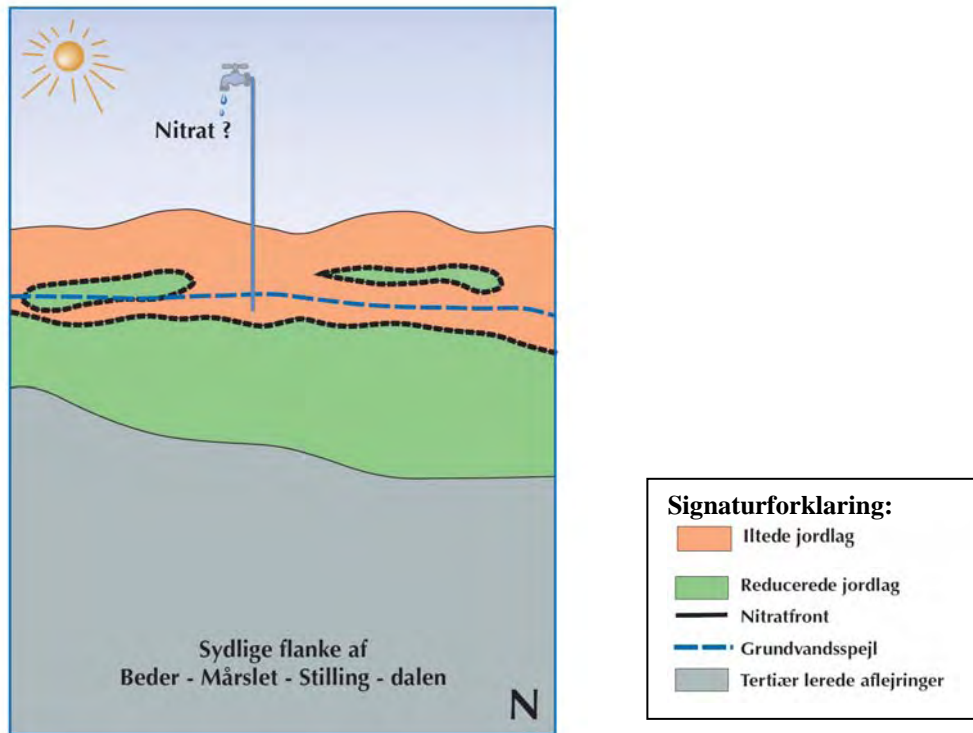
Figur 10.6.6 Kort som viser beliggenheden af område N med stor nitratsårbarhed. De mørkeblå cirkler til venstre på kortet viser placeringen af indvindingsboringerne tilhørende Ravnholt-Tiset Kildeplads (ÅKV). Tilsvarende viser de mørkeblå cirkler øverst på kortet ÅKV's boringer ved Østerby Kildeplads (Østerbyværket). Den lyseblå cirkel ved Testrup viser placeringen af Testrup Vandværks indvindingsboring.

Det er kun få oplysninger om nitratkoncentrationer og nitratfrontens beliggenhed i område N.

Nitratfronten ligger dybt i det lille område mod øst (N3), hvor den er fundet ca. 44 m under terræn. I den nordlige del af område N1 er nitratfronten fundet tæt på terræn (2-5 m under terræn). Desuden er der fundet reducerede jordlag over den dybeste nitratfront som tegn på en kompliceret grundvandsstrømning og risiko for kontakt til geologiske vinduer.

Der er vandanalyser fra en enkelt gartneriboring i området. Her er der fundet arsenrig, nitratfrit, reduceret og BAM-holdigt grundvand.

Der vil sandsynligvis være nitrat i det øvre grundvand flere steder i område N på grund af de tynde lerdæklag og forekomsten af geologiske vinduer.



Figur 10.6.7 Principskitse for område N med stor nitratsårbarhed.

11. Anbefalinger vedrørende den fremtidige overvågning og beskyttelse af grundvandsressourcen

I dette kapitel fremsættes en række konkrete forslag til overvågning af grundvandet i indsatsområderne Beder, Åbo, Stautrup, Storskoven og Østerby i Århus Syd-Fokusområdet. Det overordnede formål med overvågningen er at skabe et tilstrækkeligt fremtidigt datagrundlag, som gør det muligt at administrere vandindvindingen i indsatsområdet på et solidt og bæredygtigt grundlag.

De konkrete anbefalinger til overvågning af grundvandet i de 5 indsatsområder beskrives i dette kapitels afsnit 11.4. De konkrete anbefalinger indebærer udpegning af eksisterende boringer, der er fundet anvendelige til at belyse specifikke formål. Skulle disse boringer af en eller anden grund vise sig ikke at kunne benyttes, skal der etableres erstatningsboringer.

Udover de eksisterende boringer udpeges der også områder, hvor nye boringer hensigtsmæssigt kan placeres med tanke på fremtidig overvågning. Inden en ny overvågningsboring placeres i et af disse områder, anbefales det dog at afklare, om der allerede findes eksisterende og brugbare boringer.

Der tages i dette kapitel ikke stilling til overvågning i forhold til konkrete punktkilder og kendte forureninger, idet dette emne vil blive behandlet i indsatsplanerne for de enkelte indsatsområder.

Der er i dette kapitel foretaget en indramning af visse tekstafsnit, hvori anbefalinger og retningslinier for de handlinger er anført, som Århus Amt anbefaler foretaget af enten den ansvarlige myndighed eller vandværker.

Formål

Den anbefalede overvågning har til formål at beskytte grundvandsressourcen både med hensyn til mængde og kvalitet. Derfor er der behov for at følge variationer i grundvandsstanden, i de oppumpede vandmængder og i grundvandets kemiske sammensætning. Et andet vigtigt formål med dataindsamlingen er at kunne vurdere konsekvenserne af eksempelvis ændrede oppumpningsmønstre eller klimatiske forandringer på de vandmængder, der er til rådighed for vandforsyning.

Formålet med overvågning af grundvandsstanden er at indsamle oplysninger om variationer af grundvandsstand og indvindingsmængde, og dermed sikre at en eventuel overudnyttelse af grundvandsressourcerne i området bliver konstateret i tide. Systematiske observationer over variationer i såvel grundvandsstand som indvindingsmængde er en forudsætning for at kunne vurdere, om det er nødvendigt at foretage justeringer i det eksisterende indvindingsmønster. Disse data indsamles til dels allerede i dag på vandværkerne, men der er behov for en udbygning af omfanget af pejlinger, både med hensyn til antal filtre og pejlefrekvens.

Formålet med overvågning af grundvandets kemiske sammensætning er for det første at kunne lave effektmålinger af indsatsplanen. For det andet er det vigtigt at identificere uønskede udviklingstendenser som enten skyldes forurening fra arealanvendelsen eller for kraftig oppumpning, der påvirker grundvandskvaliteten negativt.

11.1 Overvågning af grundvandsstanden

De oppumpede vandmængder indberettes i dag af vandværkerne til kommunen, der videresender oplysningerne til den ansvarlige myndighed, jf. Vandforsyningsloven. Det er af afgørende betydning for administrationen af vandressourcen, at samtlige indvindinger indberettes korrekt hvert eneste år. Ansvar for fremskaffelsen af korrekte data ligger hos vandværkerne. Såfremt vandværket indvinder fra flere kildepladser, skal opgørelsen over de indvundne vandmængder som minimum foretages på kildepladsniveau dog helst på boringsniveau.

I indsatsområderne skal der suppleres med pejlepunkter, så der kan etableres et varslingsystem, der kan identificere uønskede ændringer i miljøtilstanden. Derigennem kan sikkerheden hæves med hensyn til de beslutninger, der træffes.

Endvidere er indsamling af pejledata fra både eksisterende og nyetablerede pejlepunkter vigtig for at kunne opdatere og udbygge datagrundlaget for opsætning af en grundvandsmodel. Nye indsamlede pejledata kan således dels medvirke til en vurdering af den opstillede models troværdighed, dels forbedre datagrundlaget i forbindelse med en justering/ny opstilling af en grundvandsmodel.

Overvågning af grundvandsstanden skal ske ved pejling i udvalgte, hensigtsmæssigt placerede boringer i området. Dette kan ske dels i særlige pejleboringer tilknyttet de enkelte vandværker, dels i strategisk placerede pejleboringer, der på et overordnet niveau dækker den samlede tilgængelige ressource i området. På denne måde dækkes såvel de allerede udnyttede magasiner som potentielt fremtidige indvindingsområder.

Det er af stor betydning for administrationen af vandressourcen, at de pejlinger, som vandværkerne selv udfører, også udføres korrekt jf. "Vejledning i registrering med boringsfikser og pejlepunkter, GEUS 2004", således at det er troværdige data der indberettes.

Pejlinger i pejleboringer foretages som udgangspunkt en gang årligt. Det bør dog overvejes at forsyne enkelte velvalgte pejleboringer med et permanent udstyr til kontinuert pejling, med henblik på at registrere sæsonmæssige udsving.

11.2 Overvågning af grundvandskvaliteten

Overvågningen af vandkvaliteten skal bygge på to elementer. For det første vandværkernes egenkontrol i produktionsboringer og pejleboringer og for det andet skal der, som led i indsatsplanerne etableres en særlig målrettet overvågning, for at dække alle relevante magasiner, der fødes fra de sårbare områder.

Overvågning af grundvandets kvalitet i de sårbare områder skal baseres på

- vandværkernes egenkontrol af indvindingsboringerne,
- en målrettet overvågning i andre af de eksisterende boringer, samt
- nyetablerede boringer, som er indrettet til overvågningsformål.

Det er af afgørende betydning for administrationen af vandressourcerne, at samtlige analyser fra vandværker (på nær driftsanalyser) indberettes til den ansvarlige myndighed via laboratorierne, og at vandværkerne lader alle data være tilgængelige for indberetning, også de der ligger ud over de lovpligtige analyser.

Tidsperspektivet

Overvågning af grundvandets kvalitet sker i rum og tid. Den rumlige overvågning bygger på den konfiguration af filtre, der udvælges til overvågningsformål. Den tidslige udvikling af vandkvaliteten skal identificeres ved en nøje fastlagt prøvetagningsstrategi, der sikrer en rimelig fastlæggelse af udgangspunkt og udviklingstendenser.

Da grundvandets kvalitet ændrer sig langsomt, idet der ofte kun sker en vertikal forskydning af grundvandet på 25-50 cm/år, skal der være en god overensstemmelse mellem prøvetagningsfrekvens og de forventede forandringshastigheder i selve grundvandet. Jo nærmere grundvandsspejlet en boring er filtersat, jo hurtigere kan forandringer i grundvandskvaliteten som følge af ændret arealanvendelse identificeres i vandprøverne. Dertil kommer, at variationer i grundvandsspejlet hen over året, og fra år til år, i et vist omfang kan medføre variationer i grundvandskvaliteten.

Det øverste nydannede grundvand har således størst behov for hyppig overvågning. Årlige analyser kan være nødvendige for at tilvejebringe et statistisk sikkert grundlag for at vurdere ændringer i grundvandets kvalitet. Det øverste nydannede grundvand er i denne rapport defineret som de øverste 5 meter af grundvandet.

Overvågningen af de øvre og nedre grundvandsmagasiner kan ske med væsentlig lavere hyppighed med analyser hvert 3. eller 5. år, idet eventuelle trends kobles til viden om udviklingstendenserne i det øverste nydannede grundvand.

I områder med opadrettet gradient (udstrømningsområder i f.eks. ådalene), giver det ikke mening at overvåge det nydannede grundvand, idet det nydannede grundvand her blandes med gammelt grundvand fra mange forskellige lag. Derimod kan der senere blive tale om at overvåge kvaliteten af det nydannede grundvand i et sådant område, hvis gradienten vendes som følge af vandindvinding.

Af hensyn til fastlæggelse af udgangskoncentrationen er det i alle filtre nødvendigt med hyppigere analyser i de første år. Her anbefales det at udtage prøver hvert halve år de første 2-3 år, idet det kræver 3-5 analyser at fastlægge en statistisk sikker udgangskvalitet.

Tilsvarende vil det som regel kræve mindst 5 analyser, før det er muligt at identificere en sikker udviklingstendens, hvilket med årlige analyser vil betyde, at det først efter 5-7 års overvågning er muligt at identificere sikre udviklingstendenser i grundvandet i forhold til udgangspunktet.

I tilfælde af en overskridelse af grænseværdier, anbefales det, at der bliver taget en ny prøve og lavet en ny analyse. Dermed undgås muligheden for at drage for vidtgående konklusioner på baggrund af en enkelt analyse, idet der kan foreligge en fejlanalyse.

Anbefalede analysehyppigheder:

Alle nyetablerede filtre: 2 årlige prøver i 2-3 år.

Øverste nydannede grundvand: prøvetagninger hvert år.

Øvre og nedre grundvandsmagasiner: prøvetagning hver 3. - 5. år

Kvalitetsovervågningens tre delelementer

Overvågning af grundvandskvaliteten består af 3 dele:

- Overvågning af udvaskning fra rodzonen
- Overvågning af det nydannede grundvand
- Overvågning i de øvre og nedre grundvandsmagasiner

Overvågning af udvaskning fra rodzonen

Overvågning af nitratudvaskningen kan direkte anvendes til effektmålinger af indsatsplanen.

Ved at overvåge udvaskningen af nitrat fra rodzonen i områderne med stor nitratsårbarhed kan fremtidens grundvandskvalitet vurderes. Overvågningen kan ske dels ved modelberegninger af udvaskningen i de sårbare områder, dels som faktiske målinger ved hjælp af sugeceller.

Det er den landbrugsmæssige analyse af nitratudvaskningen, der skal vise, om der er behov for at overvåge nitratudvaskningen f.eks. ved hjælp af sugeceller.

I det omfang, der overvåges med sugeceller, er det vigtigt, at der installeres tilstrækkeligt mange celler til at få et statistisk korrekt mål for udvaskningen, der varierer betragteligt hen over en mark. Derudover kan udvaskningen variere meget fra år til år, hvorfor der i modelsammenhæng er behov for udvaskningsberegninger ud fra såvel sande klimadata som for et standard klima.

Overvågning af det øverste nydannede grundvand

Grundvandet i de øverste 5 m under grundvandsspejlet betragtes som det nydannede grundvand.

Effektmålinger af indsatsplanerne og overvågning af grundvandet i de sårbare områder er særlig vigtig i dette øverste nydannede grundvand. Det er afgørende, at de overvågningsboringer, der skal monitorere en eventuel effekt af indsatsplanerne, er i hydraulisk kontakt med de arealer, der er i spil.

Det nydannede grundvand overvåges i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre magasin.

Den geologiske kompleksitet i Århus Syd-Fokusområdet er stor, og dermed er der vanskeligheder med at kortlægge vandets strømningsveje fra terræn og til grundvandsspejlet. Overvågning af det nydannede grundvand anbefales derfor, på nærmere udvalgte lokaliteter i områder med stor nitratsårbarhed, at bestå i overvågning af nitratudvaskningen fra rodzonen ved hjælp af sugeceller.

I det øverste nydannede grundvand anbefales det, at der analyseres for hovedbestanddele, pesticider, arsen og nikkel, og at grundvandsstanden pejles, når der udtages vandprøver.

Forud for etablering af boringer til overvågning af det nydannede grundvand, skal det undersøges, om områdets husholdningsboringer kan anvendes til samme formål. Kravspecifikation for husholdningsboringerne er den samme som for de nyetablerede boringer.

Ved etablering af nye boringer til overvågning af det nydannede grundvand, bør filteret placeres 1-2 meter under grundvandsspejlet af hensyn til variationer i grundvandsstanden. Filterlængden bør være 0,5 – 1 m af hensyn til prøvetagningen.

Overvågning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner

Grundvandet i niveauet 0 m – 20 m under grundvandsspejlet betragtes som det øvre grundvandsmagasin, heraf udgør de øverste 5 m det nydannede grundvand. Grundvandet dybere end 20 m under grundvandsspejlet henføres til det nedre grundvandsmagasin.

Til overvågning af de øvre og nedre magasiner er der udvalgt eksisterende boringer, hvor filteret er placeret mere end 5 m under grundvandsspejlet, og filteret højst er 5-6 meter langt. Boringer med meget lange filtre er udeladt på grund af risiko for opblanding af forskellige vandtyper.

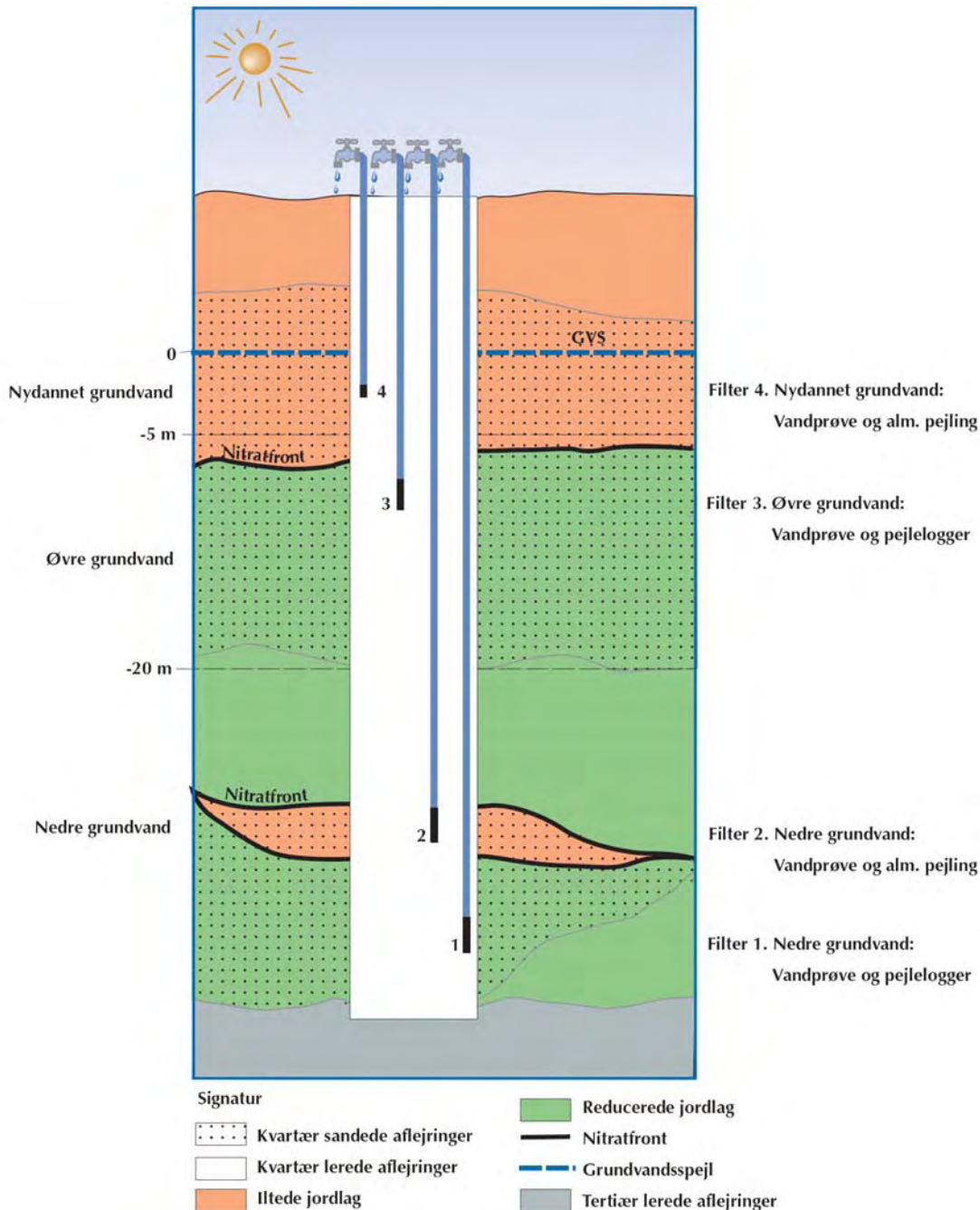
Ved inddragelse af eksisterende boringer og etablering af nye boringer er det meget vigtigt at sikre sig, at det filtersatte interval, hvorfra prøverne tages, er lokaliseret i relevante dele af de væsentligste magasiner.

Analyseprogrammet skal i det øvre og nedre grundvand bestå af analyser for hovedbestanddele, pesticider, arsen og nikkel. Det anbefales, at grundvandsstanden pejles, når der udtages vandprøver.

Vandressoucemyndigheden anbefales ca. hvert 5. år at udføre CFC-dateringer i overvågningsboringerne.

11. 3 Udbygning af nye overvågningsboringer

I figur 11.3.1 er der vist en principskitse over boringsudbygningen i nye overvågningsboringer. På principskitsen er det illustreret, hvordan flere filtre er placeret på forskellige borestammer, hvilket dermed muliggør vandstandsmålinger og vandprøvetagning fra forskellige magasinniveauer.



Figur 11.3.1 Principskitse af overvågningsboring til opfyldning af flere formål

Figur 11.3.1 viser ligeledes situationen, hvor der findes nitratholdigt vand i flere af de gennemborede niveauer. En målrettet filtersætning i overvågningsboringen vil sikre overvågningen af grundvandskvaliteten i boringen.

Nye overvågningsboringer i de øvre og nedre magasiner bør etableres med flere filtre, og filterlængder på højst 2 meter. Om muligt sættes det øverste filter i det øverste nydannede grundvand. Ved udtagning af vandprøver pejles grundvandsstanden. Der må kun sættes et filter på hver borestamme i en boring for at undgå kontaminering. En principskitse af en overvågningsboring er vist i figur 11.3.1.

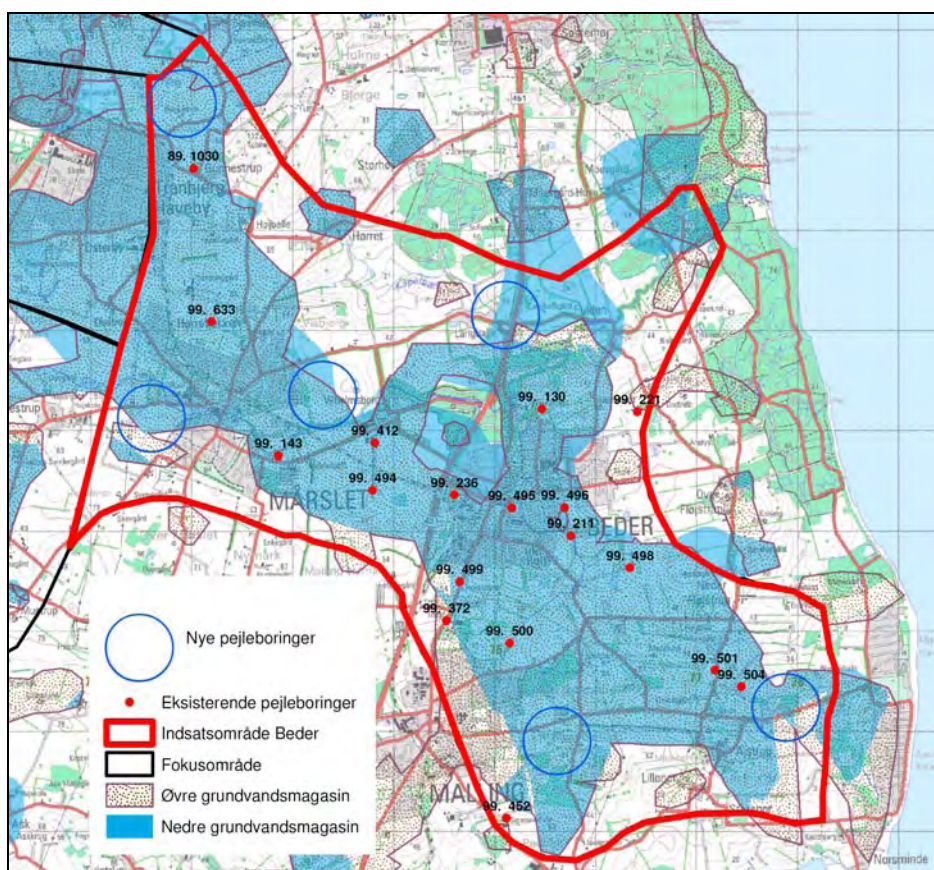
11. 4 Konkrete anbefalinger til overvågning i de enkelte indsatsområder

11.4.1 Indsatsområde Beder

Grundvandsstand

Der er i Indsatsområde Beder udpeget en række eksisterende borer, som anses for at være væsentlige i den fremtidige overvågning af grundvandsstanden i området og i forbindelse med ajourføringen af datagrundlaget til for eksempel en grundvandsmodel.

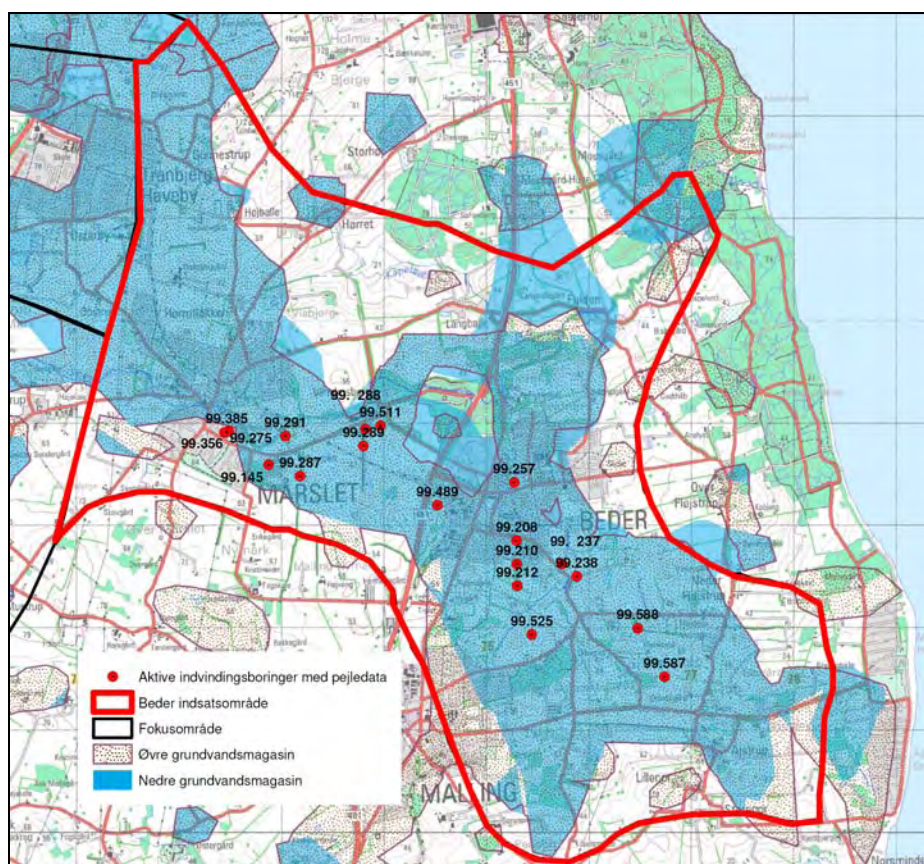
I figur 11.4.1 er der vist de eksisterende borer, der ikke er indvindingsboringer, og som fremover anbefales anvendt til regelmæssig pejling af enten det øvre eller nedre grundvandsmagasin. Samtlige af disse borer er lokaliseret og pejlet i forbindelse med en af de synkronpejlerunder, der er udført i området, ligesom filtterniveauet i borerne er kendt. Andre mulige pejlbare borer, som allerede i dag anvendes som observationsboringer, skal fortsat fungere. Her menes der observationsboringer, som ikke er illustreret på figur 11.4.1, og som til enhver tid vil være relevante i forhold til den aktuelle indvindingsituation med henblik på overvågning af vandstanden. En yderligere præcisering af hvilke af vandværkernes observationsboringer, der fortsat skal fungere, foretages i samarbejde mellem det enkelte vandværk og vandressourcemyndigheden.



Figur 11.4.1. Figuren viser dels placering af eksisterende borer, eksklusiv indvindingsboringer, som findes velegnede til pejling af grundvandsstanden og dels områder, hvor der er behov for yderligere pejleboringer.

De eksisterende pejlbare boringer i Indsatsområde Beder dækker dog ikke området optimalt, så der skal suppleres med yderligere et antal overvågningsboringer, hvis behovet for pejlinger fra områdets forskellige magasiner skal dækkes. De områder, hvor disse nye overvågningsboringer anbefales placeret, er vist i figur 11.4.1. Boringerne skal alle udbygges, så de samtidig kan anvendes til overvågning af grundvandets kvalitet.

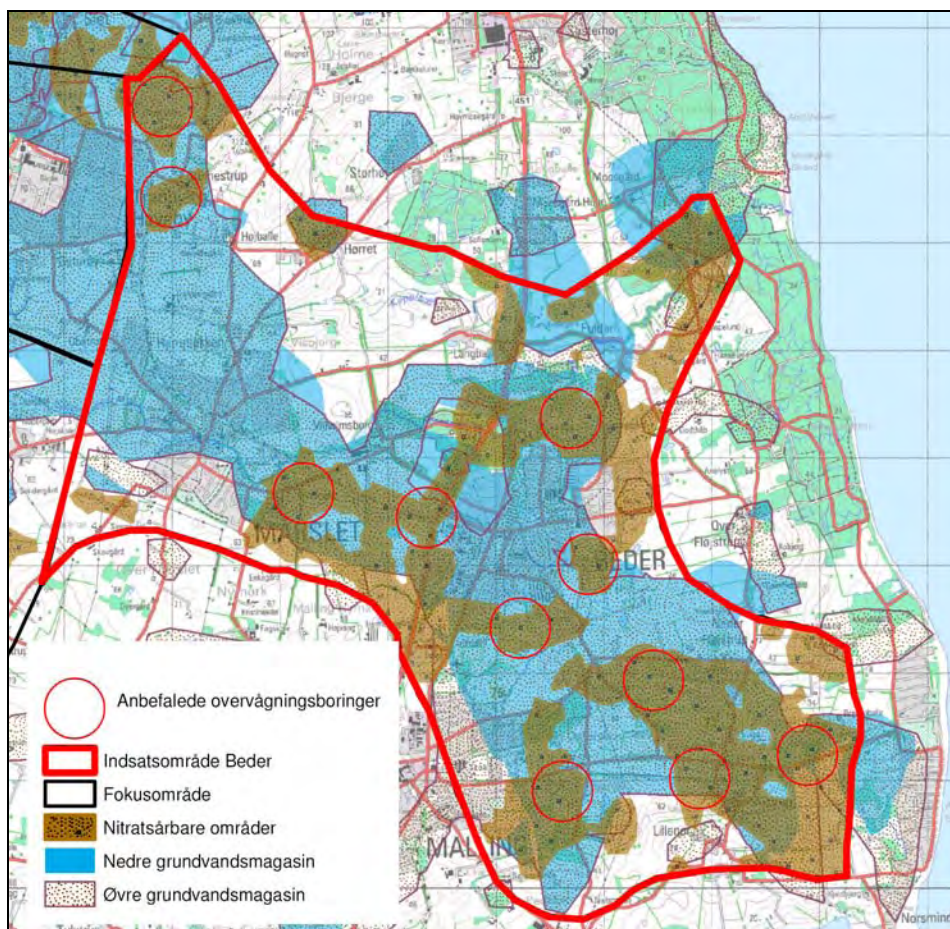
Fra en række indvindingsboringer eksisterer der allerede i dag pejledata, der mere eller mindre detaljeret viser variationer i grundvandsstanden over en tidsperiode. Disse boringer er udpeget for at sikre, at de fortsat pejles og for at sikre, at boringerne ikke sløjfes efter en eventuel nedlæggelse som indvindingsboringer. Dermed kan indsamlingen af pejledata, med henblik på at udbygge tidsserien, fortsættes (figur 11.4.2).



Figur 11.4.2 Figuren viser placeringen af indvindingsboringer med pejledata, hvor regelmæssige pejlinger anbefales udført, også selvom boringen nedlægges som indvindingsboring.

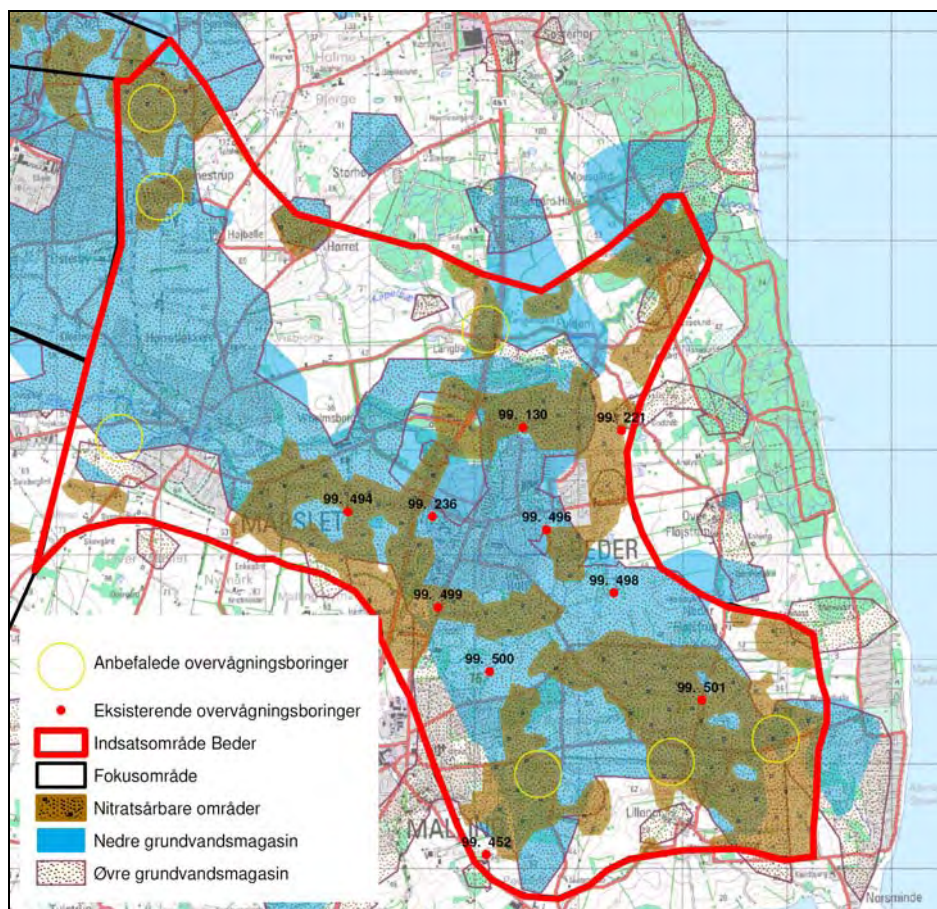
Grundvandskvalitet

På figur 11.4.3 vises de områder, hvor der skal etableres boringer til overvågning af det nydannede grundvand. De områder, hvor der foreslås etableret nye boringer, er placeret i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre grundvandsmagasin.



Figur 11.4.3. Figuren viser de områder, hvor der er behov for placering af boringer til overvågning af det øverste nydannede grundvand.

I figur 11.4.4 er der vist de eksisterende boringer i området, der ikke er indvindingsboringer, og som er anvendelige til prøvetagning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner. Ud over de eksisterende boringer er der ligeledes i figur 11.4.4 vist områder, hvor det anbefales at udføre supplerende boringer. Såvel de eksisterende boringer som de områder, hvor der skal udføres supplerende boringer, er beliggende i eller nær områderne med stor nitratsårbarhed, og de er tillige placeret opstrøms i forhold til eksisterende indvindingsboringer.



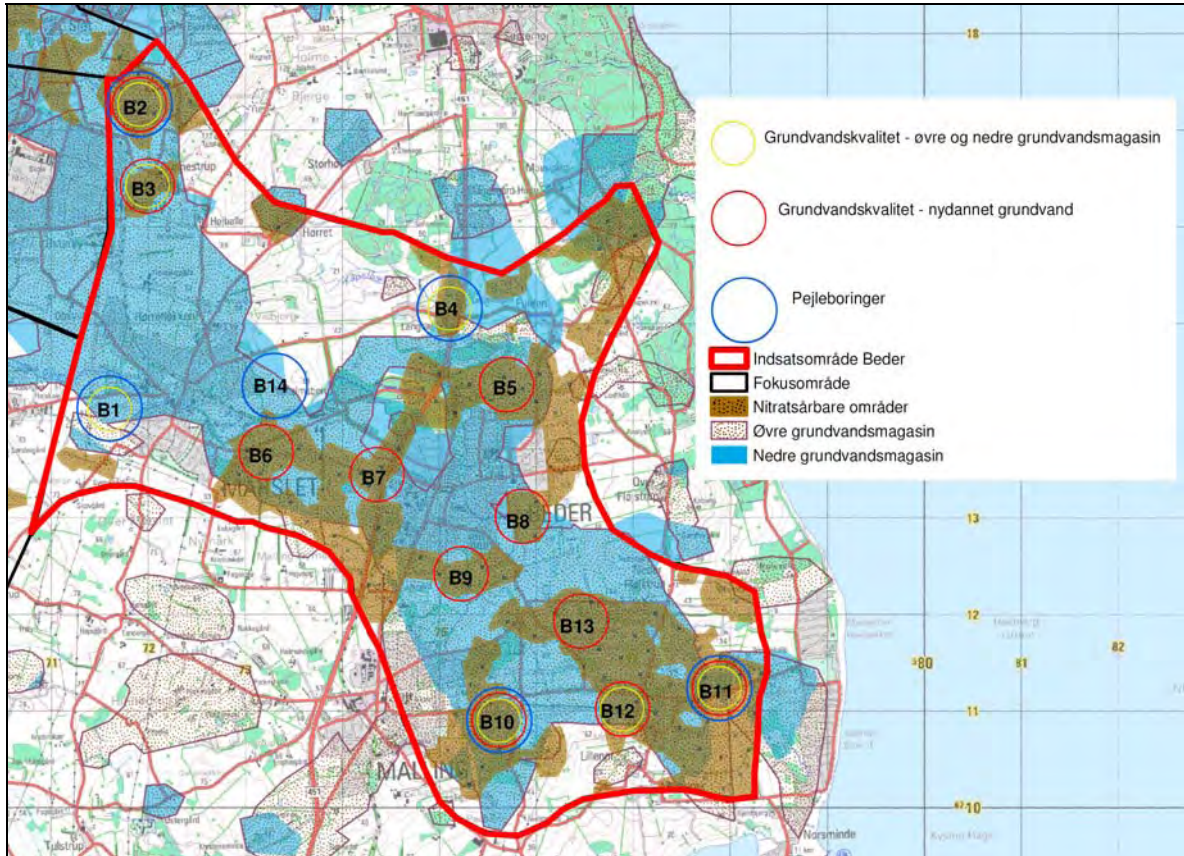
Figur 11.4.4. Figuren viser de boringer, der er velegnede til at udtage vandprøver med henblik på overvågning af grundvandskvaliteten i de øvre og nedre magasiner. Derudover vises de områder, hvor der skal placeres nye overvågningsboringer.

Afsluttende bemærkninger

De områder, hvor det er anbefalet at placere de nye supplerende undersøgelsesboringer til overvågning af enten grundvandsstanden eller grundvandskvaliteten, er flere steder sammenfaldende (figur 11.4.5).

Af de 14 nye anbefalede overvågningsboringer er 13 placeret i eller i nær tilknytning til et af områderne med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Beder. Den sidste boring anbefales anvendt til pejleboring. I tabel 11.4.1 er formålene med de nye overvågningsboringer sammenstillet med områderne med stor nitratsårbarhed. Det fremgår dermed for hvert enkelt sårbart område, om boringerne ønskes anvendt som en ren pejleboring eller, om de også skal anvendes til overvågning af det nydannede grundvand og/eller de øvre og nedre grundvandsmagasiner.

Det anbefales, at de nye overvågningsboringer så vidt muligt indrettes, så de kan opfylde flere formål, ligesom det er vigtigt at tage hensyn til eventuelle fremtidige ændringer i grundvandspejlet ved filterplaceringen.



Figur 11.4.5. Områder hvor der skal suppleres med borer til enten overvågning af grundvandsstand eller -kvalitet. Flere af områderne er sammenfaldende, og der kan således med fordel udføres en enkelt boring i disse områder, der opfylder samtlige formål.

Oversigt over anbefalede overvågningsboringer i Beder indsatsområde

Sårbare områder Borenr.	N B1	O B2	O B3	P B4	Q B5	Q B6	Q B7	Q B8	Q B9	R B10	S B11	S B12	S B13	udenfor B14
Pejleboringer	+	+		+						+	+			+
Nyddannet grundvand		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Øvre/nedre magasiner	+	+	+	+						+	+	+		

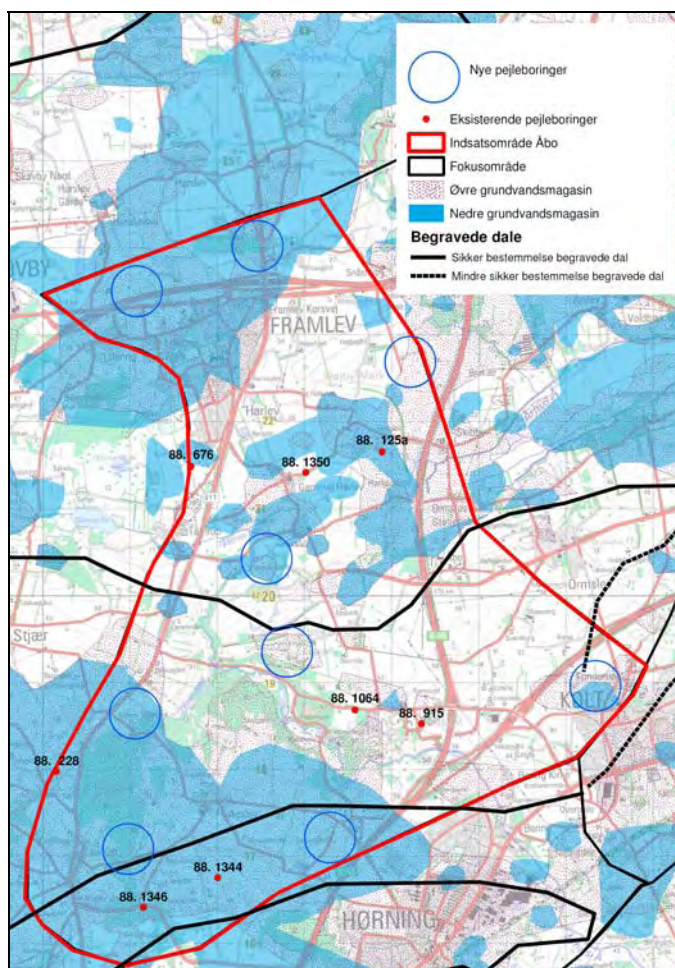
Tabel 11.4.1 Oversigt over de i alt 14 anbefalede nye overvågningsboringer i Indsatsområde Beder. Boringerne er nummereret og er angivet i forhold til det aktuelle område med stor nitratsårbarhed, hvori de skal etableres. Hvor der ved en boring er sat flere plusser, er det et udtryk for, at boringen har flere formål.

11.4.2. Indsatsområde Åbo

Grundvandsstand

Der er i Indsatsområde Åbo udpeget en række eksisterende boringer, som anses for at være væsentlige i den fremtidige overvågning af grundvandsstanden i området og i forbindelse med ajourføringen af datagrundlaget til for eksempel en grundvandsmodel.

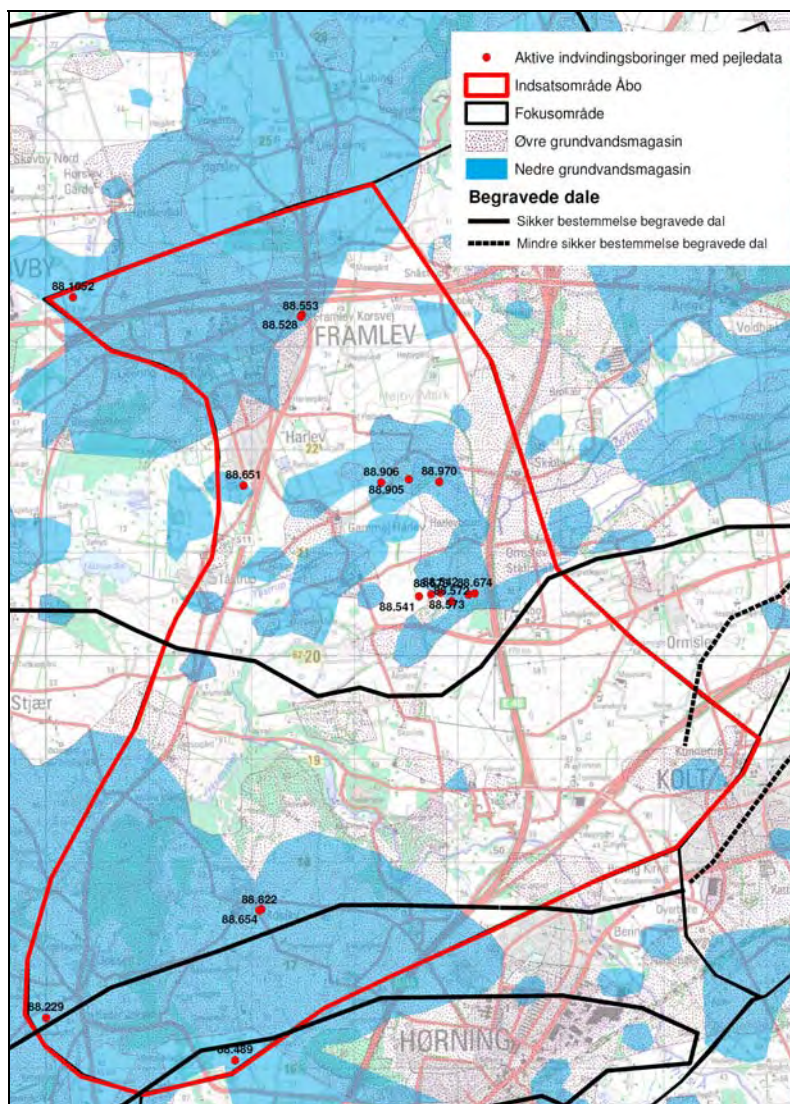
I figur 11.4.6 er der vist de eksisterende boringer, der ikke er indvindingsboringer, og som fremover anbefales anvendt til regelmæssig pejling af enten det øvre eller nedre grundvandsmagasin. Mange af disse boringer er lokaliseret og pejlet i forbindelse med en af de synkronpejlerunder, der er udført i området, ligesom filterniveauet i boringerne er kendt. Derudover fungerer boring med DGU nr. 88.1064 i dag som overvågningsboring ved Edslev Losseplads, og pejling af denne boring anbefales derfor koordineret med overvågningsprogrammet for lossepladsen. Andre mulige pejlbare boringer, som allerede i dag anvendes som observationsboringer, skal fortsat fungere. Her menes der observationsboringer, som ikke er illustreret på figur 11.4.6, og som til enhver tid vil være relevante i forhold til den aktuelle indvindingssituation med henblik på overvågning af vandstanden. En yderligere præcisering af hvilke af vandværkernes observationsboringer, der fortsat skal fungere, foretages i samarbejde mellem det enkelte vandværk og vandressourcemyndigheden.



Figur 11.4.6. Figuren viser dels placering af eksisterende boringer, eksklusiv indvindingsboringer, som findes velegnede til pejling af grundvandsstanden og dels områder, hvor der er behov for yderligere pejleboringer.

De eksisterende pejlbare boringer i Indsatsområde Åbo dækker dog ikke området optimalt, så der skal suppleres med yderligere et antal overvågningsboringer, hvis behovet for pejlinger fra områdets forskellige magasiner skal dækkes. De områder, hvor disse nye overvågningsboringer anbefales placeret, er vist i figur 11.4.6. Boringerne skal alle udbygges, så de samtidig kan anvendes til overvågning af grundvandets kvalitet.

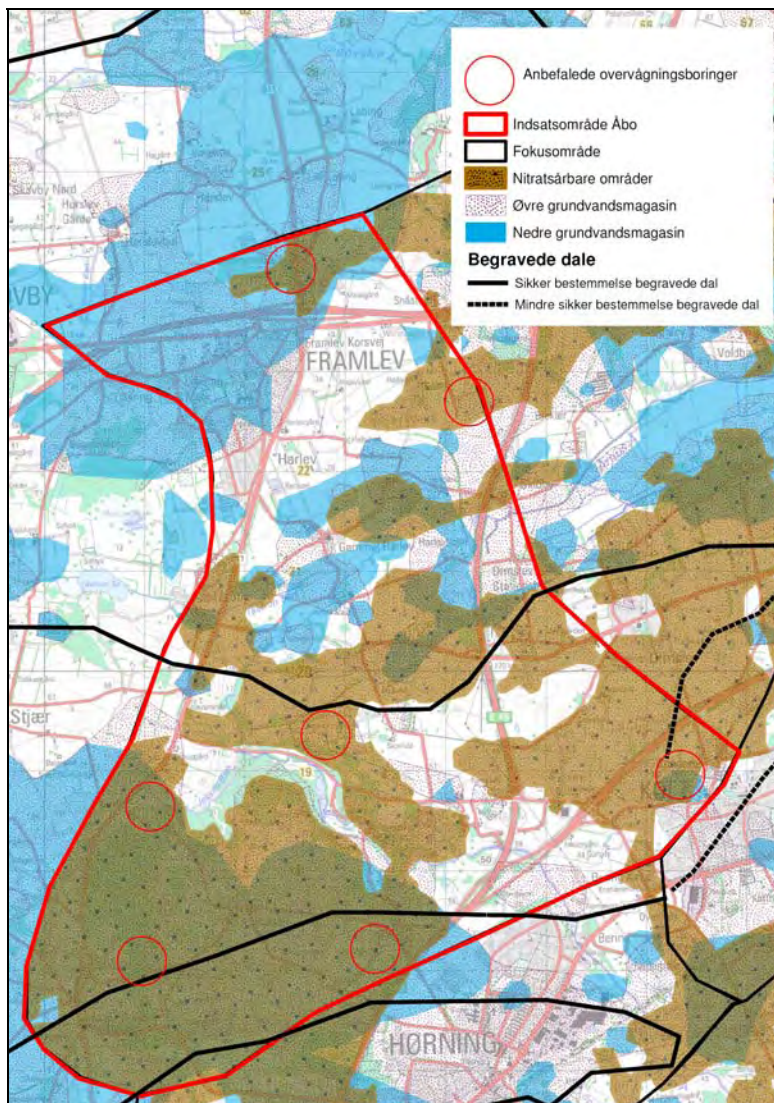
Fra en række indvindingsboringer eksisterer der allerede i dag pejledata, der mere eller mindre detaljeret viser variationer i grundvandsstanden over en tidsperiode. Disse boringer er udpeget for at sikre, at de fortsat pejles og for at sikre, at boringerne ikke sløjfes efter en eventuel nedlæggelse som indvindingsboringer. Dermed kan indsamlingen af pejledata, med henblik på at udbygge tidsserien, fortsættes (figur 11.4.7).



Figur 11.4.7 Figuren viser placeringen af indvindingsboringer med pejledata, hvor regelmæssige pejlinger anbefales udført, også selvom boringen nedlægges som indvindingsboring.

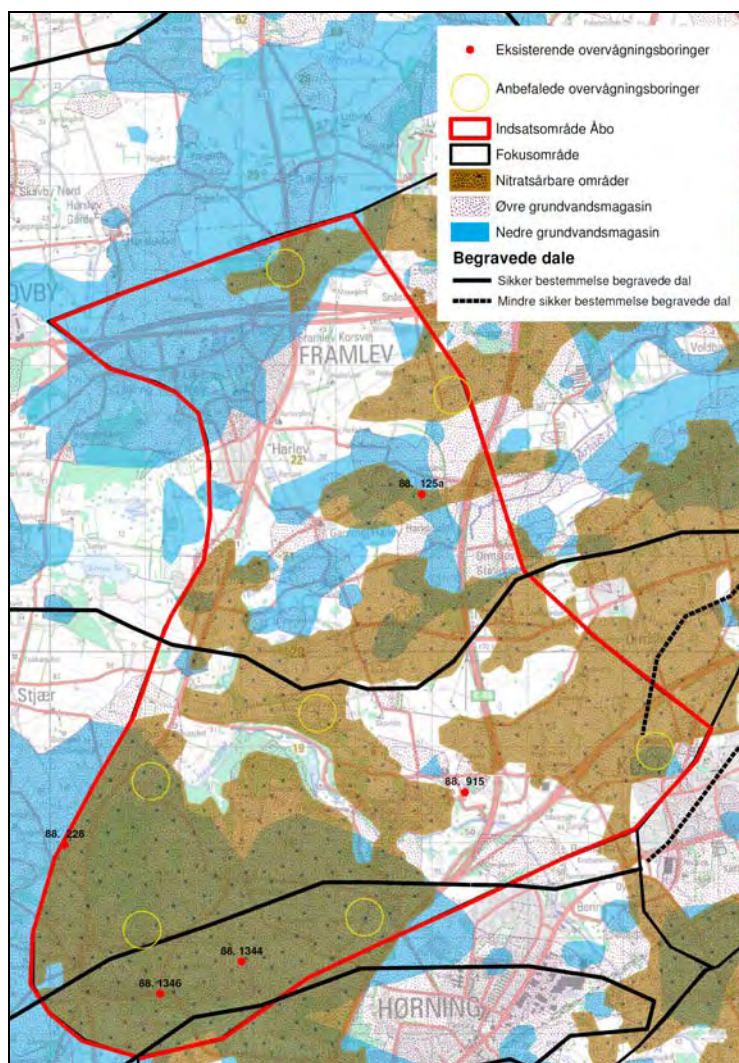
Grundvandskvalitet

På figur 11.4.8 vises de områder, hvor der skal etableres boringer til overvågning af det nydannede grundvand. De områder, hvor der foreslås etableret nye boringer, er placeret i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre grundvandsmagasin.



Figur 11.4.8 Figuren viser de områder, hvor der er behov for placering af boringer til overvågning af det nydannede grundvand.

I figur 11.4.9 er der vist de eksisterende boringer i området, der ikke er indvindingsboringer, og som er anvendelige til prøvetagning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner. Ud over de eksisterende boringer er der ligeledes i figur 11.4.9 vist områder, hvor det anbefales at udføre supplerende boringer. Såvel de eksisterende boringer som de områder, hvor der skal udføres supplerende boringer, er beliggende i eller nær områderne med stor nitratsårbarhed, og de er tillige placeret opstrøms i forhold til eksisterende indvindingsboringer.



Figur 11.4.9. Figuren viser de boringer, der er velegnede til at udtage vandprøver med henblik på overvågning af grundvandskvaliteten i de øvre og nedre magasiner. Derudover vises de områder, hvor der skal placeres nye overvågningsboringer.

Afsluttende bemærkninger

De områder, hvor det er anbefalet at placere de nye supplerende undersøgelsesboringer til overvågning af enten grundvandsstanden eller grundvandskvaliteten, er flere steder sammenfaldende (figur 11.4.10).

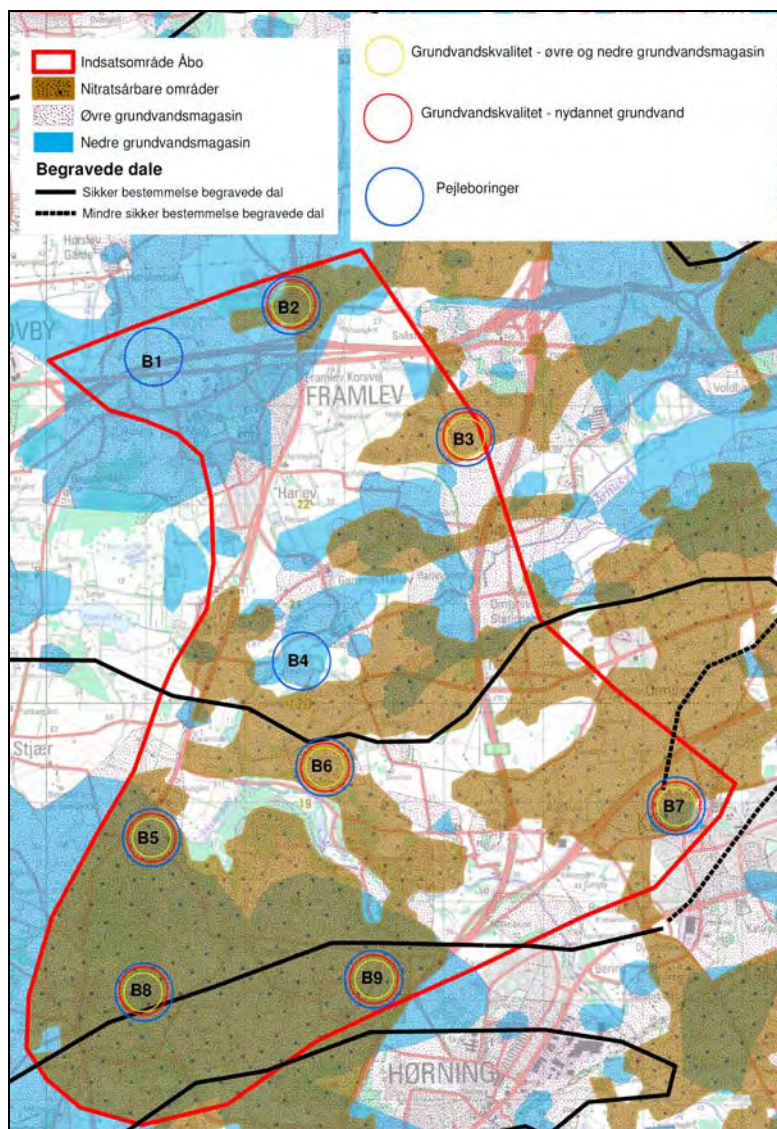
Af de 9 nye anbefalede overvågningsboringer er 7 placeret i eller i nær tilknytning til et af områderne med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Åbo. De resterende to boringer anbefales anvendt til pejleboringer. I tabel 11.4.2 er formålene med de nye overvågningsboringer sammenstillet med områderne med stor nitratsårbarhed. Det fremgår dermed for hvert enkelt sårbart område, om boringerne ønskes anvendt som en ren pejleboring eller, om de også skal anvendes til overvågning af det nydannede grundvand og/eller de øvre og nedre grundvandsmagasiner.

De anbefalede overvågningsboringer bør bores ned til den tertiære leroverflade, så der kan indhentes værdifuld viden om den komplekse geologiske opbygning i området. En viden, som f.eks. kan anvendes til en bedre styring af indvindingsstrukturen og opdatering af den geologiske model.

Det er i hvert enkelt tilfælde vandressourcemyndigheden, der skal tage stilling til, om en overvågningsboring skal uddybes.

Overvågningsboringer, hvor det vurderes, at der skal bores dybt, udføres i et samarbejde mellem vandværk og vandressourcemyndigheden, som endvidere bærer de økonomiske merudgifter forbundet med uddybningen.

Boringerne bør indrettes, så de kan opfylde flere formål og der skal tages hensyn til eventuelle fremtidige ændringer i grundvandsspejlet ved filterplaceringen.



Figur 11.4.10 Områder, hvor der skal suppleres med boringer til enten overvågning af grundvandsstand eller -kvalitet. Flere af områderne er sammenfaldende, og der kan således med fordel udføres en enkelt boring i disse områder, der opfylder samtlige formål.

Oversigt over anbefalede overvågningsboringer i Indsatsområde Åbo

Sårbare områder Borenr.	udenfor B1	A B2	C B3	udenfor B4	H B5	E B6	F B7	H B8	I B9
Pejleboringer	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Nydannet grundvand		+	+		+	+	+	+	+
Øvre/nedre magasiner		+	+		+	+	+	+	+

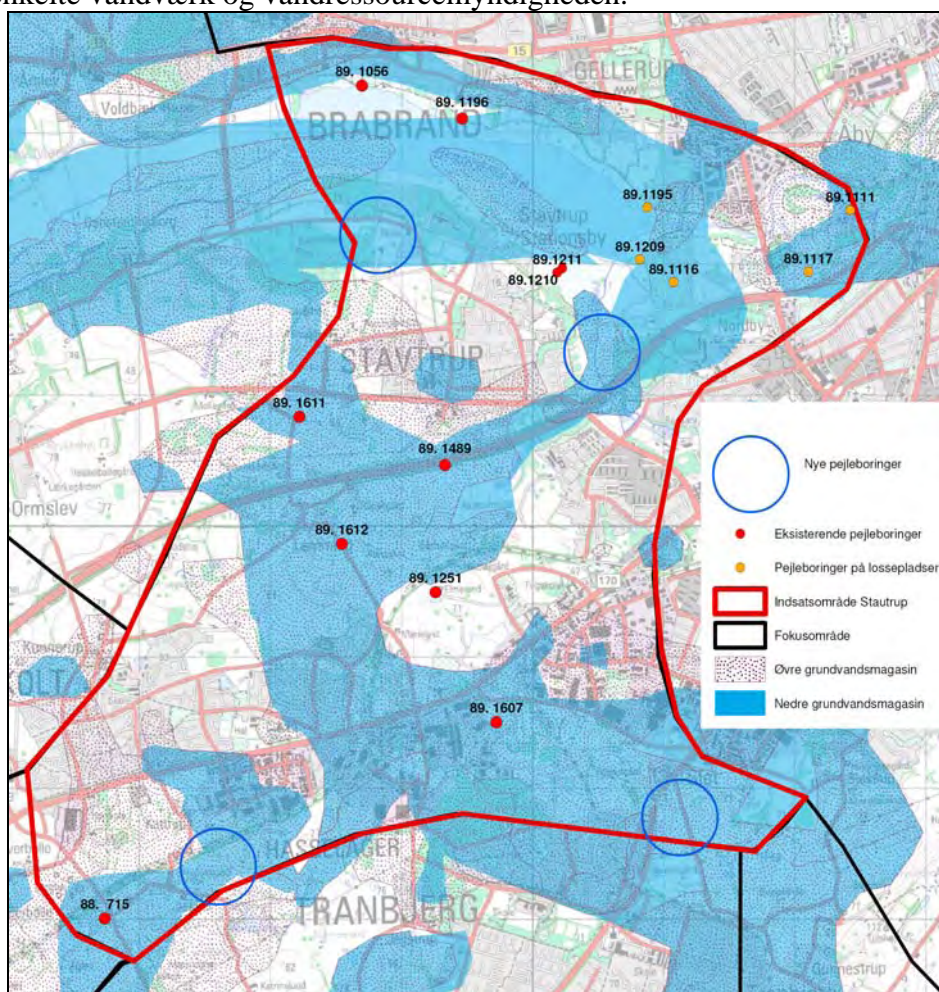
Tabel 11.4.2 Oversigt over de i alt 9 anbefalede nye overvågningsboringer i Indsatsområde Åbo. Boringerne er nummereret og er angivet i forhold til det aktuelle område med stor nitratsårbarhed, hvori de skal etableres. Hvor der ved en boring er sat flere plusser, er det et udtryk for, at boringen har flere formål.

11.4.3 Indsatsområde Stautrup

Grundvandsstand

Der er i Indsatsområde Stautrup udpeget en række eksisterende boringer, som anses for at være væsentlige i den fremtidige overvågning af grundvandsstanden i området og i forbindelse med ajourføringen af datagrundlaget til for eksempel en grundvandsmodel.

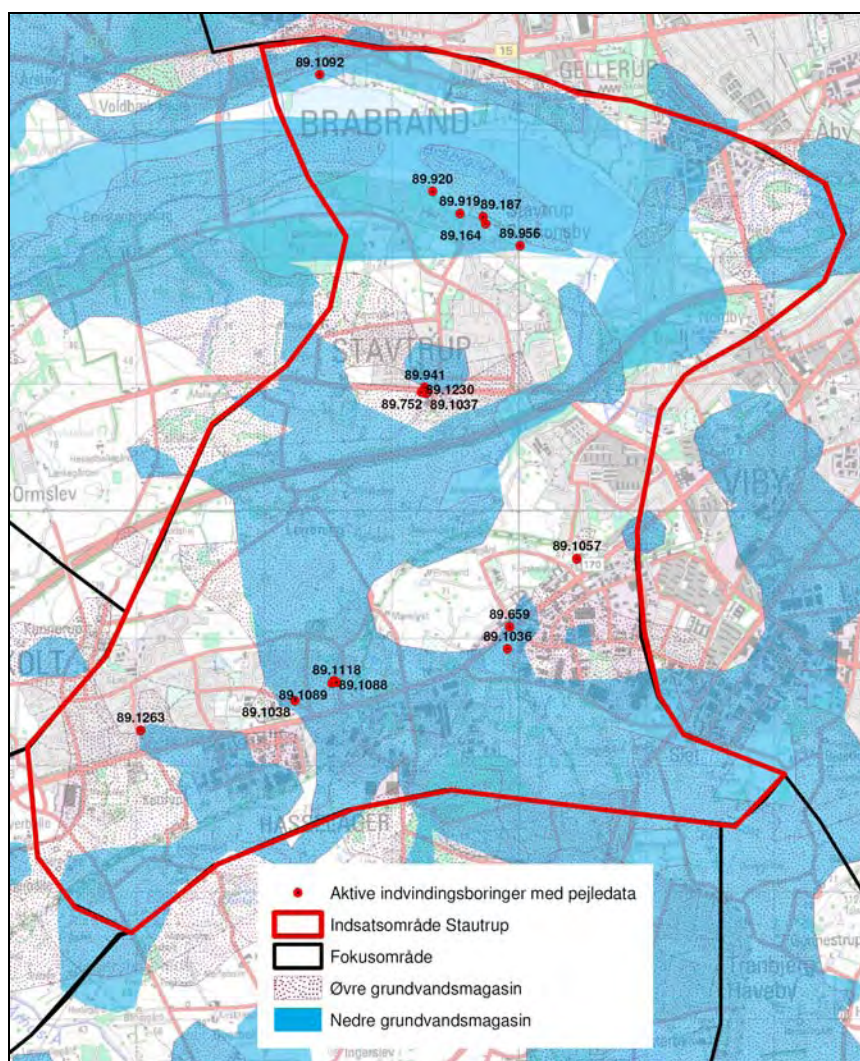
I figur 11.4.11 er der vist de eksisterende boringer, der ikke er indvindingsboringer, og som fremover anbefales anvendt til regelmæssig pejling af enten det øvre eller nedre grundvandsmagasin. Mange af disse boringer er lokaliseret og pejlet i forbindelse med en af de synkronpejlerunder, der er udført i området, ligesom filterniveauet i boringerne er kendt. Derudover fungerer en del af de udpegede boringer i dag som overvågningsboringer ved Eskelund og Rugholm lossepladser, og pejling af disse boringer anbefales koordineret med overvågningsprogrammet for lossepladserne. Andre mulige pejlbare boringer, som allerede i dag anvendes som observationsboringer, skal fortsat fungere. Her menes der observationsboringer, som ikke er illustreret på figur 11.4.11, og som til enhver tid vil være relevante i forhold til den aktuelle indvindingsituation med henblik på overvågning af vandstanden. En yderligere præcisering af hvilke af vandværkernes observationsboringer, der fortsat skal fungere, foretages i samarbejde mellem det enkelte vandværk og vandressourcemyndigheden.



Figur 11.4.11. Figuren viser dels placering af eksisterende boringer, eksklusiv indvindingsboringer, som findes velegnede til pejling af grundvandsstanden og dels områder, hvor der er behov for yderligere pejleboringer.

De eksisterende pejlbare boringer i Indsatsområde Stautrup dækker dog ikke området optimalt, så der skal suppleres med yderligere et antal overvågningsboringer, hvis behovet for pejlinger fra områdets forskellige magasiner skal dækkes. De områder, hvor disse nye overvågningsboringer anbefales placeret, er vist i figur 11.4.11. Boringerne skal alle udbygges, så de samtidig kan anvendes til overvågning af grundvandets kvalitet.

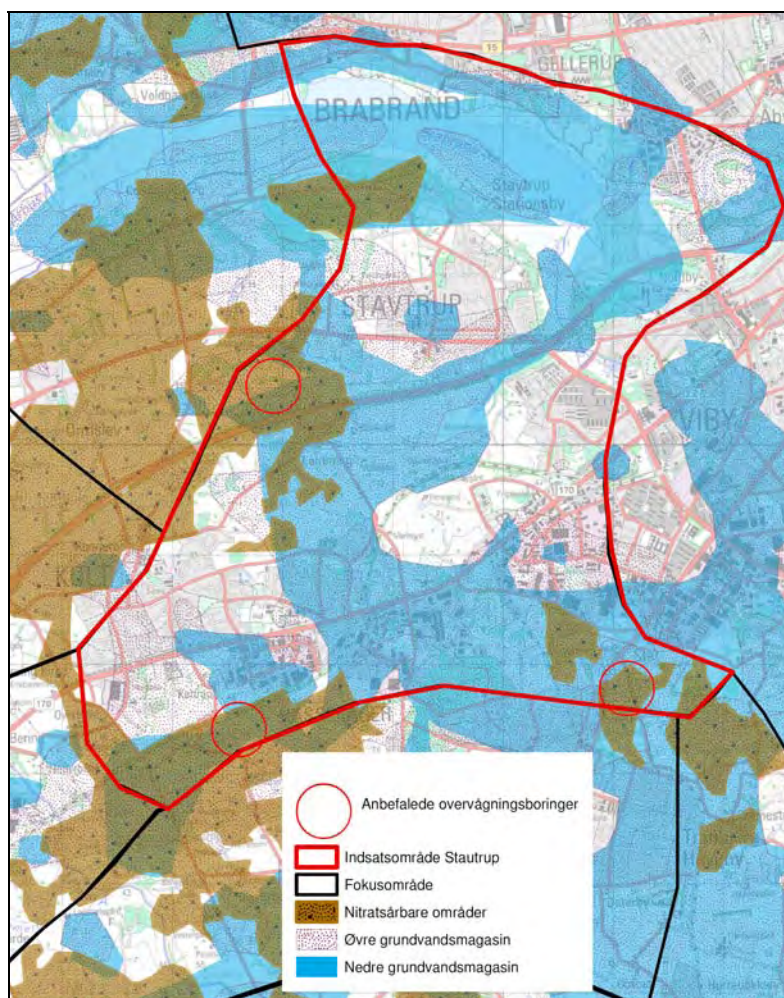
Fra en række indvindingsboringer eksisterer der allerede i dag pejledata, der mere eller mindre detaljeret viser variationer i grundvandsstanden over en tidsperiode. Disse boringer er udpeget for at sikre, at de fortsat pejles og for at sikre, at boringerne ikke sløjfes efter en eventuel nedlæggelse som indvindingsboringer. Dermed kan indsamlingen af pejledata, med henblik på at udbygge tidsserien, fortsættes (figur 11.4.12).



Figur 11.4.12 Figuren viser placeringen af indvindingsboringer med pejledata, hvor regelmæssige pejlinger anbefales udført, også selvom boringen nedlægges som indvindingsboring.

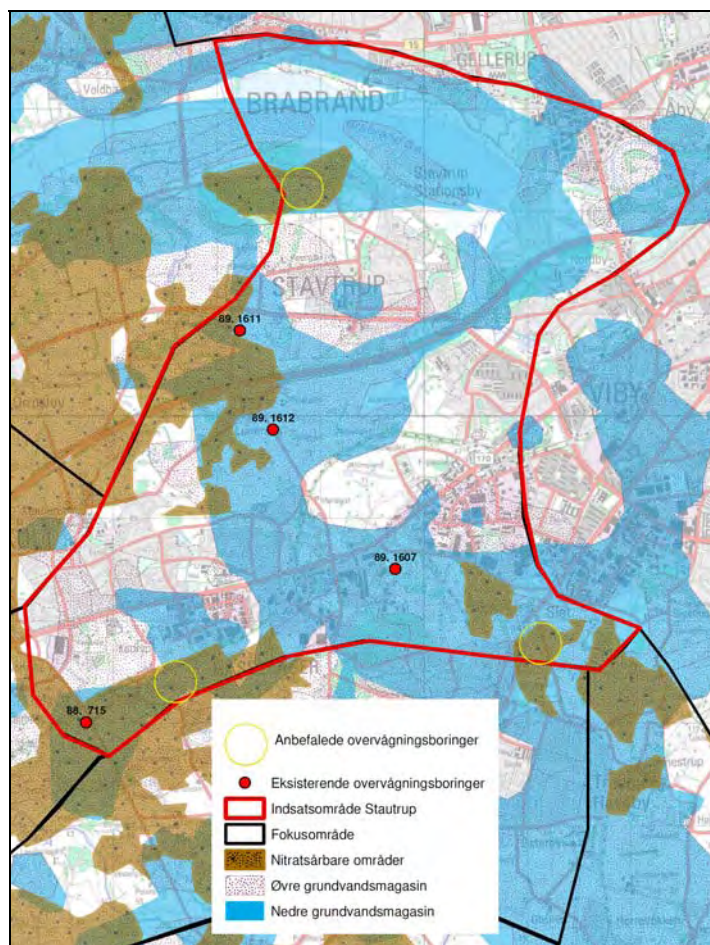
Grundvandskvalitet

På figur 11.4.13 vises de områder, hvor der skal etableres boringer til overvågning af det nydannede grundvand. De områder, hvor der foreslås etableret nye boringer, er placeret i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre grundvandsmagasin.



Figur 11.4.13 Figuren viser de områder, hvor der er behov for placering af boringer til overvågning af det nydannede grundvand.

I figur 11.4.14 er der vist de eksisterende boringer i området, der ikke er indvindingsboringer, og som er anvendelige til prøvetagning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner. Ud over de eksisterende boringer er der ligeledes i figur 11.4.14 vist områder, hvor det anbefales at udføres supplerende boringer. Såvel de eksisterende boringer som de områder, hvor der skal udføres supplerende boringer, er beliggende i eller nær områderne med stor nitratsårbarhed, og de er tillige placeret opstrøms i forhold til eksisterende indvindingsboringer.



Figur 11.4.14. Figuren viser de borer, der er velegnede til at udtage vandprøver med henblik på overvågning af grundvandskvaliteten i de øvre og nedre magasiner. Derudover vises de områder, hvor der skal placeres nye overvågningsboringer.

Afsluttende bemærkninger

De områder, hvor det er anbefalet at placere de nye supplerende undersøgelsesboringer til overvågning af enten grundvandsstanden eller grundvandskvaliteten, er flere steder sammenfaldende (figur 11.4.15).

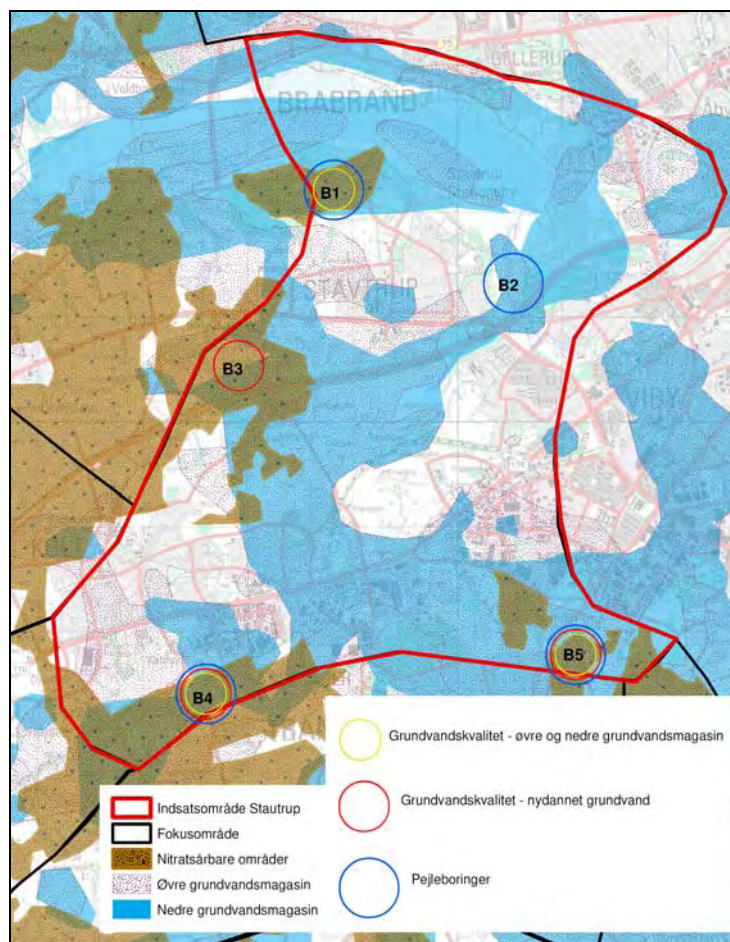
Af de 5 nye anbefalede overvågningsboringer er 4 placeret i eller i nær tilknytning til et af områderne med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Stautrup. Den sidste boring anbefales anvendt til pejleboring. I tabel 11.4.3 er formålene med de nye overvågningsboringer sammenstillet med områderne med stor nitratsårbarhed. Det fremgår dermed for hvert enkelt sårbart område, om borerne ønskes anvendt som en ren pejleboring eller, om de også skal anvendes til overvågning af det nydannede grundvand og/eller de øvre og nedre grundvandsmagasiner.

Inden for eller i nærområdet til Stautrup Indsatsområde er der kun få borer, som er nået ned til den tertiære leroverflade. For langt de fleste indvindingsboringers vedkommende er grundvandsmagasinet, hvorfra der indvindes, ikke gennemboret. Den nuværende viden om de dybe dele af de begravede dalstrukturer stammer hovedsagelig fra geofysiske undersøgelser. Det betyder, at de overordnede strukturer i indsatsområdet er kendte, men at den mere detaljerede viden om magasinets bund og interne sammensætning er mindre godt beskrevet. Ved at bore anbefalede

boringer ned den til tertiære leroverflade kan der indhentes værdifuld viden om disse forhold. En viden, som f.eks. kan anvendes til en bedre styring af indvindingsstrukturen og opdatering af den geologiske model. Det er i hvert enkelt tilfælde vandressourcemyndigheden, der skal tage stilling til, om en overvågningsboring skal uddybes.

Overvågningsboringer, hvor det vurderes, at der skal bores dybt, foretages i et samarbejde mellem vandværk og vandressourcemyndigheden, som endvidere bærer de økonomiske merudgifter forbundet med uddybningen.

Boringerne bør indrettes, så de kan opfylde flere formål og der skal tages hensyn til eventuelle fremtidige ændringer i grundvandspejlet ved filterplaceringen.



Figur 11.4.15. Områder hvor der skal suppleres med boringer til enten overvågning af grundvandsstand eller -kvalitet. Flere af områderne er sammenfaldende, og der kan således med fordel udføres en enkelt boring i disse områder, der opfylder samtlige formål.

Oversigt over anbefalede overvågningsboringer i Indsatsområde Stautrup

Sårbare områder Borenr.	U B1	udenfor B2	G B3	J B4	O B5
Pøjleboringer	+	+		+	+
Nydannet grundvand			+	+	+
Øvre/nedre magasiner	+			+	+

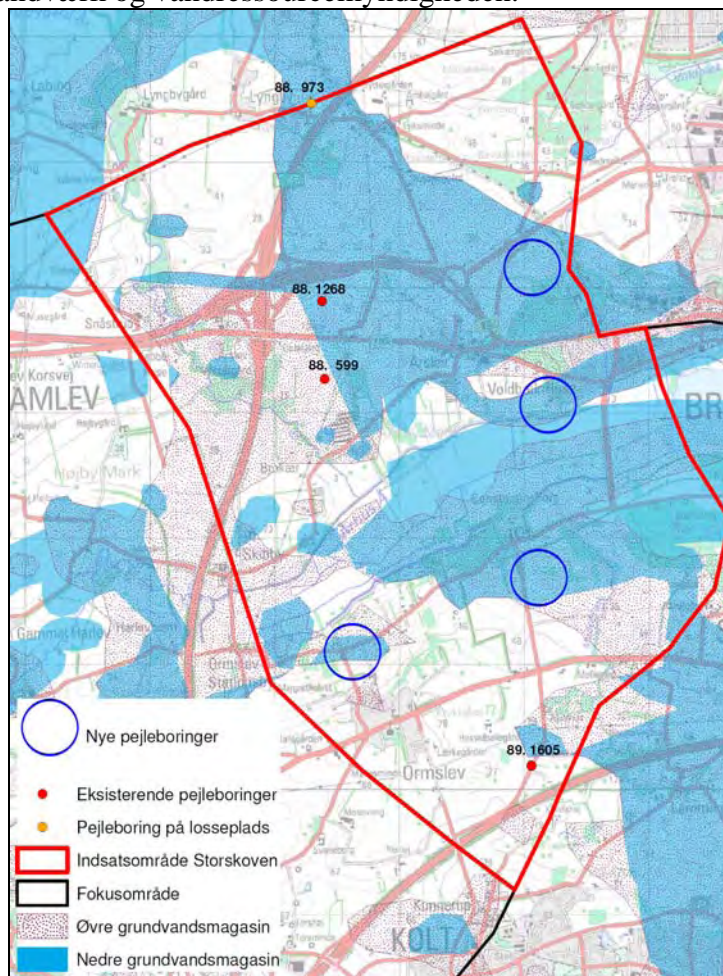
Tabel 11.4.3 Oversigt over de i alt 5 anbefalede nye overvågningsboringer i Indsatsområde Stautrup. Boringerne er nummereret og er angivet i forhold til det aktuelle område med stor nitratsårbarhed, hvori de skal etableres. Hvor der ved en boring er sat flere plusser, er det et udtryk for, at boringen har flere formål.

11.4.4 Indsatsområde Storskoven

Grundvandsstand

Der er i Indsatsområde Storskoven udpeget en række eksisterende boringer, som anses for at være væsentlige i den fremtidige overvågning af grundvandsstanden i området og i forbindelse med ajourføringen af datagrundlaget til for eksempel en grundvandsmodel.

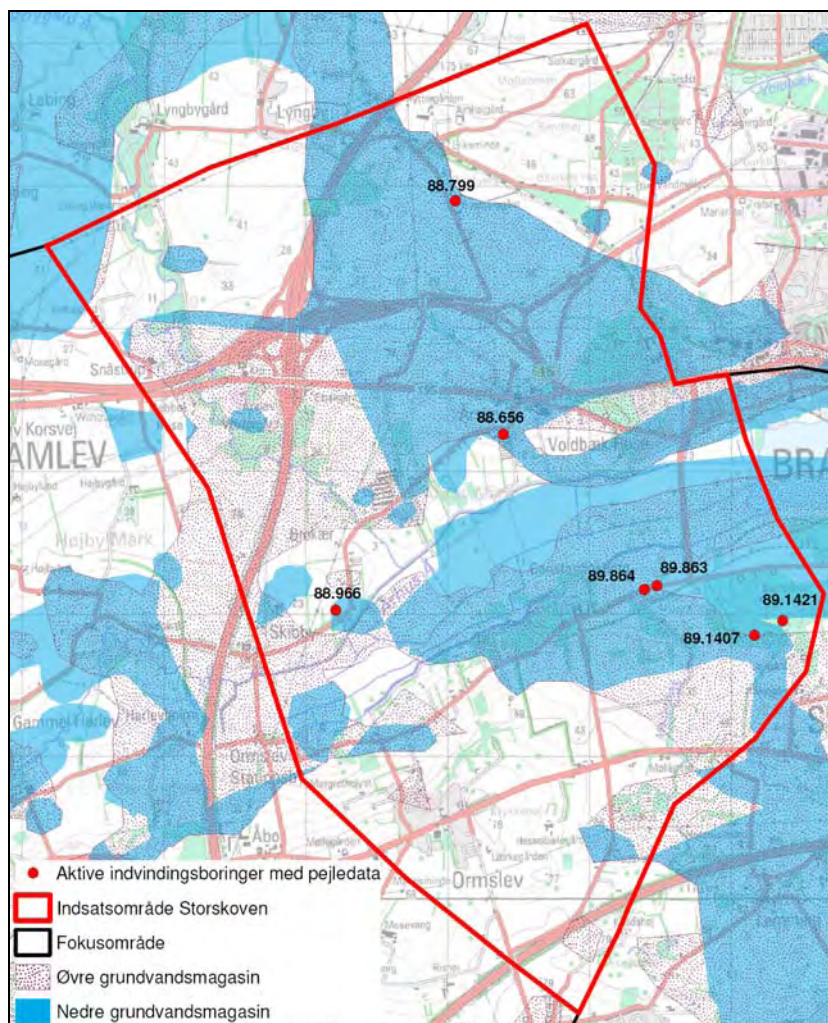
I figur 11.4.16 er der vist de eksisterende boringer, der ikke er indvindingsboringer, og som fremover anbefales anvendt til regelmæssig pejling af enten det øvre eller nedre grundvandsmagasin. Flere af disse boringer er lokaliseret og pejlet i forbindelse med en af de synkronpejlerunder, der er udført i området, ligesom filterniveauet i boringerne er kendt. Derudover fungerer en enkelt af de udpegede boringer i dag som overvågningsboring ved Glamhøjvej losseplads, og pejling af denne boring anbefales koordineret med overvågningsprogrammet for lossepladsen. Andre mulige pejlbare boringer, som allerede i dag anvendes som observationsboringer, skal fortsat fungere. Her menes der observationsboringer, som ikke er illustreret på figur 11.4.16, og som til enhver tid vil være relevante i forhold til den aktuelle indvindingsituation med henblik på overvågning af vandstanden. En yderligere præcisering af hvilke af vandværkernes observationsboringer, der fortsat skal fungere, foretages i samarbejde mellem det enkelte vandværk og vandressourcemyndigheden.



Figur 11.4.16 Figuren viser dels placering af eksisterende boringer, eksklusiv indvindingsboringer, som findes velegnede til pejling af grundvandsstanden og dels områder, hvor der er behov for yderligere pejleboringer.

De eksisterende pejlbare boringer i Indsatsområde Storskoven dækker dog ikke området optimalt, så der skal suppleres med yderligere et antal overvågningsboringer, hvis behovet for pejlinger fra områdets forskellige magasiner skal dækkes. De områder, hvor disse nye overvågningsboringer anbefales placeret, er vist i figur 4.11.16. Boringerne anbefales alle udbygget, så der samtidig vil kunne tages vandprøver.

Fra en række indvindingsboringer eksisterer der allerede i dag pejledata, der mere eller mindre detaljeret viser variationer i grundvandsstanden over en tidsperiode. Disse boringer er udpeget for at sikre, at de fortsat pejles og for at sikre, at boringerne ikke sløjfes efter en eventuel nedlæggelse som indvindingsboringer. Dermed kan indsamlingen af pejledata, med henblik på at udbygge tidsserien, fortsættes (figur 4.11.17).

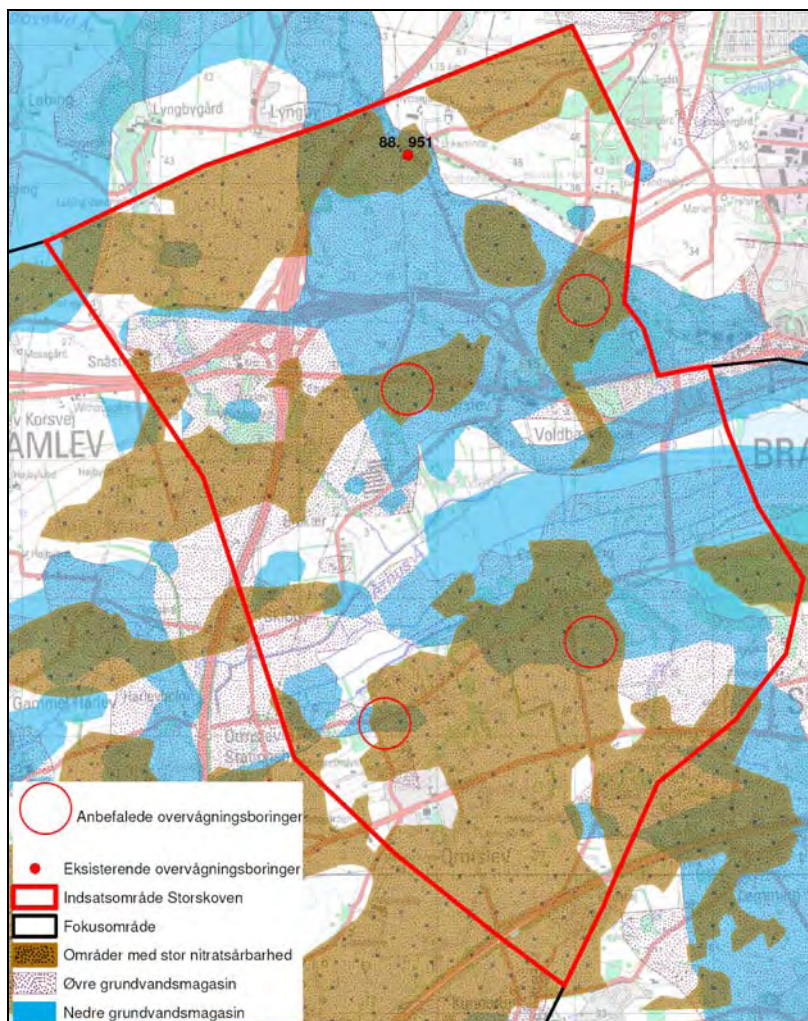


Figur 4.11.17. Figuren viser placeringen af indvindingsboringer med pejledata, hvor regelmæssige pejlinger anbefales udført, også selvom boringen nedlægges som indvindingsboring.

Grundvandskvalitet

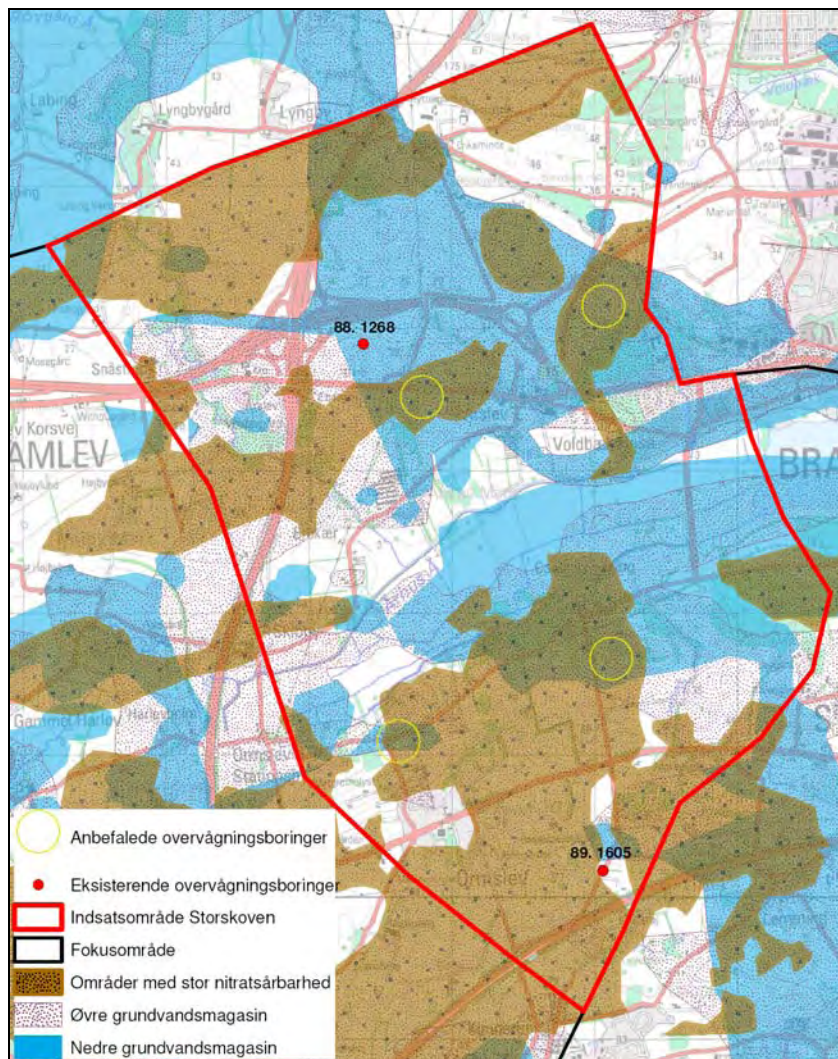
På figur 4.11.18 vises de områder, hvor der skal etableres boringer til overvågning af det nydannede grundvand, samt beliggenheden af en enkelt eksisterende og anvendelig boring. De områder, hvor

der foreslås etableret nye borer, er placeret i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre grundvandsmagasin.



Figur 11.4.18. Figuren viser de områder, hvor der er behov for placering af borer til overvågning af det nydannede grundvand.

I figur 11.4.19 er der vist to eksisterende borer i området, der ikke er indvindingsboringer, og som er anvendelige til prøvetagning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner. Ud over de eksisterende borer er der ligeledes i figur 11.4.19 vist områder, hvor det anbefales at udføre supplerende borer. Såvel de eksisterende borer som de områder, hvor der skal udføres supplerende borer, er beliggende i eller nær områder med stor nitratsårbarhed, og de er tillige placeret opstrøms i forhold til eksisterende indvindingsboringer.



Figur 11.4.19. Figuren viser de boringer, der er velegnede til at udtage vandprøver med henblik på overvågning af grundvandskvaliteten i de øvre og nedre magasiner. Derudover vises de områder, hvor der skal placeres nye overvågningsboringer.

Afsluttende bemærkninger

De områder, hvor det er anbefalet at placere de nye supplerende undersøgelsesboringer til overvågning af enten grundvandsstanden eller grundvandskvaliteten, er flere steder sammenfaldende (figur 11.4.20).

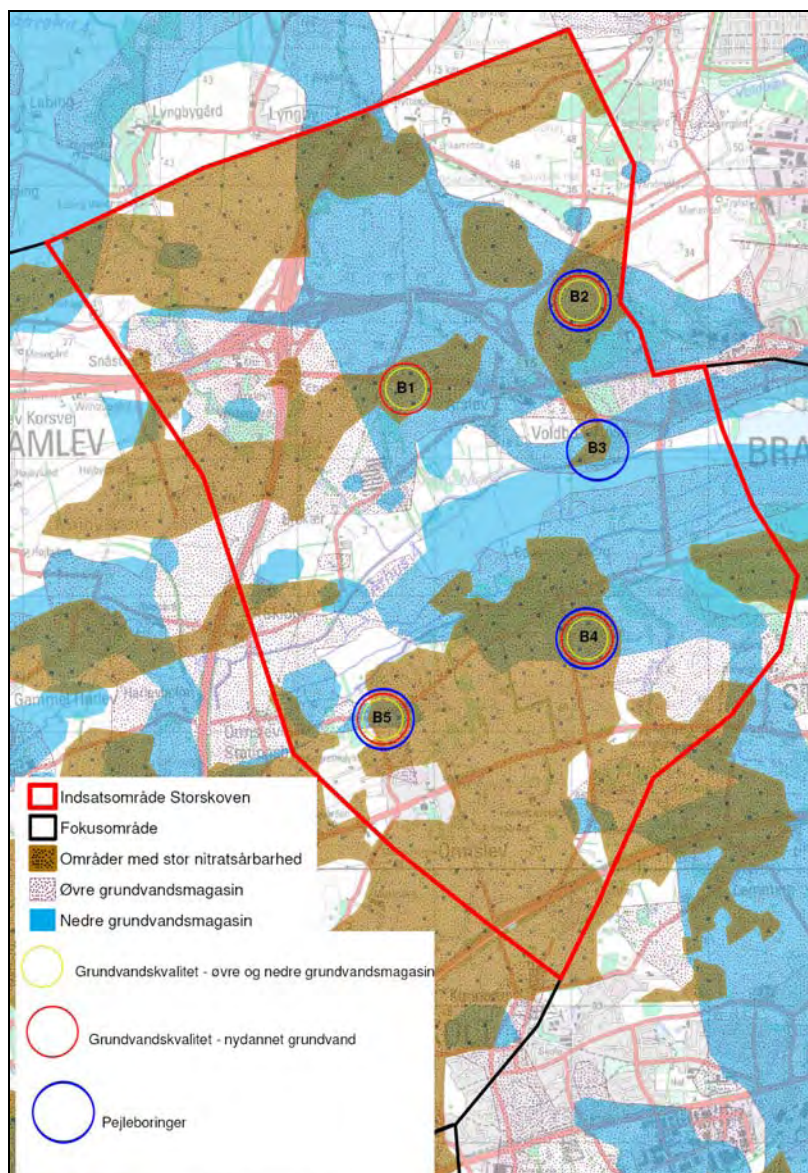
De 5 nye anbefalede overvågningsboringer er placeret i områder i Indsatsområde Storskoven med stor nitratsårbarhed. I tabel 11.4.4 er formålene med de nye overvågningsboringer sammenstillet med de aktuelle områder med stor nitratsårbarhed. Det fremgår dermed for hvert enkelt sårbare område, om boringerne ønskes anvendt som en ren pejleboring eller, om de også skal anvendes til overvågning af det nydannede grundvand og/eller de øvre og nedre grundvandsmagasiner.

I Indsatsområde Storskoven er der i dag en rimelig dækning med boringer, der gennemborer den kvartære lagserie. Dog kan der ved at bore de anbefalede boringer ned til den tertiære leroverflade indhentes værdifuld viden om den komplekse geologiske opbygning i området. En viden, som f.eks. kan anvendes til en bedre styring af indvindingsstrukturen og opdatering af den geologiske model.

Det er i hvert enkelt tilfælde vandressourcemyndigheden, der skal tage stilling til, om en overvågningsboring skal uddybes.

Overvågningsboringer, hvor det vurderes, at der skal bores dybt, udføres i et samarbejde mellem vandværk og vandressourcemyndigheden, som endvidere bærer de økonomiske merudgifter forbundet med uddybningen.

Boringerne bør indrettes, så de kan opfylde flere formål og der skal tages hensyn til eventuelle fremtidige ændringer i grundvandsspejlet ved filterplaceringen.



Figur 11.4.20. Område hvor der skal suppleres med boringer til enten overvågning af grundvandsstand eller -kvalitet. Flere af områderne er sammenfaldende, og der kan således med fordel udføres en enkelt boring i disse områder, der opfylder samtlige formål.

Oversigt over anbefalede overvågningsboringer i Indsatsområde Storskoven

Sårbare områder	C-øst	B3	B3	F	F
Borenr.	B1	B2	B3	B4	B5
Pejleboringer		+	+	+	+
Nydannet grundvand	+	+		+	+
Øvre/nedre magasiner	+	+		+	+

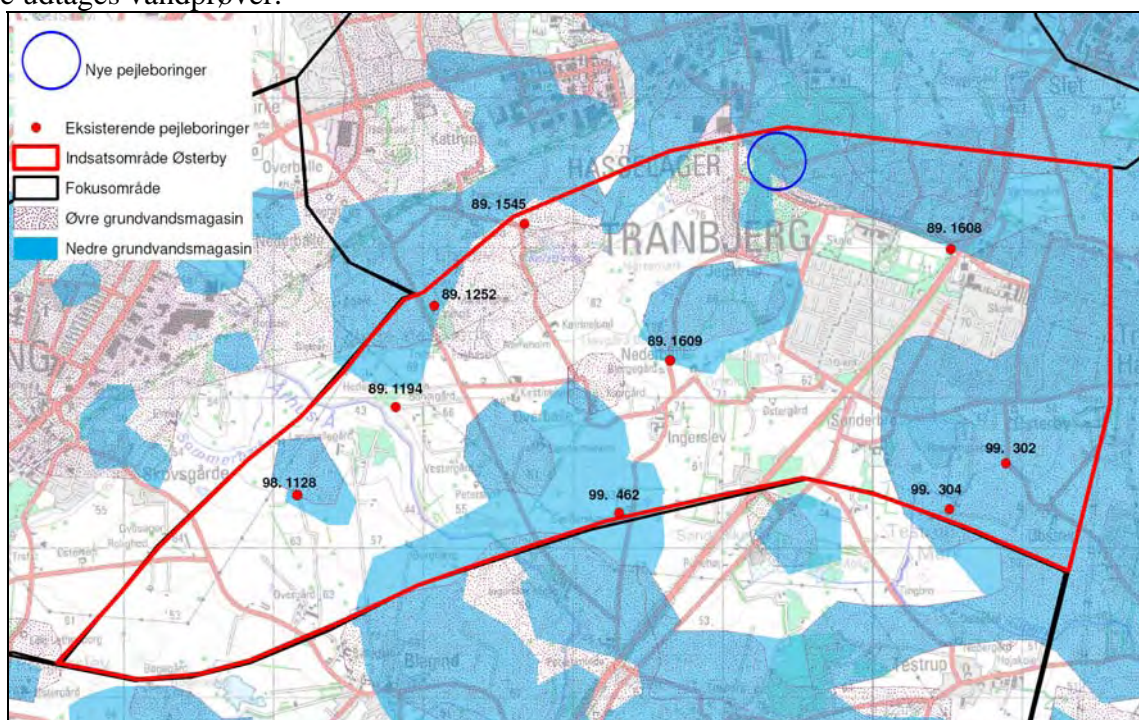
Tabel 11.4.4 Oversigt over de i alt 5 anbefalede nye overvågningsboringer i Indsatsområde Storskoven. Boringerne er nummereret og er angivet i forhold til det aktuelle område med stor nitratsårbarhed, hvori de skal etableres. Hvor der ved en boring er sat flere plusser, er det et udtryk for, at boringen har flere formål.

11.4.5 Indsatsområde Østerby

Grundvandsstand

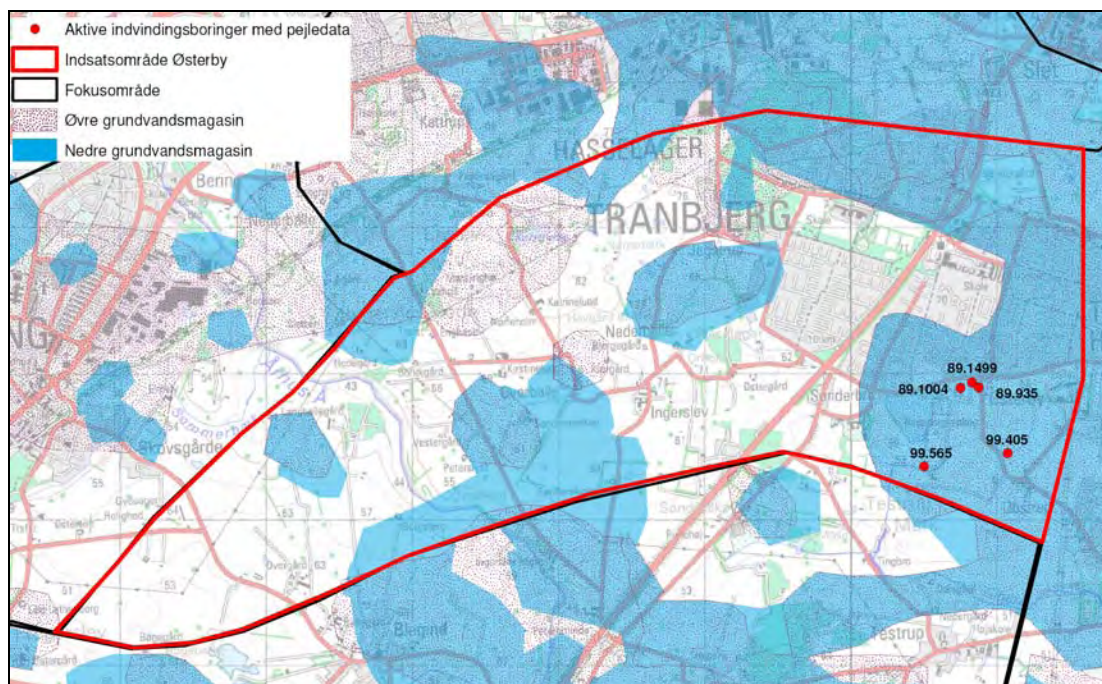
I figur 11.4.21 er der vist de eksisterende boringer, der ikke er indvindingsboringer, og som fremover anbefales anvendt til regelmæssig pejling af enten det øvre eller nedre grundvandsmagasin. Samtlige af disse boringer er lokaliseret og pejlet i forbindelse med en af de synkronpejlerunder, der er udført i området, ligesom filtterniveauet i boringerne er kendt. Andre mulige pejlbare boringer, som allerede i dag anvendes som observationsboringer, skal fortsat fungere. Her menes der observationsboringer, som ikke er illustreret på figur 11.4.21 og som til enhver tid vil være relevante i forhold til den aktuelle indvindingsituation med henblik på overvågning af vandstanden. En yderligere præcisering af hvilke af vandværkernes observationsboringer, der fortsat skal fungere, foretages i samarbejde mellem det enkelte vandværk og vandressourcemyndigheden.

De eksisterende pejlbare boringer i Indsatsområde Østerby dækker ikke området helt optimalt, så der skal suppleres med yderligere en enkelt overvågningsboring, hvis behovet for pejlinger fra områdets forskellige magasiner skal dækkes. Det område, hvor denne nye overvågningsboring anbefales placeret, er vist i figur 11.4.21. Boringen anbefales alle udbygget, så der samtidig vil kunne udtages vandprøver.



Figur 11.4.21. Figuren viser dels placering af eksisterende boringer, eksklusiv indvindingsboringer, som findes velegnede til pejling af grundvandsstanden og dels et område, hvor der er behov for yderligere en pejlborning.

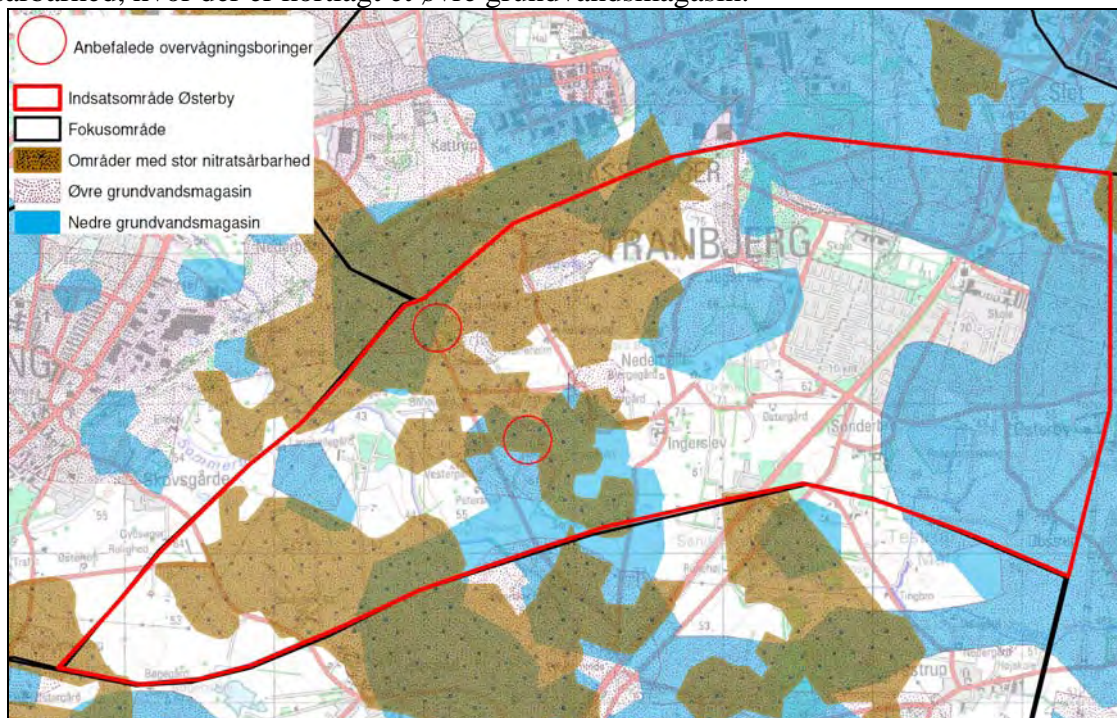
Fra en række indvindingsboringer eksisterer der allerede i dag pejledata, der mere eller mindre detaljeret viser variationer i grundvandsstanden over en tidsperiode. Disse boringer er udpeget for at sikre, at de fortsat pejles og for at sikre, at boringerne ikke sløjfes efter en eventuel nedlæggelse som indvindingsboringer. Dermed kan indsamlingen af pejledata, med henblik på at udbygge tidsserien, fortsættes (figur 11.4.22).



Figur 11.4.22. Figuren viser placeringen af indvindingsboringer med pejledata, hvor regelmæssige pejlinger anbefales udført, også selvom boringen nedlægges som indvindingsboring.

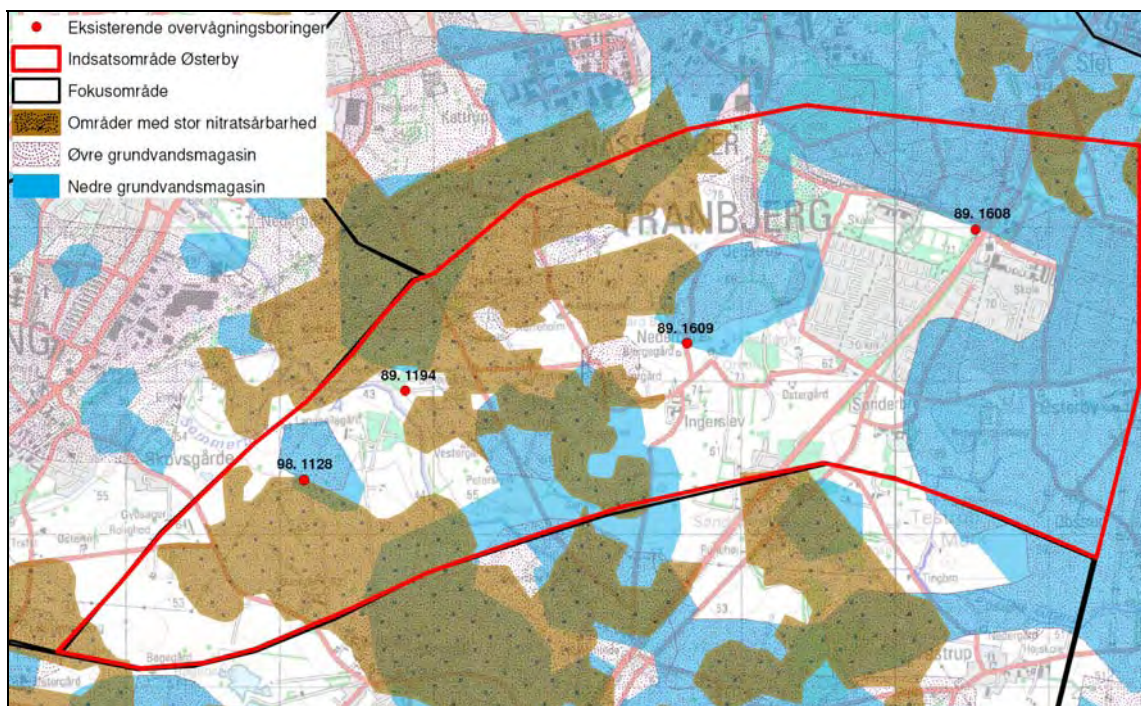
Grundvandskvalitet

På figur 11.4.23 vises de områder, hvor der skal etableres boringer til overvågning af det nydannede grundvand. De områder, hvor der foreslås etableret nye boringer, er placeret i områder med stor nitratsårbarhed, hvor der er kortlagt et øvre grundvandsmagasin.



Figur 11.4.23. Figuren viser de områder, hvor der er behov for placering af boringer til overvågning af det øverste nydannede grundvand.

I figur 11.4.24 er der vist de eksisterende borer i området, der ikke er indvindingsboringer, og som er anvendelige til prøvetagning af de øvre og nedre grundvandsmagasiner. Disse borer er beliggende i eller nær områderne med stor nitratsårbarhed, og de er tillige placeret opstrøms i forhold til eksisterende indvindingsboringer.



Figur 11.4.24. Figuren viser de borer, der er velegnede til at udtage vandprøver med henblik på overvågning af grundvandskvaliteten i de øvre og nedre magasiner.

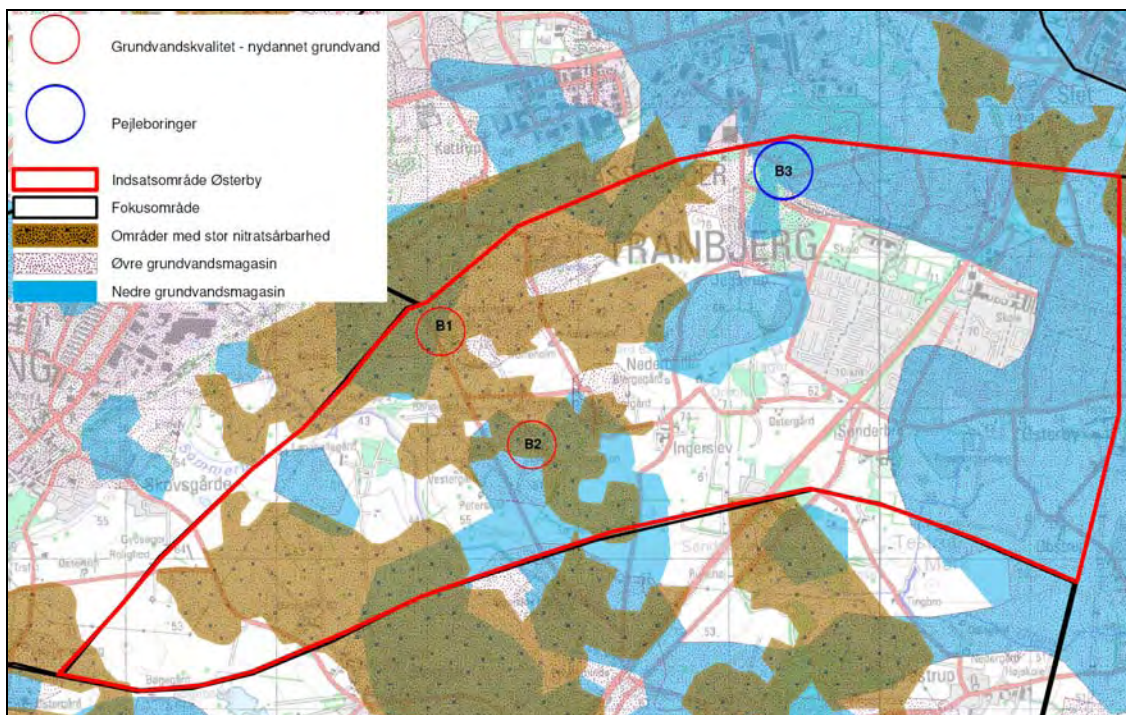
Afsluttende bemærkninger

To af de nye anbefalede overvågningsboringer (figur 11.4.25) er placeret i et af områderne med stor nitratsårbarhed i Indsatsområde Østerby. Den sidste boring anbefales anvendt til pejleboring. I tabel 11.4.5 er formålene med de nye overvågningsboringer sammenstillet med de aktuelle områder med stor nitratsårbarhed. Det fremgår dermed for hvert enkelt sårbart område, om borerne ønskes anvendt som en ren pejleboring eller, om de skal anvendes til overvågning af det nydannede grundvand.

Det anbefales, at overvågningsboringerne, især i de dele af indsatsområdet som består af en relativ mægtig kvartær lagserie, bores til den tertiære leroverflade. Hermed kan der indhentes værdifuld viden om den komplekse geologiske opbygning i området. En viden, som f.eks. kan anvendes til en bedre styring af indvindingsstrukturen og opdatering af den geologiske model. Det er i hvert enkelt tilfælde vandressourcemyndigheden, der skal tage stilling til, om en overvågningsboring skal uddybes.

Overvågningsboringer, hvor det vurderes, at der skal bores dybt, udføres i et samarbejde mellem vandværk og vandressourcemyndigheden, som endvidere bærer de økonomiske merudgifter forbundet med uddybningen.

Det anbefales, at de nye overvågningsboringer så vidt muligt indrettes, så de kan opfylde flere formål, ligesom det er vigtigt at tage hensyn til eventuelle fremtidige ændringer i grundvandsspejlet ved filterplaceringen.



Figur 11.4.25. Områder, hvor der skal suppleres med boringer til enten overvågning af grundvandsstand eller -kvalitet.

Oversigt over anbefalede overvågningsboringer i Indsatsområde Østerby

Sårbare områder Borenr.	J B1	J B2	Udenfor B3
Pejleboringer			+
Nydannet grundvand	+	+	

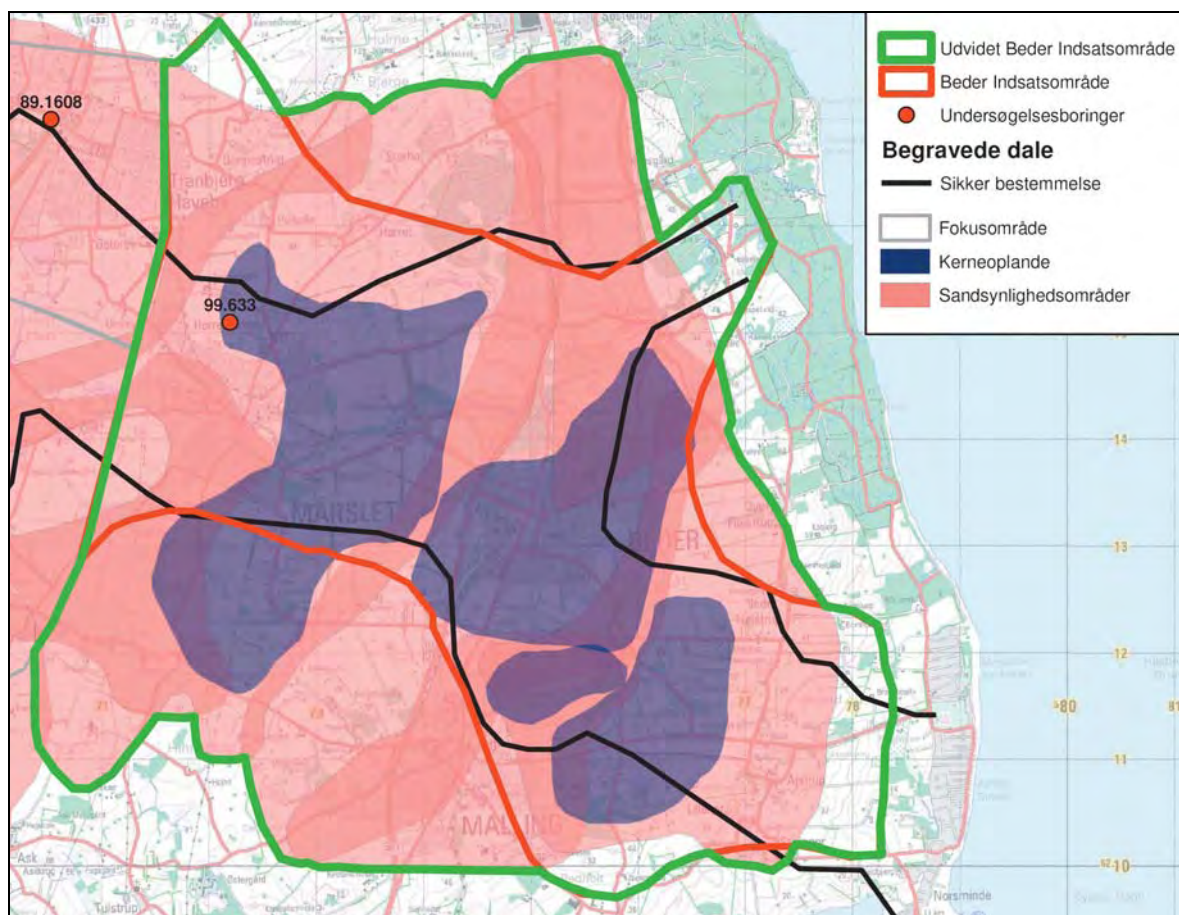
Tabel 11.4.5. Oversigt over de i alt 3 anbefalede nye overvågningsboringer i Indsatsområde Østerby. Boringerne er nummereret og er angivet i forhold til det aktuelle område med stor nitratsårbarhed, hvori de skal etableres.

11. 5 Øvrige anbefalinger – Indsatsområde Beder

Resultaterne af undersøgelserne i Århus Syd-området har blandt andet vist, at de grundvandsdannende oplande i form af kerneoplände og sandsynlighedsområder ikke er begrænset af de begravede dalstrukturer, selv om de fleste indvindingsboringer er placeret i dalene. Dette kan dels skyldes den intensive indvinding samt dels den mere komplekse geologiske opbygning af området, der bevirker, at sandede lag i dalstrukturerne står i hydraulisk kontakt med sandlag på dalflankerne og på plateauerne.

De grundvandsdannende oplande rækker udenfor det nuværende Indsatsområde Beder's grænser og det anbefales derfor, at indsatsområdet suppleres til også at omfatte oplandene (figur 11.5.1). Den nærmere afgrænsning af Indsatsområde Beder vil først kunne fastlægges, når der er udført supplerende kortlægning i det udvidede indsatsområde. Disse supplerende undersøgelser skal bidrage til at give en bedre forståelse af den geologiske opbygning og derved mulighed for at beskrive de grundvandsdannende oplande nærmere.

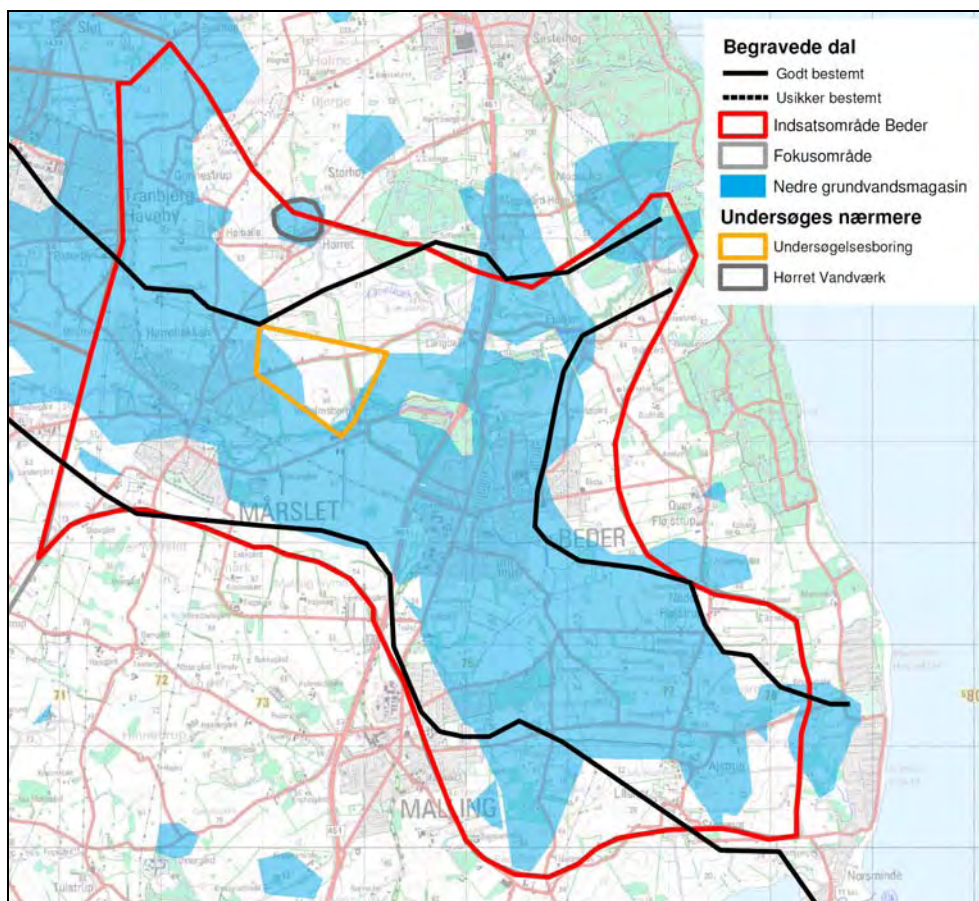
Herunder er der redegjort nærmere for, hvilke undersøgelser der anbefales udført for at opnå den bedre forståelse af området.



Figur 11.5.1 Indsatsområde Beder markeret med rødt anbefales suppleret til også at omfatte oplandene og dermed udgøre det område, der på figuren er afgrænset med grøn streg.

11.5.1 Inden for Indsatsområde Beder

Resultater af de geofysiske kortlægninger og grundvandsmodellen antyder, at udbredelsen af det nedre grundvandsmagasin muligvis kan forlænges i et område nordøst for Mårslet (markeret med orange i figur 11.5.2). Igangværende undersøgelser i form af geofysik og formentlig en dyb boring for Mårslet Vandværk vil dog vise, om området indeholder væsentlige grundvandsmagasiner. På baggrund af resultaterne skal det vurderes, om yderligere undersøgelser bør iværksættes for at afgøre en eventuel sammenhæng med de store grundvandsmagasiner i den begravede dal.



Figur 11.5.2 Mulighed for større udbredelse af det nedre grundvandsmagasin kan undersøges i det orange markerede område.

Såfremt resultaterne af den igangværende undersøgelse er positive, anbefales det at foretage en vurdering af, om magasinet ved det nedlagte Hørret Vandværk (markeret med gråt i figur 11.5.2) er i hydraulisk forbindelse med området markeret med orange på samme figur. Hørret Vandværk blev nedlagt på grund af en kombination af administrative forhold og nitratproblemer. Hvis det vurderes, at der er risiko for, at nitratholdigt grundvand fra Hørret kan strømme mod syd, anbefales det, at der etableres flere overvågningsboringer i området mellem Hørret og Mårslet.

11.5.2 Syd for Indsatsområde Beder

Af figur 11.5.3 fremgår det, at udbredelsen af kerneoplandet til Vilhelmsborg Kildeplads strækker sig syd for den administrative afgrænsning af Indsatsområde Beder. Desuden fremgår det af det aktive potentialekort, at området tilsyneladende er toppunkt for grundvandets strømning mod den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal.

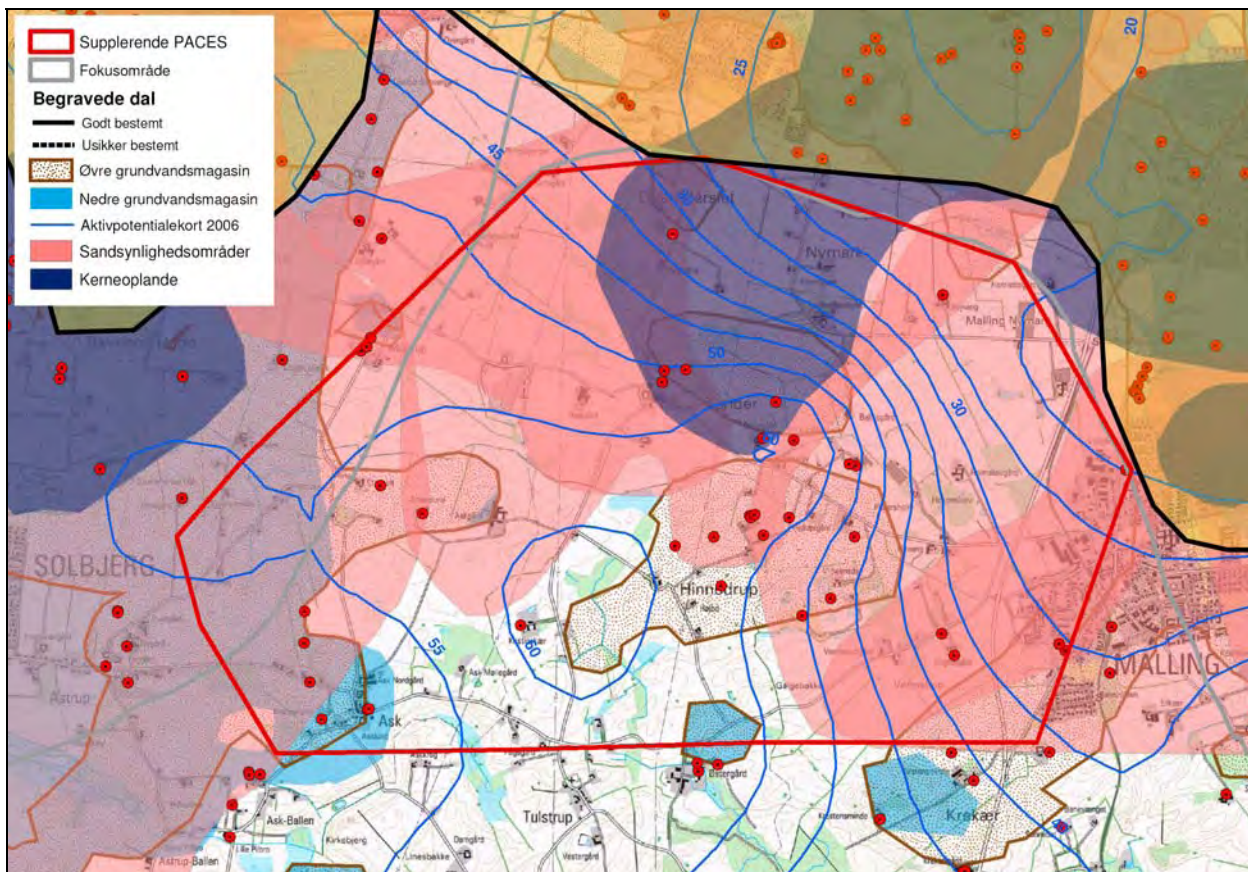
Da kortlægning af magasinudbredelse og nitratsårbarhed i nærværende redegørelse er foretaget inden for indsatsområderne, anbefales det at foretage supplerende undersøgelser i dette sydlige område for at afgøre, om området skal inddrages i Indsatsområde Beder.

I den del af kerneoplandet til Vilhelmsborg Kildeplads, der ligger uden for indsatsområdet (se figur 11.5.3 for placering), viser boringer, at tykkelsen af den kvartære lagpakke over den fede, tertiære ler, er begrænset til de øverste ca. 30 m. Området har således formodentlig ikke et dybtliggende grundvandsmagasin. Sandede aflejringer over den fede tertiære ler kan dog være i hydraulisk kontakt med de dybe magasiner mod nord i den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal, som udbredelsen af kerneoplandet til Vilhelmsborg Kildeplads antyder. Det er derfor vigtigt at undersøge, om området har sådanne betydende sammenhængende sandlag med henblik på en eventuel beskyttelse mod nedsivende nitratholdigt vand syd for indsatsområdet og til verificering af grundvandsmodellens resultater.

Til bestemmelse af udbredelsen af den kvartære lagserie over den fede, tertiære ler anbefales det at foretage en geofysisk undersøgelse af området.

Der er tidligere udført geofysisk kortlægning i 1984-85 med et 2 kanals geoelektrisk måleudstyr i forbindelse med råstofkortlægning. Da de geofysiske metoder har gennemgået en omfattende udvikling inden for de seneste 20 år, anbefales det at gentage kortlægningen, men denne gang med den 8-kanals geofysiske metode PACES. Denne kortlægningsmetode er udviklet specifikt til bestemmelse af mængden af ler i de øverste 30 m, og der er foretaget specialudvikling af beregnings- og analysesoftware.

Kortlægning med PACES udføres normalt med ca. 250 m mellem kørte linier, men da udbredelsen af områdets kvartære sandaflejringer formodentlig er afgrænsede og indsnævrede, anbefales det at udføre kortlægningen med ca. 100 m mellem linierne. Derudover anbefales det at udføre linierne parallelt med den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (ca. vest-øst), således at eventuelle langstrakte sandaflejringer mod den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal kan dokumenteres. Det anbefales at foretage kortlægning i det område, der er markeret med rødt i figur 11.5.3.



Figur 11.5.3 Ovenstående figur viser det med rødt markerede område, hvor det anbefales at foretage geofysiske undersøgelser i form af PACES.

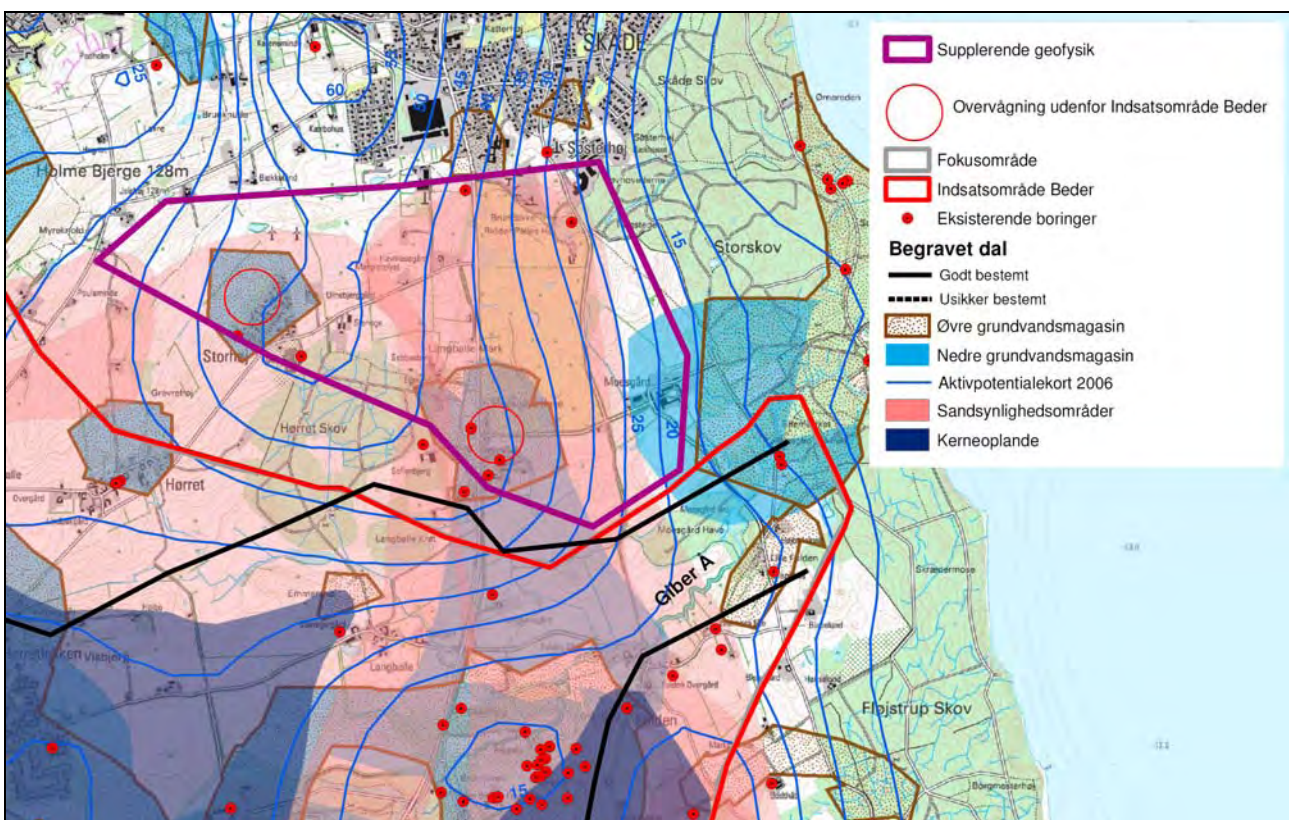
Når resultaterne af de geofysiske kortlægninger foreligger, og såfremt de giver positive indikationer på tilstedeværelsen af vandførende sandlag, anbefales det at etablere 5-10 korte filtersatte snegleboringer med en formodet maksimal dybde på 30 m. Snegleboringerne kan give information om sedimenttype, vandspejlets beliggenhed og evt. grundvandskvaliteten i det øverste grundvand. Antallet, dybden og placeringen af boringerne afgøres efter en konkret vurdering på baggrund af resultaterne fra den geofysiske tolkning.

11.5.3 Nord for Indsatsområde Beder

På grund af relativ sparsomme oplysninger har opfattelsen hidtil været, at der ikke i området nord for Giber Å findes vandførende sandlag, som står i hydraulisk forbindelse med magasinerne syd for åen. De seneste modelberegninger indikerer dog, at der bør gennemføres mere detaljerede undersøgelser for at afgøre, hvorvidt denne hidtidige opfattelse bør revurderes.

I området nord for Indsatsområde Beder (jf. figur 11.5.4) anbefales følgende forhold undersøgt nærmere:

- hvorvidt det nedre magasin uden for Indsatsområde Beder, er sammenhængende med det nedre magasin inden for indsatsområdets grænser
- hvorvidt resultater fra grundvandsmodellen, som peger på at sandsynlighedsområderne strækker sig nord for Indsatsområde Beder, kan dokumenteres



Figur 11.5.4 Ovenstående figur viser det med lilla markerede område, hvor det anbefales at foretage geofysiske undersøgelser i form af TEM og PACES samt supplerende borer. Desuden er vist eventuelle placeringer af borer til overvågning af grundvandsstanden og -kvaliteten.

I det område, der er markeret med lilla i figur 11.5.4, og som overlappes af sandsynlighedsområderne, er geofysiske data og borer ujævnt fordelt. Inden for dette område, anbefales det, at der foretages enkelte TEM sonderinger med det formål at kortlægge det nedre magasins udbredelse mere detaljeret. Derudover anbefales det, at foretage PACES kortlægning og eventuelt supplere med enkelte korte snegleboringer. Antallet, dybden og placeringen af borerne afgøres efter en konkret vurdering på baggrund af resultaterne fra den geofysiske tolkning.

Som ved området syd for Indsatsområde Beder, anbefales det at foretage kortlægning med PACES med ca. 100 m mellem linierne og parallelt med den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal (ca. vest-øst), således at eventuelle langstrakte sandaflejringer mod den begravede Beder-Mårslet-Stillingdal kan dokumenteres.

Analysen af de geofysiske resultater og mulige boringer kan eventuelt vise, at der bør etableres overvågningsboringer som markeret på figur 11.5.4, og at området bør indarbejdes i overvågningsprogrammet for Indsatsområde Beder.

11.6 Øvrige anbefalinger for Åbo, Storskoven og Stautrup

For Indsatsområderne Åbo, Storskoven og Stautrup er der udarbejdet nogle samlede anbefalinger vedrørende beskyttelse og fremtidige undersøgelser, som stort set er enslydende for disse tre områder. Disse anbefalinger beskrives i dette kapitel sammen med enkelte mere områdespecifikke anbefalinger.

Beskyttelse af samtlige områder med stor nitratsårbarhed

Resultaterne af den kortlægning, dataanalyse og modellering, der er foretaget i Århus Syd-området, har blandt andet dannet grundlaget for udpegning af områder med stor nitratsårbarhed og grundvandsdannende oplande for vandværkerne i de aktuelle indsatsområder. I Indsatsområderne Åbo, Storskoven og Stautrup er der på baggrund af resultaterne fra grundvandsmodellen udpeget et samlet grundvandsdannende opland, der dækker stort set alle de 3 indsatsområder. En af de væsentligste konklusioner for indsatsområderne er, at der skal ske en beskyttelse af samtlige områder med stor nitratsårbarhed.

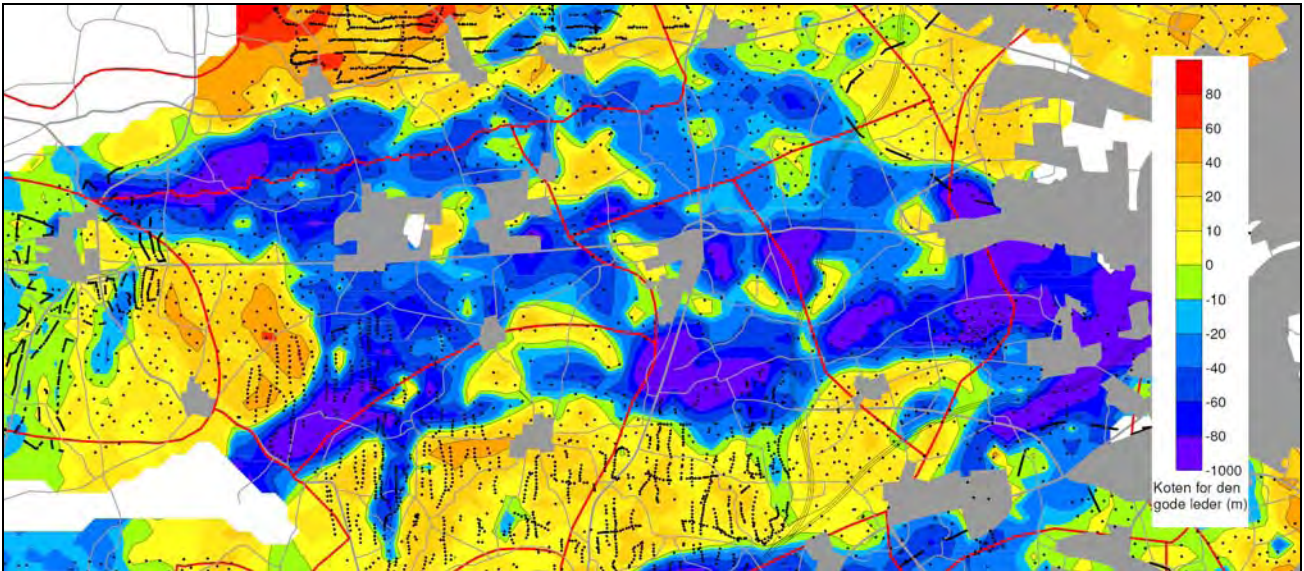
Det sydlige område i Indsatsområde Åbo er udpeget som et samlet område med stor nitratsårbarhed. I dag foregår der ikke væsentlig indvinding i dette område, men det er nødvendigt at beskytte også dette sårbare område, med tanke på sikring af en mulig fremtidig drikkevandsressource.

Fremtidig supplerende undersøgelser

Det har ikke i denne undersøgelse været muligt at udpege specifikke grundvandsdannende oplande til de enkelte vandværker i Indsatsområderne Åbo, Stautrup og Storskoven. Skulle det i fremtiden blive nødvendigt at få et mere detaljeret kendskab til grundvandets strømningsmønster omkring de enkelte vandværker, i forbindelse med f.eks. et forureningsuheld, anbefales det at gennemføre detaljerede og målrettede undersøgelser til belysning af den aktuelle problemstilling. Dette vil også gøre sig gældende ved etablering af indvinding i den sydlige del af Indsatsområde Åbo. Sådanne målrettede undersøgelser vil kunne omfatte supplerende geofysisk kortlægning, boringer (eventuelt også ellogboringer), prøvepumpningsforsøg, vandføringsmålinger med mere.

Fremtidige undersøgelser af Brabranddalen

Det skal bemærkes, at grænsedragningen mellem Indsatsområderne, der overlapper den kortlagte begravede dalstruktur Brabranddalen (figur 11.6.1), måske ikke længere er aktuel. Den begravede dalstruktur er et geologisk komplekst men sammenhængende område, der sandsynligvis er styrende for grundvandsstrømningen i området. Det kan derfor være relevant, i forbindelse med gennemførelsen af mere detaljerede studier i området, at betragte denne dalstruktur under ét. Ligesom det vil være relevant at undersøge, om der er hydraulisk kontakt mellem grundvandsmagasinerne i Brabranddalen og Hasselager-Hørning-Jeksendalen.



Figur 11.6.1 Kortet viser koten for den gode leder omkring den begravede Brabranddal. Blå farve er dybtliggende og rødt er højtliggende overvejende fedt ler. Med rød streg er vist grænsedragningen mellem indsatsområder.

Udvidelse mod øst af Indsatsområde Stautrup

Vibyværkets indvindingsboringer er ikke indeholdt i den nuværende afgrænsning af Indsatsområde Stautrup. Da den seneste udvikling har vist, at ÅKV forventer at bibeholde Vibyværket i deres fremtidige forsyningsnet, anbefales det at udvide indsatsområdet mod øst. På grund af grundvandsmodellens begrænsede anvendelse i den nordlige del af modelområdet har det ikke været muligt at udpege et grundvandsdannende opland til Vibyværket. Det har heller ikke været muligt at anvende den del af det samlede grundvandsdannende opland for kildepladserne (herunder Vibyværket) beliggende nord for skillelinien, der ligger uden for fokusområdet.

For at kunne foretage en endelig, kvalificeret afgrænsning af Indsatsområde Stautrup mod øst er det derfor nødvendigt dels at detailanalysere eksisterende data i området omkring Vibyværket dels at undersøge muligheden for at udføre supplerende undersøgelser. På baggrund af disse supplerende analyser og eventuelle undersøgelser forventes det, at det bliver muligt bedre at kunne afgrænse et grundvandsdannende opland for Vibyværket.

12. Referencer

Bay H., Tyge, P., Rasmussen, L. og Nicolaisen, L., 2004. Forceret omsætning af reduktionskapacitet for nitrat i nærzonen til kildepladser. ATV møde. Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening, Vingstedcenteret 9.-10. marts 2004.

Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, bekendtgørelse nr. 871 af 21. december 2001, Miljøstyrelsen.

Dansk Geofysik, 1998. Kortlægning ved Hasselager/Tranbjerg SV. Slæbegeoelektrisk profilering. Udført for Århus Amt.

Dansk Geofysik, 1999. Sårbarhedskortlægning ved Mundelstrup – Slæbegeoelektrisk profilering. Udført for Århus Amt.

Dansk Geofysik, 2000. Borehulslogging og geologisk prøvebeskrivelse af undersøgelsesboringer ved Hasselager. Udført for Århus Amt.

Dansk Geofysik, 2001. Udarbejdelse af Aktivt Potentialekort for det primære magasin, Udarbejdet for Århus Amt.

DGF, 1995. Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse (A guide to engineering geological soil description), Eds: G. Larsen, J. Frederiksen, A. Villumsen, J. Fredericia, P. Gravesen, N. Foged, B. Knudsen, J. Baumann, Revision 1.

DHI, 1998. Hydrologisk model for Århus Amt (regionalmodel 1997) – Udvidelse af tidligere model. Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2000. Hydrologisk undersøgelse – Kasted kildepladser. Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2002. Indsatsområde Århus Nord 02, modellering. Hydrogeologisk model – zoner og parametrisering. Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005a. Indsatsområde Århus Syd, modellering, Nettonedbørsberegninger med DaisyGIS, Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005b. Århus Syd indsatsplanlægning, Hydrogeologisk og Numerisk Model, Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005c. Århus Syd indsatsplanlægning, Kalibrering af numerisk model, Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005d. Århus Syd indsatsplanlægning, Model 25. feb., Yderligere kalibrering samt præsentation af model, Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005e. Indsatsområde Århus Syd, Modellering, Scenarier, Udarbejdet for Århus Amt.

DHI, 2005f. Århus Syd indsatsplanlægning, Udpegning af grundvandsdannende oplande, Udarbejdet for Århus Amt.

GEUS, 2000a. Jordartskort. Version 2.0

GEUS, 2000b. Henriksen et al. (red), Ståbi i grundvandsmodellering.

GEUS, 2004. Teknisk anvisning for grundvandsovervågning. Version 4 af 17. august 2004. http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/teknisk_anv_04.pdf

GEUS, 2006. Review af modelarbejde i Århus Syd-området, Udarbejdet for Århus Amt.

Hedeselskabet, 2001. Synkronpejlerunde syd og vest for Århus januar 2001. For Århus Amt.

Hedeselskabet, 2003. Århus Amt, Skovby-Sabro, Slæbegeoelektriske sonderinger (PACES). Udført for Århus Amt.

Houmark-Nielsen, M., 1989. Danmark i istiden - en tegneserie. I Varv: nr. 2

Jørgensen, F. og P. Sandersen, 2004. Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn. Opdatering 2003-2004. De jysk-fynske amters grundvandssamarbejde.

Larsen F., 1996. Pyrite oxidation in a well field – processes controlling sulfate and nickel in groundwater. Ph.D. dissertation by Flemming Larsen. Geological Survey of Denmark and Greenland and Department of Geology and Geotechnical Engineering Technical University of Denmark. August 1996.

Larsen, G. og C. Kronborg, 1994. Geologisk set, det mellemste Jylland. Geografforlaget.

Laursen G. og Kærgaard Bjerre, T., 2002. Fluoridindholdet i drikkevand (fra kalkmagasiner). ATV møde. Kalkmagasiner som drikkevandsressource – problemer og løsningsforslag. Helnan Marselis Hotel, 24. oktober 2004.

Lykke-Andersen, H., 1988. Viborgegnens geologi. Viborg Leksikon nr. 6.

McNeill, L. S. & Edwards, M., 1997. Predicting As removal during metal hydroxide precipitation. J. Am. Water Works Assoc. January 1997, 75-86.

Miljøstyrelsen, 1995. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 4, Udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser.

Miljøstyrelsen, 2000. Zonering. Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen. Vejledning Nr. 3 2000.

Miljøstyrelsen, 2001. Principper for beregning af nitratreduktion i jordlagene under rodzonen. Eds: Vibeke Ernsten, Hans Jørgen Henriksen og Frants von Platen, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 24 2001.

Miljøstyrelsen, 2005. Rensning af arsen i en traditionel vandbehandling på vandværker – Muligheder for at forbedre fjernelsen af arsen. Eds. Søren Jessen, Flemming Larsen, Martin Vidkjær, Erik Arvin og Hans Mosbæk. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 7 2005.

Niras, 2004a. Etablering af 16 undersøgelsesboringer i Århus Syd-området.

Niras, 2004b. Boringsregistrering, synkronpejling og vandprøvetagning i OSD Århus Syd-03

Niras, 2004c. Boringsregistrering, synkronpejling og vandprøvetagning i OSD Århus Syd-03, Fase 1. For Århus Amt.

Plauborg F., Refsgaard J. C., Henriksen H. J., Blicher-Mathiasen G. og Kern-Hansen C., 2002. Vandbalance på mark- og oplandsskala. DJF rapport nr. 70, Markbrug.

Rambøll, 2003. Kortlægning af grundvandsmagasinerne naturlige beskyttelse ved hjælp af PACES i området Stilling-Solbjerg. Udført for Århus Amt.

Ramsey, L., 2002. Grafisk præsentation af grundvandsanalyser – de kendte metoder og det nye møllehjul. Vandteknik 4, maj 2002.

Sandersen, P. og Jørgensen, F., 2002. Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn. Udført for De jysk-fynske amters grundvandssamarbejde.

Sesam, 2005. Århus Syd. Petrografisk og mineralogisk korrelation af 15 undersøgelsesboringer fra begravede dalsystemer i Århus Syd. Eds. Jette Sørensen. Udført for Århus Amt.

Sørensen, K., 1992. Kortlægning af grundvandsmagasinet ved Beder under anvendelse af slæbegeoelektrik – datarapport. Udført for Århus Kommunale Værker.

Varv, 1992. Kort over Prækvartæroverfladen.

Watertech, 1999. Århus Amt. TEM-kortlægning ved Skovby – datarapport. Udført for Århus Amt.

Watertech, 2003. Slæbegeoelektrisk kortlægning ved Stilling-Stjær. Udført for Århus Amt.

Århus Amt, 1992. Tungmetaller i Århus Amt. Baggrundsværdier i tertiære sedimenter og recente jordbunde. Teknisk rapport, Grundvandsafdelingen, depotsektionen, Eds. Susanne Boutrup og Erling Fuglsang Nielsen.

Århus Amt, 1993. Natur og Miljø, Grundvand og drikkevand i Århus Kommune.

Århus Amt, 2004a. Basisanalysen – Internet version

Århus Amt, 2004b. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Århus Nord-området. Delrapport II - detailkortlægning. Eds. Verner Søndergaard, Richard Thomsen, Ole Dyrsø, Thomas Nyholm, Erling Fuglsang, Lærke Thorling, Per V. Misser og Birgitte Hansen.

Århus Amt, 2005a. Grundvandsplan 2005. Internet udgivelse.

Århus Amt, 2005b. Birgitte Hansen, Birthe Eg Jordt, Signe Weng Grønhøj, Undersøgelser og beslutninger i forbindelse med evalueringen af 18. feb. og 25. feb. modellerne, Notat.

Århus Amt, 2006a. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Indsatsområde Beder – Resumé og anbefalinger

Århus Amt, 2006b. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Indsatsområde Stautrup – Resumé og anbefalinger

Århus Amt, 2006c. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Indsatsområde Storskoven – Resumé og anbefalinger

Århus Amt, 2006d. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Indsatsområde Østerby – Resumé og anbefalinger

Århus Amt, 2006e. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Indsatsområde Åbo – Resumé og anbefalinger

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1992. Kortlægning af Grundvandsmagasiner Constantinsborg – slæbegeoelektriske linieprofiler. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1993. Kortlægning af grundvandsmagasiner ved Beder under anvendelse af transiente sonderinger – datarapport. Udført for Århus Kommunale Værker.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1994. Kortlægning af grundvandsmagasin, Solbjerg. Transient sondering. Udført for Århus Amt

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1995. Skovby – Framlev – Transiente profilopmålinger. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1996. Transient elektromagnetisk opmåling ved Hasselager syd for Århus. Udført for Århus Kommunale Værker.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1996. Transient elektromagnetisk opmåling ved Slet syd for Århus. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1997. Geofysisk kortlægning ved Lyngby – dataafrapportering. Udført for Århus Kommunale Værker.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1997. Slæbegeoelektrisk profilopmåling ved Lyngby. Udført for Århus Kommunale Værker.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1997. Transient elektromagnetisk opmåling ved Framlev – Årslev. Udført for Århus Kommunale Værker.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1998. Transient elektromagnetiske opmålinger ved Malling – dataafrapportering. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1999. 8-kanals slæbegeoelektrisk kortlægning ved Malling Syd-Øst – dataafrapportering. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 1999. 8-kanals slæbegeoelektrisk kortlægning ved Tranbjerg Øst III – dataafrapportering. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 2000. Transiente elektromagnetiske opmålinger ved Hasselager – dataafrapportering. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 2003. Tolkning af 3 og 8-kanals slæbegeoelektriske data – Århus Amt. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 2003. Tolkning af 3-kanals slæbegeoelektriske data – Århus Kommune/ÅKV-områder. Udført for Århus Amt.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 2003. Tolkning af 3-kanals slæbegeoelektriske data. Retolkning af 8-kanals slæbegeoelektriske data – Århus Kommune / Århus Amt. Udført for Århus Amt og Århus Kommune.

Aarhus Universitet, Geofysisk Afdeling, 2004. SkyTEM kortlægning Stilling-Stjær. Udført for Århus Amt.