

# NOTAT

Projekt **BNBO Silkeborg Kommune – Notat om beregning af BNBO**  
Kunde **Silkeborg Kommune**  
Notat nr. **1**  
Dato **10. oktober**  
Til **Silkeborg Kommune**  
Fra **Charlotte Bamberg**  
Kopi til **[Name]**

## 1. Indledning

Dato 10-10-2013

Dette notat beskriver beregningsmetode og de antagelser, der ligger til grund for beregningerne af BNBO.

Etablering af BNBO har grænseflade til den fysiske sikringszone, Naturstyrelsens grundvandskortlægning og tilhørende indsatsplanlægning.

BNBO vil typisk omfatte arealer større end den fysiske sikringszone (også benævnt fredningsbæltet) med en radius på 10 m omkring boringen, men mindre end det zonerede område, der er relateret til indsatsplanerne.

BNBO vil altid indeholde selve boringen og omfatter således hele den fysiske sikringszone. BNBO kan være en delmængde af det zonerede område. BNBO adskiller sig bl.a. fra den fysiske sikringszone og det zonerede område ved, at der er forskellige krav til data.

Størrelsen af BNBO vil typisk baseres på flere data end den fysiske sikringszone og færre data end inden for zonerede område, hvor der indgår en detaljeret hydrogeologisk kortlægning.

BNBO har til formål at beskytte indvindingsanlægget mod forurening fra de nærmeste omgivelser, og derfor er både geologi og tid vigtige parametre i beregningen. Både for et frit magasin og for boringer med lag af moræneler er det nødvendigt med beskyttelse af et større areal omkring boringen mod nedsivning af forurening fra de nærmeste omgivelser. Dette skyldes dels, at nedsivningen omkring boringen er påvirket af indvindingen, og at geologiens homogenitet ikke er kendt.

Rambøll  
Olof Palmes Allé 22  
DK-8200 Aarhus N

T +45 8944 7700  
F +45 8944 7625  
www.ramboll.dk

Parametrene, som indgår i beregningen af BNBO:

- Magasintykkelsen
- Den effektive porøsitet
- Indvindingen
- Den hydrauliske gradient
- Transmissiviteten

## 2. Bestemmelse af magasinernes tykkelse og porøsitet

De fleste af de boringer, hvortil der er bestemt et boringsnært beskyttelsesområde, er beliggende i områder med en meget kompleks geologi.

Som det fremgår af principskitsen i Figur 1 ses, at den geologiske opbygning i kortlægningsområdet Silkeborg er meget kompleks. Komplexiteten skyldes især tilstedeværelsen af en række begravede dale, som er skåret dybt ned i de tertiære aflejringer.

De dybeste liggende grundvandsmagasiner er nedadtil afgrænset af oligocæne glimmerler. Over de tertiære aflejringer ses de kvartære sandede og lerede aflejringer med meget varierende udbredelse og mægtighed. De begravede dale er hovedsagelig fyldt op med sandede aflejringer med en tendens til lerede aflejringer mod bunden. Dalene kan til tider være svære at erkende i data, da de ofte er nedskåret i miocæne/oligocæne, sanddominerede aflejringer og fyldt med kvartært sand, således at der ikke er modstandscontrast mellem aflejringerne. Sandet i de begravede dale er flere steder i direkte hydraulisk kontakt med det kvartære og miocæne sand beliggende på de omkringliggende prækvartære plateauer. Silkeborg Syd er domineret af tykke lag af tertiære aflejringer og i mindre grad af tynde lag af kvartære aflejringer mod terræn. Udbredelsen og mægtigheden af magasinerne stiger mod vest og kan opnå tykkelser over 200 m f.eks. under Gludsted Plantage.

### 2.1 Bestemmelse af magasinernes tykkelse

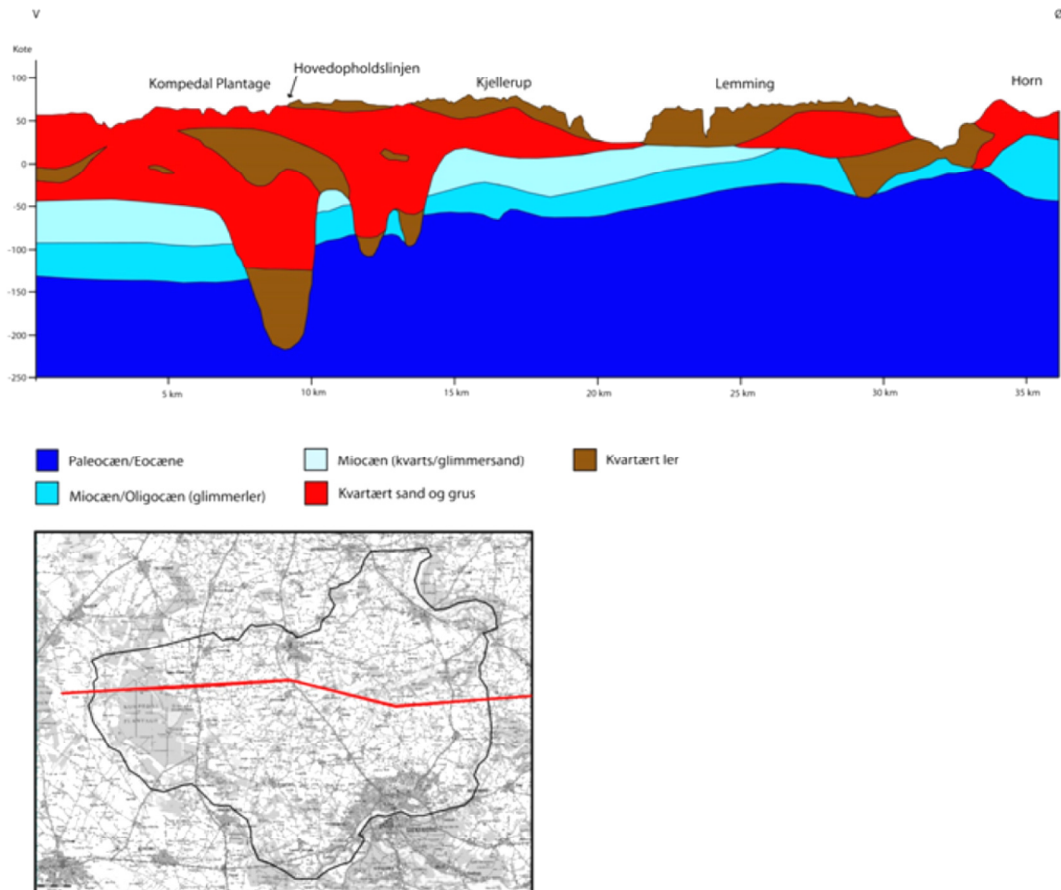
På grund af geologiens store kompleksitet kan de geologiske parametre, der skal benyttes, ikke alene bestemmes på baggrund af en gennemgang af borejournalerne. I mange tilfælde er magasinerne ikke gennemboret og tykkelsen derfor ikke bestemt, lige såvel som en evt. hydraulisk kontakt til en nærliggende boring ikke umiddelbart kan udredes.

På baggrund af boringsoplysninger i kildepladsernes nærområde foretaget en vurdering af lagtykkelse. For boringer, hvor magasinet ikke er gennemboret, er de geologiske profiler således blevet anvendt til en estimering af tykkelsen. Der er i forbindelse med estimeringen af tykkelse og porøsitet blevet udarbejdet kildeplads-profiler fra GeoScene 3D til vurderingen af magasintykkelsen. Af figur 1 og 2 fremgår, at grundvandsmagasinerne mange steder i Silkeborg Kommune har en stor mægtighed.

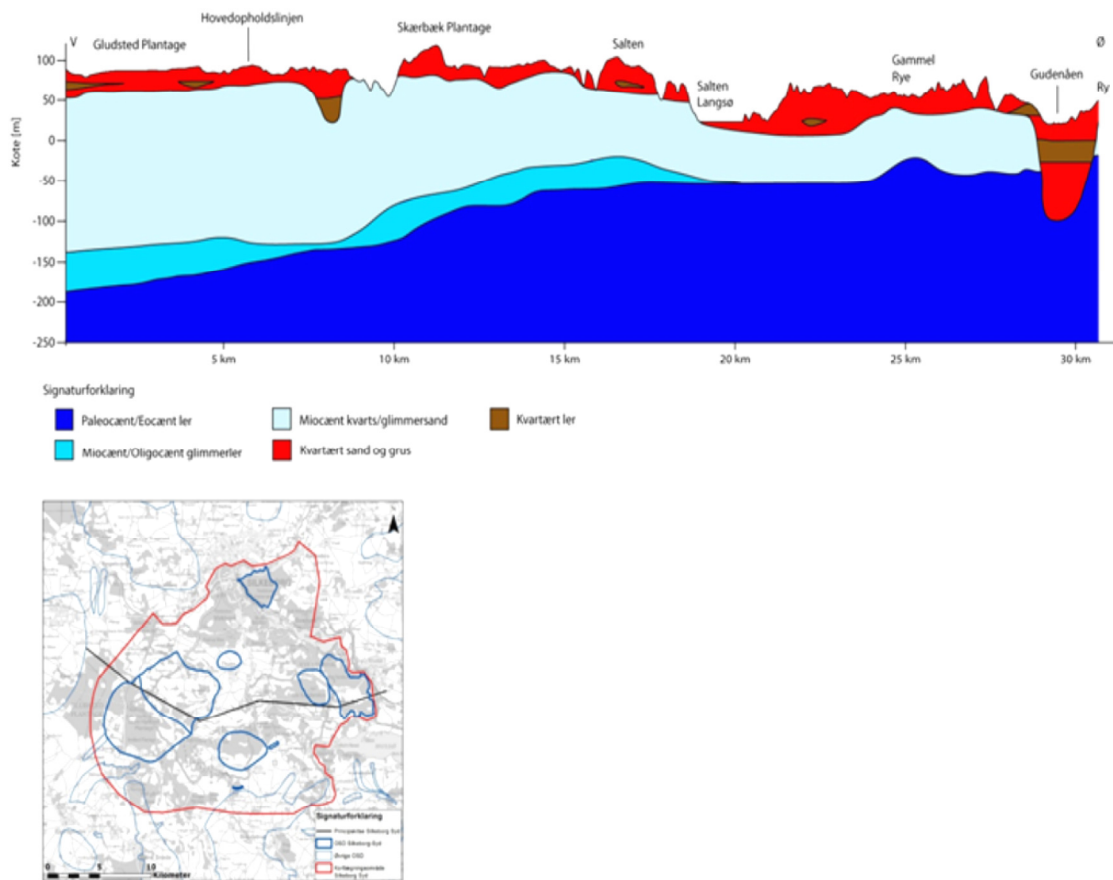
En vurdering af magasinets mægtighed er bestemt ud fra de enkelte borebeskrivelser og brøndborebeskrivelser med afsæt i kildeplads-profilerne. Afgrensning af magasinerne foretages ved 5 m moræneler eller 3 m smeltevandsler. Ved partiel filtersætning i et frit maga-

sin afgrænses magasintykkelsen nedadtil til 10 meter under filteret og opadtil til beliggenhed af grundvandsspejlet.

Der er borer med begrænsede eller ingen oplysninger. Data til beregninger af BNBO for disse borer hentes hos nærtliggende borer. For at sikre at disse beskrivelser stemmer overens med den kildepladsnære geologi anvendes GeoScene 3D.



**Figur 1** Geologiske tværsnit for Silkeborg Kommune (nord). Skitsen er udarbejdet på baggrund af borer og geofysisk data /5/.



**Figur 2 Geologiske tværsnit for Silkeborg Kommune (syd). Skitsen er udarbejdet på baggrund af borer og geofysisk data /6/.**

## 2.2 Bestemmelse af magasinets effektive porøsitet

Den effektive porøsitet udgør den del af totalporøsiteten, hvor der kan foregå strømning af grundvand. En del af totalporøsiteten vil nemlig bestå af porerum uden hydraulisk kontakt til andre porerum eller porerum, som ender blindt, og derfor ikke tillader strømning af vand /1/.

Den effektive porøsitet indgår som en parameter ved beregning af de boringsnære beskyttelses-områder. Der er i vejledningen vedrørende beregning af BNBO anført nogle intervallværdier for den effektive porøsitet, men disse er begrænset til mellemkornet og groft sand, grus og kalk /1/. For at have en større spændvidde i beregningen af den effektive porøsitet er der foretaget et litteraturstudie og herunder fundet frem til værdier for flere sedimenttyper i JAGG. JAGG er et regneark fra Miljøstyrelsen til risikovurdering af jord, afdampning af gas og grundvand /4/. I nedenstående tabel 1 ses en oversigt over den effektive porøsitet fra henholdsvis vejledningen og JAGG.

Magasin aflejring	BNBO vejledning		JAGG beregningsark	
	Effektiv porøsitet	Interval	Effektiv porøsitet	Interval
Silt	-	-	0,15	0,01-0,2
Sand, fint	-	-	0,2	0,1-0,3
Sand, mellemkornet	-	0,15 – 0,30	0,2	0,15-0,3
Sand, groft	-	0,2 – 0,35	0,25	0,2-0,35
Grus	-	0,1 – 0,35	0,2	0,1-0,35
Kalk	-	0,01 – 0,24	0,15	0,01-0,24

**Tabel 1 Oversigt over porøsiteter fra vejledningen /1/ og JAGG/4/.**

Den effektive porøsitet i JAGG er estimeret på baggrund af en grundig gennemgang af prøvebeskrivelserne samt viden om kornstørrelsesfordelingen i magasiner fra undersøgelser foretaget af Sedimentsamarbejdet. Der er i regnearket angivet et interval samt den værdi, der er størst sandsynlighed for.

Det anbefales, at der som udgangspunkt anvendes den mindst mulige porøsitet i de angivne intervaller. Dette er begrundet i det forhold, at de fleste af de borer, der beregnes BNBO for, er udført som skylleboringer med enten direkte skylning eller lufthævemetoden. Ved disse boremetoder går aflejringer af sand, grus og sten i fuldstændig suspension i boremudderet, og de fineste partikler af finsand og silt vil være svære at separere fra boremudderet igen. Kornstørrelsesfordelingen i en prøve fra skylleboringer vil derfor ikke være helt repræsentativ, men vil mangle de fineste fraktioner. Der kan tages højde for dette forhold ved konsekvent at vælge den mindst mulige porøsitet for de enkelte sedimenter.

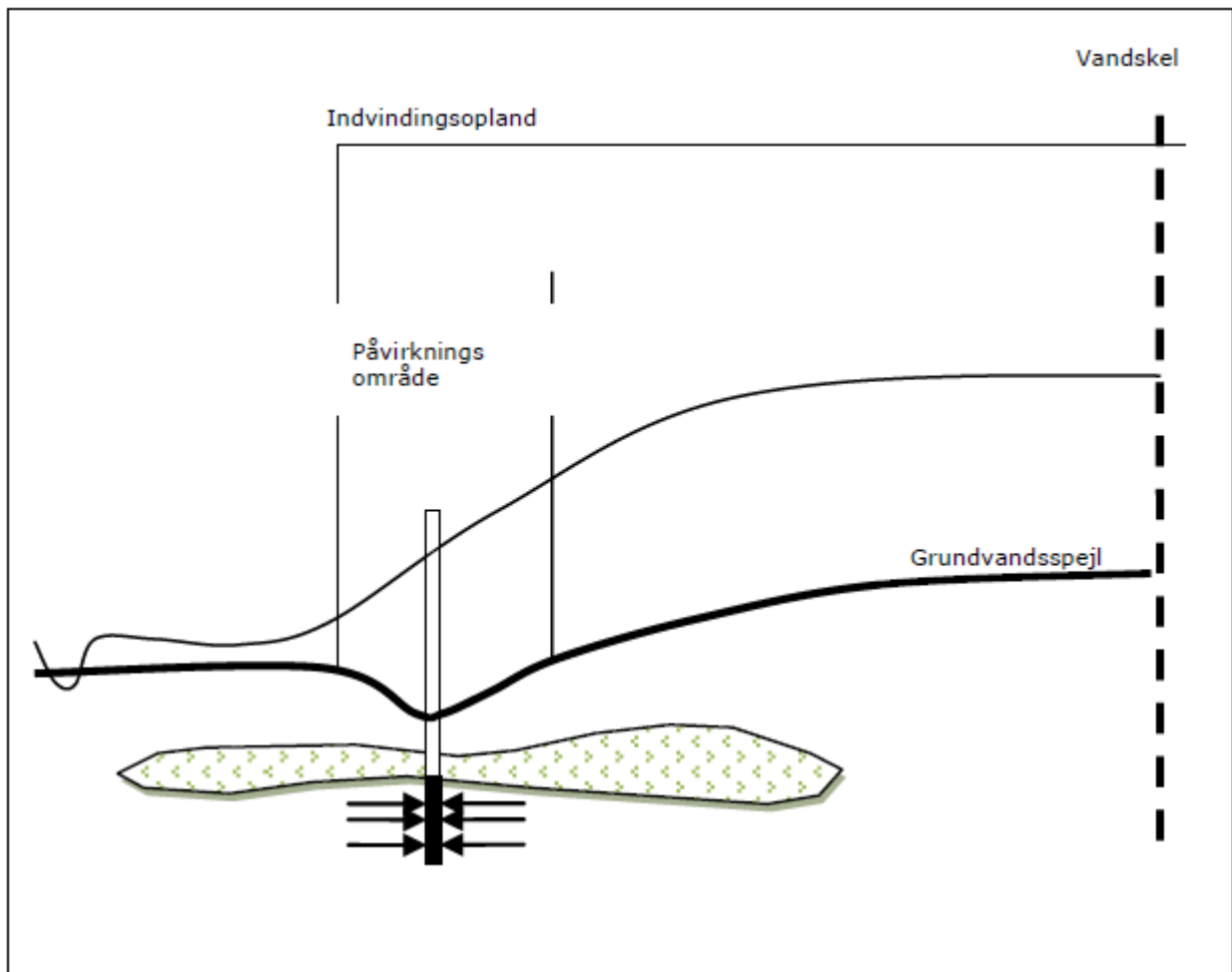
Porøsiteten er en gennemsnits vurdering for hele magasinets tykkelse. Hovedvægten ligger på vurderingen af porøsiteten i filterintervallet.

### 3. Beregning af BNBO

Udpegningen af boringsnære beskyttelsesområder sker med henblik på at målrette den grundvandsbeskyttende indsats mod områderne lige omkring borerne. BNBO skal ses som et supplement til den generelle grundvandsbeskyttelse.

Det beregnede areal af BNBO bør opfattes som det maksimale areal inden for hvilket, der kan gives påbud eller nedlægges forbud for at undgå fare for forurening af indvindingsanlæggene /1/.

BNBO har ikke til formål at beskytte hele indvindingsoplandet, men kun det område der påvirkes inden for en given tidsperiode svarende til kontrolfrekvensen. Forskellen på påvirkningsområde og indvindingsopland kan ses på figur 3.



Figur 3 Illustration af indvindingsoplandet og påvirkningsområdet /1/.

### 3.1 Beregningsmetode og forudsætninger

I beregningen af BNBO vurderes arealet af BNBO med udgangspunkt i Miljøstyrelsens vejledning og de beregningsalgoritmer, der er opstillet af Rambøll.

Metoden i vejledningen er valgt ud fra en betragtning om, at metoden skal være anvendelig i forhold til et begrænset datagrundlag.

Beregningen af BNBO forudsætter, at området afgrænses af strømningstiden i det mættede magasin. Der antages stationære strømningforhold, og der ses på middel porevandshastigheder. I forbindelse med risikovurderingen tages der hensyn til transporttiden gennem den umættede zone, de sekundære magasiner og lerdæklag, dispersion samt nedbrydning.

BNBO beregningen forudsætter homogene, isotrope magasinforhold, konstant indvindingsrate, og at boringen er filtersat gennem hele magasin tykkelsen.

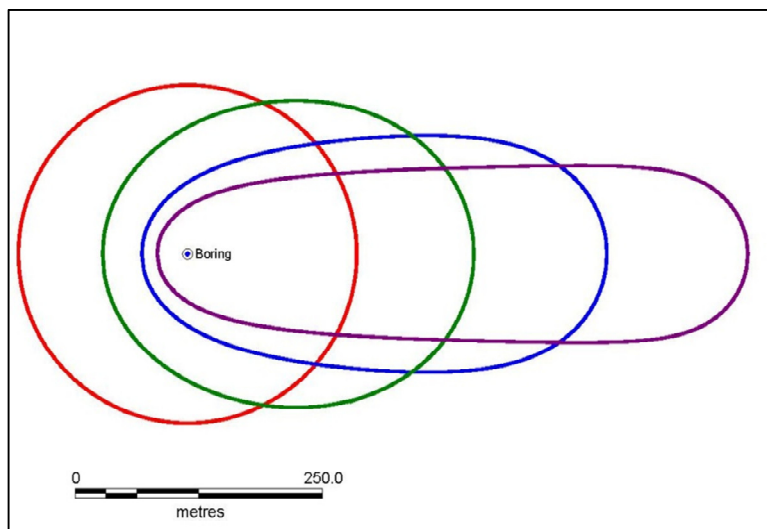
Samtlige BNBO beregningerne er foretaget ved analytiske beregninger. Rambøll har foretaget en beregning af form, placering og størrelsen af BNBO. Til dette er benyttet Rambølls

unikke BNBO-TOOL til beregning af BNBO-arealet både med og uden grundvandsstrømning (med og uden gradient på grundvandsspejlet). I BNBO-TOOL er der 3 forskellige muligheder til beregning af BNBO, som omfatter:

- den cirkulære løsning som angivet i Miljøstyrelsens vejledning
- trinvis løsning, som f.eks. er beskrevet i Ceric and Haitjema (2005)
- den korrigeret løsning fundet via en unik iterativ metode, som løser den styrende ligning for BNBO med en konstant oppumpning

I nærværende opgave er der anvendt 2 metoder ved beregning af BNBO for indvindingsboringerne i Silkeborg Kommune hhv. den cirkulære løsning samt den korrigeret iterative metode. For borer, der indvinder mindre end 35.000 m<sup>3</sup>/år, er der i alle tilfælde anvendt den cirkulære metode. For kildepladser hvor gradienten er usikker, er der også anvendt cirkulære metoder (toppunkter og lavninger).

Arealet af BNBO bestemmes af indvindingsmængde (Q), den valgte strømningstid (t), effektiv porøsitet ( $n_e$ ) og effektiv magasintykkelse ( $H_e$ ) ved begge metoder. Jo større porøsitet og magasintykkelse, des mindre BNBO-areal, mens større indvindingsmængde og strømningstid giver større BNBO-areal. I den iterative metode bestemmes formen af BNBO af grundvandshastigheden dvs. produktet af gradient (I) og transmissiviteten (T). Jo højere grundvandshastighed (jo større produkt af gradient (I) og transmissiviteten (T)) des mere langstrækt og tyndt BNBO-areal. Det samlede areal ændres ikke med gradienten eller transmissiviteten. Hvor gradienten er lav tilnærmes løsningen altså en cirkel som i den cirkulære metode. I Figur 4 ses hvordan formen af BNBO er afhængig af produktet af gradient og transmissivitet.



**Figur 4 Areal og form af BNBO ved ændring af grundvandshastigheden med fastholdelse af øvrige parametre. Jo større grundvandshastighed des mere langstrakt BNBO .**

Fastlæggelsen af parametre til beregningen sker i forbindelse med det forudgående arbejde med dataindsamling for hver enkelt kildeplads. Rambøll har løbende foretaget usikkerheds-vurderinger ved manuelt at variere parametervalget, idet usikkerheden på parametrene har betydning for BNBOs areal, form og retning.

Parameter til BNBO beregning	Metoder til parametervalg
<b>Indvindingsmængde</b>	Ved beregning af BNBO er anvendt indvindingstilladelsen. For vandværker med mere end én boring er den gennemsnitlige tilladte indvindingsmængde pr. boring benyttet.
<b>Strømningstid i grundvandsmagasinet</b>	Strømningstiden er bestemt ud fra anbefalingerne i BNBO vejledningen /1/. Ved fastsættelse af strømningstid anvendes indvindingstilladelsen.
<b>Gradient og strømningsretning</b>	<p>Til vurdering af strømningsretning er som udgangspunkt benyttet det regionale potentialekort fra Aarhus Amt fra 2005 samt potentialekort med tilhørende pejlepunkter udarbejdet og leveret af Silkeborg Kommune.</p> <p>Potentialekort fra Silkeborg Kommune er udarbejdet på samme pejlegrundlag som Aarhus og Viborg Amts regionale kort, men er blevet modificeret ved at luge ud i helt lokale top- og lavpunkter, som Silkeborg Kommune har vurderet til at være lokale fænomener og ikke afspejler det generelle strømningsbillede. De to potentialekort følger overordnet hinanden med samme strømningsretninger og gradienter.</p> <p>I det nordvestlige område af Silkeborg Kommune er det regionale potentialekort for Viborg Amt fra 2005 ligeledes inddraget.</p> <p>Gradienter til beregning af BNBO er bestemt ud fra potentialekortene. Hvor der har været et stort misforhold mellem 2 potentialekort, er det vurderet, at der er usikkerhed om strømningsretningen. For at tage højde for denne usikkerhed, er der valgt at benytte gradienten fra det potentialekort, som giver den lavest hældning. Således vil BNBO dække en bredere vifte af retninger.</p> <p>Ved bestemmelse af strømningsretningen (vinklen) er potentialekortene ligeledes benyttet, desuden er der foretaget en sammenligning med udbredelsesretningen af de eksisterende analytiske beregnede indvindingsoplande /2/ og /3/, da retningen på indvindingsoplande og BNBO ´ere gerne skulle stemme overens.</p>



	<p>Før beregning af BNBO er der for hver boring foretaget en vurdering af forholdene mellem transmissivitet og gradienten. Ved både høj transmissivitet og gradient er der risiko for lange og tynde BNBO'ere, som i meget lille grad tager højde for usikkerheden i strømningsretningen. For at tage højde for denne usikkerhed, er der valgt at benyttes en mindre gradient end potentialekortet angiver, hvorved BNBO dækker en bredere vifte af retninger. Dette har dog kun været nødvendigt i forbindelse med Virklund Voldbygårde Vandværk. I dataarket er der derfor noteret at: "Gradient nedsat for at opnå balance mellem Trans og Gradient ift. datatætheden"</p>
<b>Transmissivitet</b>	<p>Transmissiviteten er typisk bestemt på baggrund af en specifik ydelse i borerne, som er beregnet på baggrund af sænkning-ydelsesdata. For de borer, hvorfra der ikke foreligger sænkning-ydelsesdata, er transmissiviteten vurderet ud fra data i omkringliggende borer.</p>

### 3.2 Overlappende BNBO'er

Ved overlappende BNBO'er som repræsenterer samme magasin, beregnes et samlet BNBO for borerne. Ved et samlet BNBO tages der højde for at strømningstiden til alle borerne overholdes, og at vandet i fællesarealet dermed ikke "bruges" flere gange. Fællesarealet af BNBO'erne fordeles dermed som en buffer rundt om de enkelt beregnede BNBO'er.

#### 4. Antagelser ved beregning af areal for BNBO

##### Bemærkninger fra Silkeborg Kommune:

Funder Kirkeby Vandværk sløjfer boring DGU nr. 86.1022 og etablerer en ny boring på kildepladsen ved 86.2055, se ca. placering på kort nedenfor (figur 5).



Figur 5 Placering af forventet ny boring ved Funder kirkeby Vandværk

Thorning Vandværks boring DGU nr. 76.906 anvendes ikke til indvinding af drikkevand, men den fungerer muligvis som afværgeoppumpning, så boringen skal ikke indgå i BNBO beregningerne.

Gudenå Vandværk – Nord er Silkeborg Vandværks nye indvindingsboringer, som ligger i Nordskoven på Gudenåens nordvestlige side (det er borerne DGU nr. 87.1274, 87.1451, 87.1452 og 87.1453). Kildepladsen er ikke taget i brug endnu, men den forventede indvindingstilladelse bliver 1 million m<sup>3</sup>/år fordelt med 250.000 m<sup>3</sup> på hver boring.

Hvinningdal Vandværk. DGU nr. 87.1268: Silkeborg Kommune har konstateret via luftfoto, at borerne placeringer ikke stemmer helt overens med luftfotoet (boring DGU nr. 87.776 ligger ca. 2 meter fra boring DGU nr. 87.1268) – der er en afvigelse på 5 -10 meter. Det vurderer Silkeborg Kommune er acceptabelt i forhold den usikkerhed på beregningerne sammenholdt med indvindingens størrelse.

Følgende vandværker har hver en reserveboring, hvor indvindingen skal sættes til nul:

- Voel By Vandværk, boring DGU nr. 87.628
- Katrinedal Vandværk, boring DGU nr. 97.264

Voel By Vandværk sættes bagerst i beregningskøen, da de er ved at etablere en 4. boring.  
Voel By Vandværks nye indvindingsboring "forventede" UTM koordinater;  
(x,y)(542.229,6.228.966).  
Ydermere skal deres tilladte indvindingsmængde opjusteres til 80.000.

## 5. Reference

- /1/ Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 2 2007. Boringsnære beskyttelsesområder – BNBO.
- /2/ Silkeborg Kommune. Indvindingsoplande. Orbicon, 2010.
- /3/ Aarhus Amt. Indvindingsoplande udenfor OSD
- /4/ Miljøstyrelsen, 2000: Miljøprojekt nr. 520. risikovurdering af jord, afdampning af gas og grundvand.
- /5/ Naturstyrelsen, 2014 Trin 1 –kortlægningsområde Silkeborg Nord, Rambøll
- /6/ Naturstyrelsen, 2014 Trin 1 –kortlægningsområde Silkeborg Syd, Rambøll
- /7/