

Boringsnære beskyttelsesområder - BNBO

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
1 INDLEDNING	7
1.1 BAGGRUND FOR VEJLEDNINGEN	7
1.2 VEJLEDNINGENS FORMÅL	8
1.3 AFGRÆNSNING AF VEJLEDNINGENS INDHOLD	8
2 GÆLDENDE LOVGIVNING	9
2.1 FRIVILLIGE AFTALER, VANDFORSYNINGSLovens § 13D	9
2.2 MILJØBESKYTTELSESLoven § 24 OG 26 A	9
2.3 ARTEN AF RESTRIKTION	12
3 BESKYTTELSEN AF GRUNDVAND OG DRILLEKVVAND	13
3.1 TRANSPORTVEJE FOR FORURENING	14
3.2 FORSKELLIGE GRUNDVANDSMAGASINERS SÅRBARHED	15
3.2.1 Den umættede zone	15
3.2.2 Den mættede zone	16
4 BORINGSNÆRE BESKYTTELSESONRÅDER (BNBO)	17
4.1 FORMÅL MED BNBO	17
4.2 FASTLÆGGELSE AF BNBO	17
4.3 AREALET AF BNBO	17
4.3.1 Datagrundlag og definitioner	18
4.3.2 Beregningsmetode og forudsætninger	18
4.3.3 Valg af data	19
4.4 FORM OG PLACERINGEN AF BNBO	21
4.5 SIMPEL METODE TIL AT JUSTERE PLACERINGEN AF BNBO	22
4.6 ANVENDELSEN AF MERE DETALJEREDE DATA	24
4.7 EKSEMPEL PÅ FASTSÆTTELSE AF BNBO	25
4.7.1 Mjolden vandværk ved Skærbæk i Sønderjylland	25
4.7.2 Ejstrup vandværk ved Kolding	25
4.7.3 Eksempel på usikkerhedsvurdering – Mjolden vandværk	26
5 REFERENCER	31

Appendikser

Appendiks 1:	Bestemmelse af den mættede lagtykkelse indenfor BNBO i frie magasiner
Appendiks 2:	Estimering af transmissiviteten ud fra boringens specifikke ydelse

Forord

Denne vejledning henvender sig til alle der beskæftiger sig med grundvandsbeskyttelse, men er primært rettet mod de parter, der planlægger og udfører grundvandsbeskyttelse relateret til fysisk beskyttelse af områder omkring og tæt ved boringer. Den primære målgruppe er vandforsyninger, kommuner og rådgivere.

Vejledningen har berøringsflader til Miljøstyrelsens vejledning om Zonering /1/.

Vejledningen beskriver de juridiske og tekniske forhold i relation til etablering af boringsnære beskyttelsesområder (BNBO) om indvindingsboringer.

Vejledningens anvisninger er ikke bindende, men giver grundlaget for en mere ensartet fastlæggelse af boringsnære beskyttelsesområder, hvorfor kommunalbestyrelsen, vandværker rådgivere m.v. bør tage udgangspunkt i vejledningen.

1 Indledning

1.1 Baggrund for vejledningen

Denne vejledning udspringer af overvejelserne i det såkaldte "300 meter udvalg", som Miljøministeren nedsatte i 2003 med repræsentanter fra Foreningen af Vandværker i Danmark (DVF), Dansk Vand- og Spildevandsforening (DANVA), Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Miljøstyrelsen.

Udvalget blev nedsat med henblik på at få afklaret det faglige grundlag i forhold til, om der er behov for at udvide beskyttelseszonerne omkring indvindingsboringerne. Udvalgets opgave var, at vurdere effekten af større sprøjtefrie zoner omkring vandindvindingsboringer, herunder:

- at vurdere effekten af de nuværende zoner til at beskytte vandindvindingen mod forurening med de pesticider (og nedbrydningsprodukter heraf) som anvendes i dag
- at vurdere i hvilket omfang en udvidelse af beskyttelseszonen vil medføre en forbedret beskyttelse af vandindvindingen
- at belyse typiske danske forhold af relevans for stillingtagen om størrelse og udformning af beskyttelseszoner omkring vandindvindingsboringer, herunder jordbunds- og klimatiske forhold, samt typer af aquiferer og indvindingsstørrelser og at fremkomme med anbefalinger til, hvordan størrelsen af beskyttelseszonen i givet fald kan fastlægges
- at vurdere størrelsen af det samlede areal af beskyttelseszonerne i Danmark under hensyn til forskellige scenarier for, hvor mange vandværker som vil indføre udvidede beskyttelseszoner
- at eksemplificere beskyttelseszoner som er afvejede efter geologiske, klimatiske og indvindingsmæssige forhold
- på baggrund af eksempler at vurdere effekten af en udvidelse af beskyttelseszonen sammenholdt med effekten af en beskyttelse af særligt sårbare områder i indvindingsoplandet under hensyn til de typiske geologiske forhold i Danmark.

Udvalgets arbejde omfattede ikke spørgsmål vedrørende landbrugsmæssige forhold samt økonomiske spørgsmål eksempelvis vedrørende kompensation til lodsejere ved etablering af beskyttelsesområder.

"300 meter udvalget" afsluttede sit arbejde i december 2003 med en række anbefalinger beskrevet i "Notat fra arbejdsgruppe til vurdering af større sprøjtefrie zoner omkring vandindvindingsboringer - "300 meter udvalget", December 2003".

Efterfølgende har Miljøstyrelsen vurderet spørgsmålet omkring etablering af beskyttelsesområder nøjere og vurderet, at der kan etableres beskyttelsesområder i medfør af den eksisterende miljøbeskyttelseslov, samt at beskyttelsen kan omfatte andre forhold, end at der ikke sprøjtes på området.

Folketinget behandlede den 8. juni 2005 et beslutningsforslag vedrørende beskyttelseszoner /2/. Miljøministeren tilkendegav her, at der var behov for, at Miljøstyrelsen udarbejdede nærmere retningslinier for etableringen af beskyttelseszoner.

1.2 Vejledningens formål

Formålet med denne vejledning er, at beskrive anvendelsen af miljøbeskyttelseslovens § 24 til etablering af boringsnære beskyttelsesområder (BNBO) omkring indvindingsboringer og de tekniske overvejelser, som med fordel kan gøres med hensyn til at vurdere størrelsen af BNBO.

Den primære målgruppe for vejledningen er vandværker, kommuner og rådgivere.

Vejledningen er opdelt i følgende overordnede blokke:

- Juridiske forhold.
- Tekniske forhold.
- Appendiks.

1.3 Afgrænsning af vejledningens indhold

Denne vejledning er afgrænset til at beskrive de juridiske og tekniske overvejelser og muligheder for at etablere beskyttelsesområder i medfør af miljøbeskyttelsesloven.

Etablering af BNBO har grænseflade til den fysiske sikringszone /3/, zonerings /1/ og tilhørende indsatsplanlægning /4/.

BNBO vil typisk omfatte arealer større end den fysiske sikringszone (også benævnt fredningsbæltet) med en radius på 10 m omkring boringen og områder, som er 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 zonerings, hvor der indgår detaljeret hydrogeologisk kortlægning.

Vejledningen om BNBO omhandler ikke økonomiske spørgsmål om størrelsen af kompensation til lodsejere, såfremt der udlægges et BNBO.

2 Gældende lovgivning

I det følgende beskrives rammerne for anvendelsen af vandforsyningslovens § 13 d og miljøbeskyttelseslovens § 24 og 26 a.

2.1 Frivillige aftaler, vandforsyningslovens § 13d

Bestemmelsen i vandforsyningsloven lyder:

§ 13 d. En kommunalbestyrelse eller ejeren af et alment vandforsyningsanlæg kan for at gennemføre en indsatsplan vedtaget efter § 13 eller § 13 a indgå aftale med ejeren af eller indehaveren af andre rettigheder over en ejendom om dyrkningspraksis eller andre restriktioner i arealanvendelsen eller indgå aftale om salg af hele eller dele af ejendommen til kommunen eller vandforsyningsanlægget. Efter høring af ejeren af et alment vandforsyningsanlæg kan det i en aftale indgået af kommunalbestyrelsen bestemmes, at vandforsyningsanlægget helt eller delvis skal betale det beløb, der ifølge aftalen tilkommer ejeren af eller indehaveren af andre rettigheder over ejendommen under forudsætning af, at anlægget har fordel af aftalen.

Stk. 2. Ejeren af et alment vandforsyningsanlæg skal, inden der indgås aftale efter stk. 1, meddele indholdet af den påtænkte aftale til kommunalbestyrelsen. Kommunalbestyrelsen påser, at aftalen ikke strider mod vandplanen, jf. lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder, eller indsatsplaner vedtaget efter § 13 eller vil vanskeliggøre gennemførelsen af disse planer. Fremsætter kommunalbestyrelsen inden for en frist af to uger indsigelse mod aftalen, kan denne ikke indgås.

Stk. 3. Aftaler efter stk. 1 kan tinglyses med prioritet forud for alle rettigheder i ejendommen. § 64 i lov om offentlige veje finder anvendelse med hensyn til udbetalingen af det aftalte beløb.

Kommunalbestyrelsen, kan jf. § 13 d indgå en frivillig aftale med en landmand om kompensation som følge af f.eks. dyrkningsrestriktioner. Landmanden kan sælge hele eller dele af ejendommen. Bestemmelsen vedrører alene de aftaler om fast ejendom, som indgås for at realisere en indsatsplan. Alt efter aftalens ordlyd udløser den erstatning. Aftalen er som nævnt frivillig.

2.2 Miljøbeskyttelsesloven § 24 og 26 a

Bestemmelsen i miljøbeskyttelsesloven lyder:

”§ 24, stk. 1. Kommunalbestyrelsen kan give påbud eller nedlægge forbud for at undgå fare for forurening af bestående eller fremtidige vandindvindingsanlæg til indvinding af grundvand.”

Bestemmelsen i § 24 giver mulighed for ved påbud eller forbud at fastsætte konkrete beskyttelsesforanstaltninger som supplement til §§ 22-23 i miljøbeskyttelsesloven.

Det er en betingelse, at det kan begrundes, at en given aktivitet, situation eller et lignende forhold kan true eller truer med at forurene vandindvindingsanlæg. Det er således ikke tilstrækkeligt, at forureningen truer grundvandet generelt.

Det følger heraf, at påbud eller forbud efter § 24 kan meddeles, når der konstateres en forurening eller en fare for en forurening. Det er kommunalbestyrelsen, der har bevisbyrden for:

- at der består en forurening eller fare herfor
- at indgrebet er begrundet i denne fare
- at indgrebet ikke er mere vidtgående end nødvendigt.

Påbud rettes til grundejeren, men kan også rettes til en lejer eller bruger af et areal, når denne har forårsaget forureningen eller fare herfor, under forudsætning af, at brugeren har den nødvendige rådighed over ejendommen. Denne praksis er bl.a. begrundet i, at § 24 er formuleret som en regel, der hjemler påbud til den, der har rådighed over ejendommen /5/.

Bestemmelsen kan anvendes såvel med henblik på forebyggelse af fremtidig forurening som på gennemførelse af oprydning efter en stedfunden forurening. Anvendelse af § 24 til forebyggelse af forurening er i praksis sket ved fastlæggelse af fredningsbælter omkring vandboringer med forbud mod gødskning, anvendelse af gifte og bekæmpelsesmidler. Bælterne har typisk haft en radius på 10 meter og fastlægges normalt i forbindelse med tilladelse til det pågældende anlæg efter vandforsyningsloven.

Miljøbeskyttelseslovens § 24 begrænser ikke beskyttelseszonen til 10 meter omkring vandboringen. Det afgørende i forhold til størrelsen af zonen er, om forbudet eller påbudet er nødvendigt for at imødegå en fare for forurening af den grundvandsressource, som et eksisterende eller et fremtidigt anlæg indvinder fra eller vil indvinde fra.

Bestemmelsen tager også sigte på forbud mod visse gødningsanvendelser på nabogrunde, påbud om omlægning af kloakledninger, således at ledningerne bliver mere sikre /6/ eller fjernelse af nedgravede olietanke¹, hvorved også fare for nedsivning gennem jorden og dermed forurening af grundvandsressourcen kan omfattes.

Rækkevidden af § 24 er således længere end til alene at omfatte forbud eller påbud til sikring af selve **anlægget** og risikoen for en udledning **direkte i vandboringen**. Hvorvidt der skal betales erstatning i anledning af et forbud eller påbud efter § 24, afgøres af taksationsmyndighederne. Forbud eller påbud vedr. lovligt bestående forhold, herunder lovlig anvendelse og oplagring af gødningsstoffer i landbrug, gartneri og skovbrug, kan dog kun gives mod fuldstændig erstatning, medmindre andet følger af andre retsregler, jf. miljøbeskyttelseslovens § 63.

Miljøbeskyttelseslovens § 26a giver kommunalbestyrelsen ret til, at gennemføre tvungne rådighedsindskrænkninger. Der skal i den forbindelse være vedtaget en indsatsplan efter reglerne i vandforsyningslovens § 13 eller 13a.

Bestemmelsen lyder:

¹ Bemærkningerne til den dagældende § 42 i Vandforsyningsloven, som svarer til mbl's § 24.

§ 26a. Når der er vedtaget en indsatsplan for et område efter vandforsyningslovens § 13 eller § 13 a, kan kommunalbestyrelsen, hvis der ikke kan opnås en aftale herom på rimelige vilkår, endeligt eller midlertidigt mod fuldstændig erstatning pålægge ejeren af en ejendom i området de rådighedsindskrænkninger eller andre foranstaltninger, som er nødvendige for at sikre nuværende eller fremtidige drikkevandsinteresser mod forurening med nitrat eller pesticider.

Stk. 2. Miljø- og energiministeren fastsætter nærmere regler for, i hvilke tilfælde og på hvilket dokumentationsgrundlag der kan meddeles pålæg efter stk. 1.

Stk. 3. Reglerne i § 45 og §§ 47-49 i lov om offentlige veje finder tilsvarende anvendelse i forbindelse med gennemførelse af pålæg efter stk. 1, idet det dog er kommunalbestyrelsen, der udfører de opgaver, som er tillagt vejbestyrelsen i henhold til lov om offentlige veje.

Stk. 4. Ved kommunalbestyrelsens pålæg af rådighedsindskrænkninger eller andre foranstaltninger efter stk. 1 skal de meddelte pålæg respekteres af indehaveren af enhver rettighed over ejendommen, medmindre andet bestemmes i det enkelte tilfælde.

Stk. 5. Kommunalbestyrelsen kan for ejerens regning lade et pålæg tinglyse på ejendommen. Hvis pålægget bortfalder, skal kommunalbestyrelsen lade pålægget aflyse fra tingbogen.

§ 24 er således den brede bestemmelse som giver hjemmel til påbud eller forbud for at undgå fare for eller forurening af grundvandet. § 26a rummer samme beskyttelse, dog med det krav, at der skal være vedtaget en indsatsplan for området. Hvis der ikke foreligger en indsatsplan, er det alene § 24, som kan anvendes.

Anvendelsen af beskyttelseszoner skal anvendes, hvor kommunalbestyrelsen vurderer, at der kan ske en forurening, som vil føre til en overskridelse af grundvandskriterierne /7/, som er fastsat ud fra en vurdering af at grundvandet skal kunne opfylde drikkevandskriterierne efter normal simpel vandbehandling.

Lovlige forhold, der medfører fjernere liggende fare for forurening af vandforsyningen, er omfattet af § 24².

Kommunalbestyrelsen skal i den konkrete situation udøve et skøn over, hvor fjerntliggende faren for forurening må være, ved at afveje hensynet mellem vandboringens vigtighed og de geologiske forhold omkring vandboringen jf. proportionalitetsprincippet.

Da vurderingen omfatter en potentiel fremtidig forurening, er det vanskeligt at opstille præcise retningslinier for vurderingen, da forureningstype, mængde, spildemåde og afstand til boringen ikke er kendt på vurderingstidspunktet.

Vurderingen og skønnet kan eksempelvis tage udgangspunkt i følgende forhold:

- den mulige anvendelse af arealet, den mulige aktivitet på arealet og de mulige anlæg og installationer på arealet,
- de hydrogeologiske forhold,
- den mulige forureningsmængde, som skal spildes for at forurene grundvandet eller indvindingsboringen,

² Miljøbeskyttelsesloven med kommentarer, s. 589.

- konsekvensen for grundvandet og indvindingen, herunder om boringen kunne blive permanent eller midlertidigt lukket,
- de forsyningsmæssige konsekvenser af en forurening.

2.3 Arten af restriktion

Der kan ikke angives en fuldstændig liste over, hvilke forhold der kan nedlægges forbud mod eller påbud om. Følgende er en mulig liste over forhold, som kunne være relevante:

- Oplag og håndtering af kemikalier, herunder olie- og benzinprodukter, opløsningsmidler, samt salt, pesticider og gødning.
- Anlæg og drift af vaskepladser til brug for landbrugsdrift og anden erhvervs-mæssig drift og anvendelse af vaskepladser.
- Aktiviteter, anlæg eller forhold med henblik på at forebygge eller forhindre uheld, overdosering eller fejlanvendelse af kemikalier, herunder olie- og benzinprodukter, opløsningsmidler, samt salt, pesticider og gødning.
- Anvendelse af pesticider på afgrøder, gårdspladser, fodboldbaner m.m. med henblik på at forebygge spild, uheld og fejdoseringer.
- Etablering af jordvarmeanlæg, oplag af kemikalier i miljøcontainer, herunder olie- og benzinprodukter, opløsningsmidler samt salt, pesticider og gødning.

Restriktionerne skal have til formål at forhindre, at der sker en forurening eller at begrænse risikoen for uheld, som kan medføre en forurening af grundvandet og dermed boringen.

3 Beskyttelsen af grundvand og drikkevand

I Danmark skal den generelle grundvandsbeskyttelse opretholde eller forbedre grundvandskvaliteten, så den er egnet til drikkevand efter simpel vandbehandling svarende til beluftning og sandfiltrering.

Udpegningen af områder med særlig beskyttelsesstatus sker især med henblik på at målrette indsatsen, men indebærer ikke at grundvandet må forurenes andre steder, idet den generelle forebyggende indsats skal have høj prioritet overalt. Udpegningen af drikkevandsområder og BNBO skal således ses som et supplement til den generelle grundvandsbeskyttelse.

For at undgå at grundvand, som strømmer ind til en boring, har for ringe kvalitet til at kunne anvendes til drikkevand efter simpel vandbehandling, bør hver enkelt forureningskilde ikke give anledning til en forurening, som fører til overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet under forureningskilden. Dette princip sikrer også, at forurening af grundvandet fra flere forureningskilder ikke adderes op i en boring, samt at den første kendte forureningskilde ikke "fylder op" til grundvandskriteriet.

I forbindelse med zoner og gennemførelse af indsatsplaner foretages der i disse år en meget omfattende hydrogeologisk kortlægning finansieret af gebyrer. En forureningshændelse i boringens nærområde kan i værste tilfælde føre til at magasinet forurenes i så lang tid, at indvindingen af vand må stoppes, eller at der skal gennemføres meget bekostelig oprydning og afværgeoppumpning. Dette kan betyde, at den øvrige indsats i boringens indvindingsopland er spildt.

Der er en lang række mulige kilder, som kan forurene grundvandet, herunder jordforureninger og igangværende aktiviteter og virksomheder eksempelvis benzinstationer, renseserier og landbrug, hvor fejlhåndtering og spild eller uheld af kemikalier eller gødningsstoffer kan føre til forurening af grundvandet.

I Depotrådets redegørelse fra 2004 er der foretaget en opgørelse over årsagen til, at borer tilhørende almene vandværker er lukket, se tabel 1 /8/. Det skal bemærkes, at der i redegørelsen tages forbehold for, at datagrundlaget er mangelfuldt.

Tabel 1: Antallet af lukkede borer ved almene vandværker. Inkluderer også oplysninger om lukning, hvor året for lukning mangler.

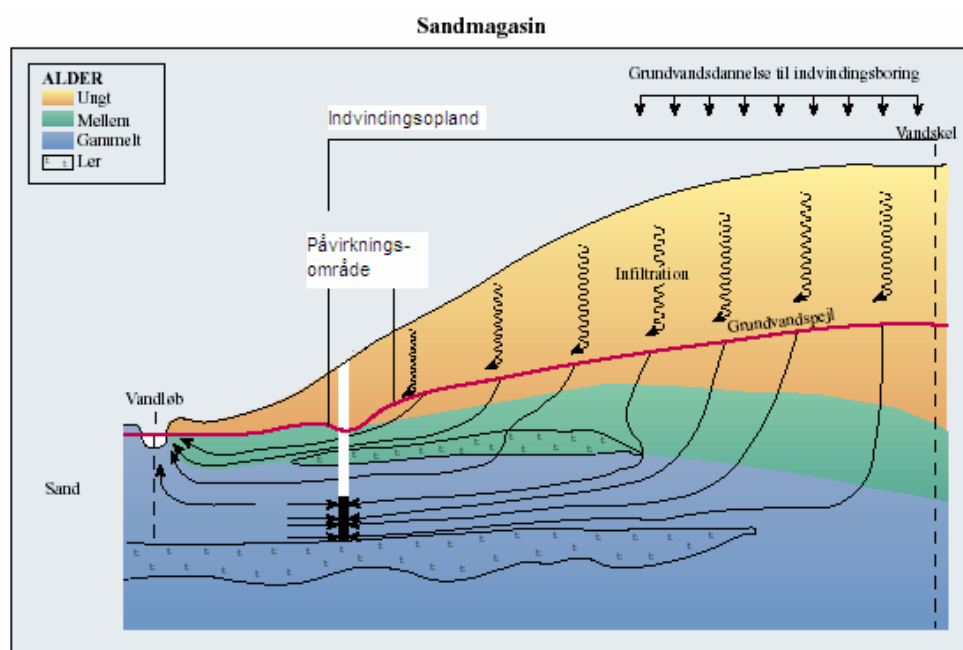
	Før 1987 ¹	1987-2003	2004	Total
Naturskabte kvalitetsproblemer og tekniske årsager	319	712	31	1062
Pesticider	11	475	43	529
Andre miljøfremmede stoffer	11	141	6	158
Nitrat	36	175	8	219
Anden årsag eller ukendt	147	419	22	588
I alt	524	1922	110	2556

3.1 Transportveje for forurening

En forurening vil typisk sprede sig fra terrænoverfladen eller fra en given dybde under terræn i den umættede zone og til grundvandsmagasinet. Forurening på terrænoverfladen kan skyldes fejlhåndtering og/eller tab af dunke eller beholdere. Forurening under terræn kan ske som følge af brud på tank eller rørsystem samt fra bortskaffelse af affald ved nedgravning.

Der kan også ske en direkte forurening af grundvandsmagasinet uden infiltration gennem den umættede zone. En mulig transportvej er langs ydersiden af borerøret, såfremt boringen ikke er udført korrekt, at sløjfede boringer ikke er afproppet korrekt, eller hvis der direkte tabes eller tilføres forurening til boringen. I det følgende antages det, at boringer er udført forskriftsmæssigt, så der ikke sker krydskontaminering, samt at den fysiske sikringszone sikrer, at der ikke sker en direkte forurening af grundvandsmagasinet via indvindingsboringen.

Alle forureninger på opløst form inden for en borings indvindingsopland, som ikke nedbrydes inden for transporttiden frem til boringen, vil på et tidspunkt nå boringen. På figur 1 ses et eksempel på forskellen mellem en borings påvirkningsområde (influenszone), indvindingsoplandet, og hvor hovedparten af grundvandsdannelsen tænkes at ske. Under normale forhold vil der også ske infiltration gennem dæklaget af moræneler mellem boringen og det grundvandsdannende område, hvis boringen er filtersat i gennem hele magasinet. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at BNBO ikke har til formål at beskytte hele indvindingsoplandet, og at der vil være en række situationer, hvor BNBO og det dominerende grundvandsdannende område ikke er sammenfaldende.



Figur 1: Illustration af påvirkningsområdet, indvindingsoplandet og det dominerende grundvandsdannende opland. Figur er modificeret efter /9/.

3.2 Forskel l i ge grundvandsmagasiners sårbarhed

Et grundvandsmagasins sårbarhed afhænger af en lang række faktorer, som er styrende for stoftransporten fra forureningskilden, typisk gennem den umættede zone til den mættede zone og gennem den mættede zone til indvindingsboringen.

De helt centrale forhold er følgende:

- Typen og mængden af forurening bl.a. om det er en organisk eller uorganisk forurening, herunder om der sker sorption og nedbrydning.
- Den geologiske opbygning og sammensætning af den umættede og mættede zone.
- Magasinets trykforhold.

Disse forhold vil samlet set styre transporttiden og koncentrationen samt fluxen af stof, som vil kunne nå en given indvindingsboring.

3.2.1 Den umættede zone

I Danmark er der store variationer i mægtigheden af den umættede zone både geografisk og tidsmæssigt pga. infiltrationsmængdens variation over året. Typisk vil mægtigheden være mellem 2-20 m til det først kommende grundvandsmagasin.

Vandets transporttid gennem den umættede zone, vil variere alt efter aflejringsstype, mægtighed og infiltrationsmængde.

Hvis der ved stor nedbørsintensitet opstår mættede forhold i dobbelt porøse aflejringer f.eks. opsprækket ler, kan der ske en meget hurtig passage gennem den umættede zone.

Ud fra en betragtning om, at der opstår kortvarige mættede forhold og ved antagelse om en enhedsgradient kan følgende vertikale vandhastigheder bestemmes, se tabel 2 efter /10/ og /11/.

Tabel 2: Intervaller over vertikal strømningshastighed i den umættede zone.

Aflejringsstype i den umættede zone	Strømningshastighed
Grus	10 – 100 m/t
Sand	10 cm/dg – 30 m/dg
Silt	1 cm/år – 1 m/år
Ler	1 – 10 cm/år
Sandet till	10 m/år – 1 m/t
Leret till	10 cm/år – 100 m/år
Tørv	1 – 100 m/år

Andre /12/ angiver, at typiske vandhastigheder i den umættede zone er 0,5 – 2m/år, hvilket kunne antyde, at værdien for ler i tabel 2 er i den lave ende af intervallet.

En forureningsfront vil ved sorption bevæge sig langsommere end den gennemsnitlige lineære porevandshastighed.

Som det fremgår, kan der være meget stor variation i transporttiden gennem den umættede zone og i mange tilfælde, vil der ikke være data til at foretage en mere detaljeret beskrivelse.

3.2.2 Den mættede zone

Grundvandets strømningshastighed i den mættede zone er styret af magasinets hydrauliske ledningsevne, gradienten og størrelsen af den effektive porøsitet.

Typiske porevandshastigheder ligger i intervallet fra 10 – 1000 m/år /12/.

Generelt set vil frie magasiner være mere sårbare over for forurening end spændte magasiner, da dæklaget mangler og da mægtigheden af den umættede zone typisk er lille.

Afsænkningen omkring en pumpeboring vil for en given indvinding variere i forhold til om magasinet er frit eller spændt, og i forhold til magasinets transmissivitet og magasintal.

Generelt vil grundvandshastigheden stige, når afstanden til boringen mindskes.

Når der pumpes fra et frit magasin, vil vandbevægelsen hovedsagelig være horisontal mod boringen.

I spændte magasiner vil der typisk være en vertikal vandtransport gennem dæklaget fra et eventuelt overliggende magasin samt en horisontal transport mod boringen i selve magasinet.

Inden for boringens påvirkningsområde, vil der dannes en øget nedadrettet gradient, som vil gøre det spændte magasin mere sårbart over for forurening sammenlignet med området uden for boringens påvirkningsområde.

Afhængig af de geologiske forhold og oppumpningens størrelse, kan der dannes en nedadrettet gradient tæt på boringen, selv om et område regional set har artesiske forhold med trykniveau over terræn.

En forurening vil som følge af en eventuel sorptionseffekt bevæge sig langsommere end den gennemsnitlige lineære porevandshastighed.

4 Boringsnære beskyttelsesområder (BNBO)

4.1 Formål med BNBO

Formålet med at etablere BNBO er, at:

- Forhindre eller begrænse risikoen for forurening af grundvand i boringens nærområde og derved beskytte drikkevandet.
- Sikre responstid og evt. arealer til at foretage oprydning og afværgeforanstaltninger.
- Evt. give mulighed for at forbedre overvågningen af grundvandskvaliteten.

4.2 Fastlæggelse af BNBO

Når BNBO skal fastlægges i forhold til en konkret boring, skal arealet, formen og placeringen af arealet bestemmes.

I overensstemmelse med anbefalingen fra "300 meter udvalget" bør der foretages en lokal, konkret vurdering i forhold til udlægningen af beskyttelsesområdet.

Den konkrete vurdering af BNBO skal afvejes efter geologiske, klimatiske og indvindingsmæssige forhold.

I de følgende afsnit beskrives metoden til at vurdere størrelsen af BNBO, herunder metodens forudsætninger og valg af inddata til beregningen, og derefter hvordan formen og placeringen af arealet kan bestemmes.

4.3 Arealet af BNBO

Inden for et BNBO vil der typisk være behov for beskyttelse mod organiske forureninger. I bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg /14/, er tidsperioden mellem hver kontrol for organiske mikroforureninger angivet. Princippet er, at jo større indvindingen er, jo hyppigere skal der foretages kontrol, dog stiger kontrolfrekvensen ikke proportionalt med indvindingsstørrelsen.

Størrelsen af BNBO kan derefter angives ud fra tidsperioden mellem kontrollen for organiske mikroforureninger. Radius af BNBO skal således svare til grundvandets strømningstid fra randen af BNBO og til boringen, der som minimum svarer til tidsperioden mellem hver kontrol.

Størrelsesordenen af BNBO fastlægges således indirekte ud fra kontrolfrekvensen af boringen. Hvis der eksempelvis udføres kontrol 1 gang pr. år, beregnes radius af BNBO, som den afstand grundvandet strømmer på 1 år.

Hvis der etableres repræsentativ grundvandskontrol ved BNBO's yderste afgrænsning, vil det teoretisk medføre, at der ikke kan indvindes forurenede grundvand mellem to boringskontroller, såfremt der sker en forurening uden for BNBO.

Det beregnede areal af BNBO bør opfattes, som det maksimale areal inden for hvilket, hvor der kan give påbud eller nedlægges forbud for at undgå fare for forurening. I en række tilfælde vil der ikke være behov for beskyttende foranstaltninger inden for hele arealet som BNBO dækker.

4.3.1 Datagrundlag og definitioner

Der er inden for de seneste 10 til 15 år udarbejdet en række publikationer, som beskriver teori, undersøgelsesmetoder og afprøvning i relation til forskellige former for områdeudpegning og zoneopdelt grundvandsbeskyttelse /15-18/.

Endvidere blev der i samme periode i forskellige stater i USA gennemført store programmer og udarbejdet vejledninger om afgrænsning af områder til beskyttelse af indvindingsboringer /19-21/.

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

4.3.2 Beregningsmetode og forudsætninger

BNBO's størrelse kan vurderes ud fra et simpelt hydrogeologisk princip, hvor der beregnes en fast radius i forhold til boringens indvindingsmængde /19/.

Beregningen er baseret på en volumetrisk balance mellem oppumpet vandmængde og mængden af vand i magasinet, se figur 2. Sammenhængen kan beskrives på følgende måde:

Volumen oppumpet i boring = Volumen i cylinder omkring boring.

Dette giver følgende ligning

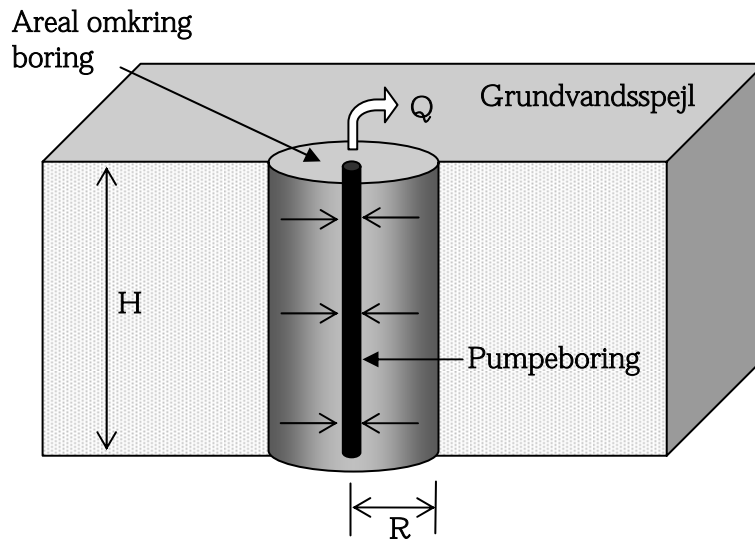
$$Q \cdot t = \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot n_{eff}$$

eller

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot H \cdot n_{eff}}}$$

Følgende størrelser indgår i formlen:

R (m):	Radius
Q (m ³ /år):	Indvindingsraten fra boringen
t (år):	Strømningstiden til boringen
H (m):	Mægtigheden af magasinet
n_{eff} (-):	Magasinets effektive porøsitet



Figur 2: Viser en skitse over beregningsprincippet. Figuren er modificeret efter /19/.

Radius udtrykker den tid det tager grundvandet at strømme hen til boringen ved den givne indvindingsmængde.

Metoden tager ikke højde for, at grundvandsspejlet eller trykniveauet har en naturlig, regional gradient og vil derfor give for lille beskyttelse i opstrøms retning og for stor beskyttelse i nedstrøms retning.

I beregningen forudsættes endvidere homogene og isotrope magasinforhold, konstant indvindingsrate, at boringen er filtersat i gennem hele magasinet og korrigerer ikke for den infiltrerende vandmængde. Hvis disse forudsætninger ikke er opfyldt, kan beregningen stadig foretages, men usikkerheden øges.

Endvidere bør det bemærkes, at såfremt der sker sorption af et evt. forurenende stof, vil stoffrontens hastighed være mindre end den gennemsnitlige lineære porevandshastighed i magasinet.

4.3.3 Valg af data

Til beregningen af radius og areal af BNBO skal følgende parametre vurderes og bestemmes:

Indvindingsmængden fra boringen

Indvindingsmængden sættes svarende til indvindingstilladelsen for boringen. Hvis der er flere boringer anvendes den gennemsnitlige tilladte indvindingsmængde beregnet pr. boring, medmindre den er kendt for hver enkelt boring. Hvis der aktuelt er en mindre indvinding end størrelsen af indvindingstilladelsen, beregnes boringernes indvindingsmængde forholdsmæssigt i forhold til størrelsen af indvindingstilladelsen.

Strømningstiden til boringen

Strømningstiden fastsættes ud fra frekvensen af kontrollen for organiske mikroforureninger for hver enkelt boring, som varierer afhængigt af indvindingsmængden som angivet i tabel 3.

Da kontrolfrekvensen dækker et indvindingsinterval anses dette rimeligt robust i forhold til ændringer af kontrolfrekvensen, hvilket således ikke bør ændre på fastsættelsen af BNBO.

Tabel 3: Angiver kontrolfrekvensen for organiske mikroforureninger i dage ved forskellig indvindingsmængde med udgangspunkt i /14/.

Indvindingsmængde	Kontrolfrekvens
m ³ /år	Antal dage
3.000 - <35.000	730
35.00 - <350.000	365
350.000 - <1,5 mill.	182
1,5 mill. - <2,66 mill.	122
2,66 mill. - >3,5 mill.	91

Mægtighed af magasinet

For spændte magasiner sættes mægtigheden lig magasinets tykkelse, uanset om boringen er partielt filtersat eller filtersat over hele magasinets mægtighed.

For frie magasiner sættes mægtigheden lig den vandmættede tykkelse ved indvindingsboringen ved den årlige middelloppumpningsrate, hvis der er filtersat gennem hele magasinets tykkelse.

Hvis boringen er partielt filtersat, defineret som mindre end 85 % af magasinets mægtighed, vil effekten være en større afsenkning tæt ved boringen svarende til en afstand på 1,5 - 2 gange den vandmættede mægtighed ved boringen. Dette er under antagelse af, at magasinet er isotropt og homogent. I større afstand vil afsenkningen svare til at boringen var filtersat over hele magasinets mægtighed.

For partielt filtersatte boringer i frie magasiner, kan der være behov for at foretage en korrektion af mægtigheden, da afsenkningen vil reducere den vandmættede mægtighed af magasinet.

Hvis mægtigheden af magasinet er angivet ud fra rovandspejlet og der er tale om en partielt filtersat boring (filtersat i mindre end 85 % af magasinets mægtighed), bør der ske korrektion efter Appendiks 1 "Bestemmelse af den mættede lagtykkelse indenfor BNBO i frie magasiner", som anviser en metode til bestemmelse af middelfafsenkningen, som så anvendes til at beregne radius af BNBO. Korrektionen vil føre til at radius af BNBO øges.

Hvis magasinets mægtighed bestemmes ved pejling i pumpeboringen ved den årlige middelloppumpningsrate, vil radius af BNBO blive for stor, hvorfor der også bør foretages korrektion efter principperne i Appendiks 1. Korrektionen vil føre til at radius af BNBO reduceres.

Magasinets effektive porøsitet

Den effektive porøsitet udgør den del af totalporøsiteten, hvor der foregår strømning af grundvand. Ud af totalporøsiteten er der en del af porerummene, som ender blindt, eller som er så små, at der reelt ikke foregår nogen vandtransport. Værdierne i intervallet angivet i tabel 4, kan anvendes, såfremt der ikke foreligger data fra lokaliteten.

Tabel 4: Effektive vandmættede porøsiteter sammenfattet efter /22/.

Magasin aflejring	Effektiv porøsitet
Mellemkornet sand	0,15 – 0,30
Groft sand	0,2 – 0,35
Grus	0,1 – 0,35
Kalksten	0,01 – 0,24

4.4 Form og placeringen af BNBO

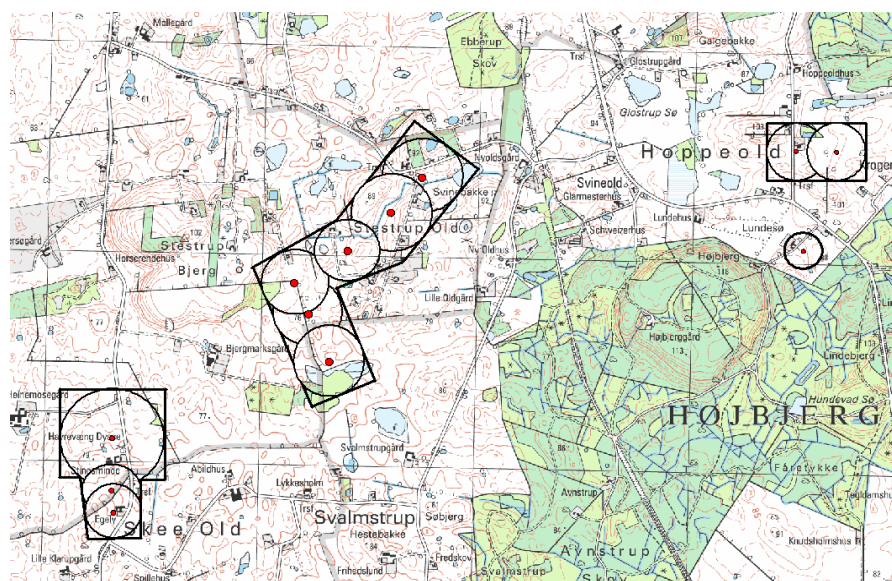
Når radius og dermed areal af BNBO er beregnet, skal området udlægges i praksis efter enkle og operationelle principper.

Fremgangsmåden er afhængig af, om der er tale om en enkelt boring eller en kildeplads, hvor flere boringer har overlappende beskyttelsesområde.

Er der tale om en vandforsyning med en enkelt boring eller en kildeplads, hvor der ikke er overlap mellem de enkelte boringers beskyttelsesområde, er BNBO en cirkel med den beregnede radius.

Hvis der er tale om en vandforsyning, som har 2 eller flere boringer, hvor boringerens beskyttelsesområde overlapper hinanden anvendes den arealmæssigt mindste polygon, som omkranser de enkelte boringers BNBO.

Der er vist eksempler på udformningen af BNBO på figur 3, som viser 3 fiktive kildepladser anbragt et tilfældigt sted. Cirklene repræsenterer de enkelte boringers BNBO, og polygonerne det samlede beskyttelsesområde for kildepladserne. Kildepladsen mod nordøst ses opdelt i to beskyttelsesområder.



Figur 3: Viser 3 fiktive kildepladser bestående af mellem 3 og 6 boringer, hvor der er udlagt boringsnære beskyttelsesområder. Gridstørrelsen er 1x1 km. Kort og Matrikelstyrelsen har copyright på baggrundskort.

Hvis der foreligger mere detaljerede oplysninger, bør de anvendes til vurdering af formen, placeringen og størrelsen af BNBO. Hvis eksempelvis magasinets naturlige potentiale eller grundvandsspejl har en høj gradient, kan dette give grundlag for at afvige den cirkulære form eller en koncentrisk placering af BNBO i forhold til boringen. f.eks. således, at cirklen forskydes i forhold til boringen, så en større andel af arealet placeres opstrøms boringen.

4.5 Simpel metode til at justere placeringen af BNBO

En simpel metode tager udgangspunkt i at BNBO's cirkulære form bibeholdes, men at cirklen forskydes i forhold til boringens stagnationspunkt.

Boringens indvindingsopland og stagnationspunkt kan beregnes ud fra følgende formler for såvel et spændt som et frit magasin /13/.

$$Y_L \text{ (Oplandsbredde v. boring)} = Q / 2 I T$$

$$X_L \text{ (Stagnationspunkt)} = Q / 2 \pi I T$$

$$Y_{L,opl} \text{ (Oplandsbredde opstrøms)} = Q / I T, \text{ hvor}$$

Q (m³/år): Indvindingsraten fra boringen

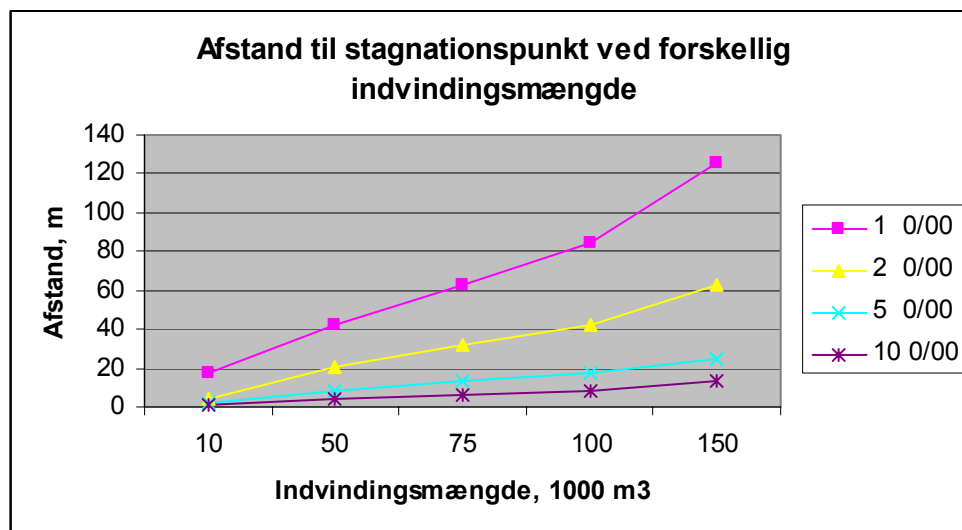
I (-): Grundvandets gradient

T (m²/år): Transmissivitet

Formlernes forudsætninger er et ensartet strømningsfelt og gradient samt at oppumpningen foregår i uendelig tid.

Størrelsen af typiske grundvandsgradienter er mellem 1 og 5 ‰, men kan være større, hvis topografien er stærkt hældende eller hvis området er påvirket af indvindinger.

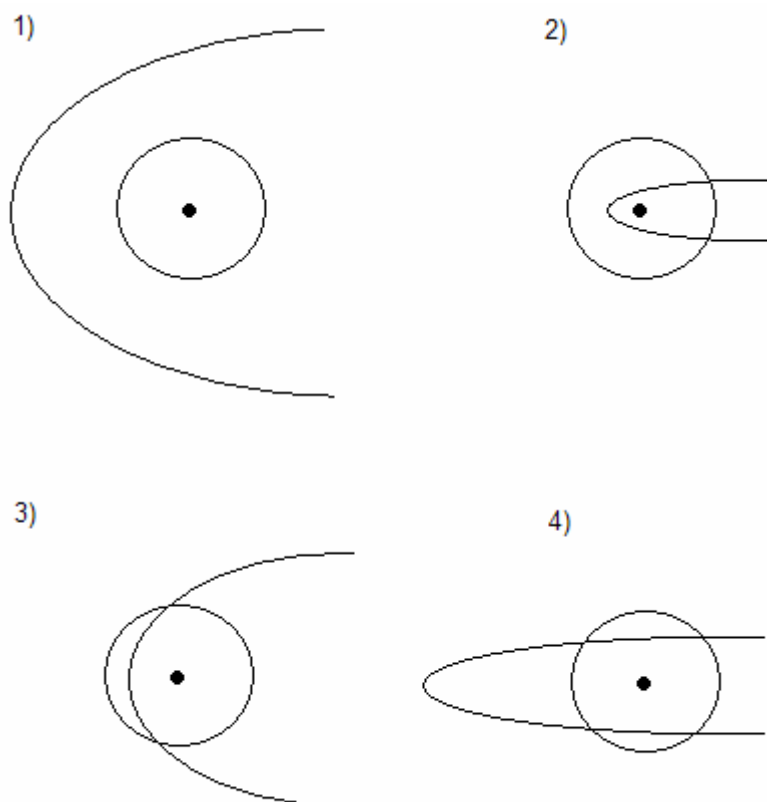
Det er en sammenhæng mellem placeringen af stagnationspunktet og grundvandets gradient. Jo større gradient, jo tættere på boringen vil stagnationspunktet ligge. Denne sammenhæng er vist i figur 4.



Figur 4: Viser afstanden til stagnationspunktet ved forskellige gradienter for indvindingsmængder fra 10.000 m³/år til 150.000 m³/år. Transmissiviteten er 0,006 m²/s svarende til 10 m kalkmagasin med $k=6e-4$ m/s eller 12 m sandmagasin med $k=5e-4$ m/s.

En evt. korrektion af BNBO tager udgangspunkt i at boringens stagnationspunkt og oplandsbredde ved boringen beregnes eksempelvis ved hjælp af vejledningens tilhørende regneark "Beregning af BNBO", som kan hentes på www.mst.dk

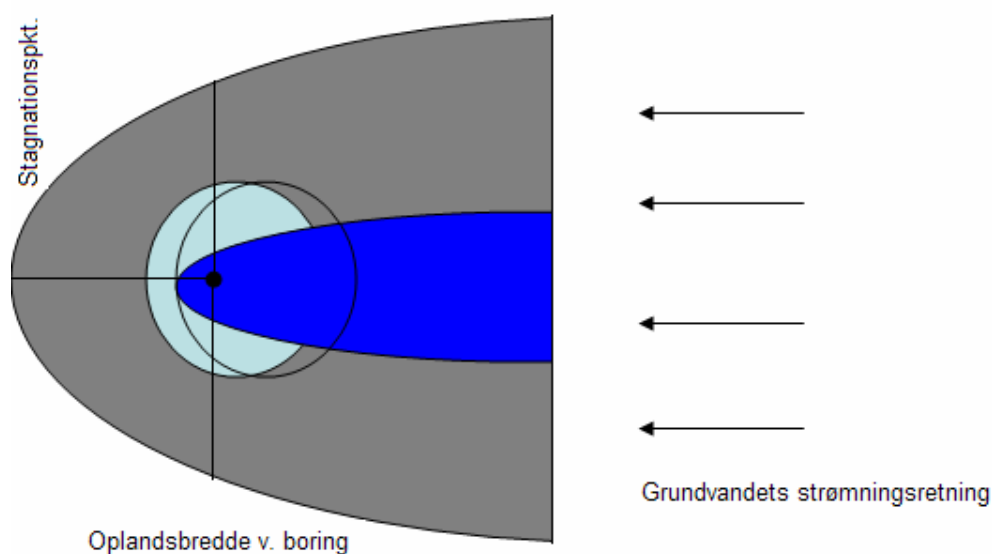
Herefter sammenlignes radius for BNBO med afstanden til stagnationspunktet og oplandsbredden ved boringen. Dette giver mulighederne vist i figur 5.



Figur 5: Illustrerer forskellige indvindingsoplande i forhold til BNBO.

I situation 1 på figur 5 er radius af BNBO mindre end afstanden til stagnationspunktet og oplandsbredden, hvorfor der ikke er behov for korrektion af BNBO. Dette er bl.a. illustreret på figur 6.

I situation 2 og 3 på figur 5 er afstanden til stagnationspunktet mindre end radius af BNBO, mens den halve oplandsbredde er hhv. mindre og større end radius af BNBO, hvorfor der bør ske korrektion af BNBO's placering. Her forskydes BNBO i opstrøms retning, så periferien af BNBO ligger i stagnationspunktet. Dette er bl.a. illustreret på figur 6.



Figur 6: Illustrerer to situationer; BNBO for det grå indvindingsopland, hvor der ikke sker korrektion og det korrigerede BNBO for det blå indvindingsopland, hvor BNBO er forskudt opstrøms.

I situation 4 på figur 5 er afstanden til stagnationspunktet større end radius for BNBO, mens den halve oplandsbredde er mindre end radius af BNBO. Her er det optionelt, hvorvidt der foretages en korrektion. Hvis der foretages en korrektion kan BNBO enten forskydes nedstrøms i retning af stagnationspunktet eller arealet som ligger uden for indvindingsoplandet kan fordeles inden for indvindingsoplandet i nedstrøms- og opstrømsretning.

4.6 Anvendelsen af mere detaljerede data

Hvis der er opstillet en 3d-grundvandmodel for området, som omfatter boringen, vil boringens påvirkningszone, indvindingsopland og infiltrationsområde kendes. Her vil det være hensigtsmæssigt at anvende de mere detaljerede data til at fastlægge størrelsen og formen af BNBO. Normalt kan det ikke anbefales, at arealet af BNBO øges på basis af modelsimuleringer. Omvendt, kan der være situationer, hvor infiltrationsområdet er beliggende langt fra boringen eller hvor der kun sker en meget lille grundvandsdannelse tæt på boringen, hvilket kan begrunde at arealet af BNBO mindskes.

Grundvandsmodeller, som anvendes til dette formål, skal formentligt have en diskretisering i 10 m størrelsen og bør så vidt muligt følge anvisningerne i "Retningslinierne for opstilling af grundvandsmodeller" /25/.

4.7 Eksempel på fastsættelse af BNBO

I det følgende beskrives eksempler på, hvordan BNBO kan bestemmes i relation til to forskellige vandværker, hvor indvindingen sker fra to forskellige magasiner henholdsvis et spændt magasin og et frit magasin med udgangspunkt i data og beskrivelsen fra /15/ samt fiktive oplysninger, som gør eksemplerne mere illustrative. Beregningerne er udført i regnearket "Beregning af BNBO", som er bilagt vejledningen og som kan hentes fra www.mst.dk

4.7.1 Mjolden vandværk ved Skærbæk i Sønderjylland

Området er domineret af sandede aflejringer til ca. 10 – 15 m.u.t. beliggende over moræneler. Der indvindes fra 3 borer med en boreddybde på 9 m.u.t., som er filtersat fra 7 til 9 m.u.t. i smeltevandssand. Det er et frit grundvandsmagasin med et grundvandsspejl ca. 2 m.u.t. Der indvindes i alt 84.000 m³/år svarende til indvindingstilladelsen ligeligt fordelt på borerne.

Følgende BNBO kan beregnes for hver enkelt boring:

Inddata felt				
Indvinding			m ³ /år:	28000
Strømningstid til boring			Dage:	730
Effektiv porøsitet			[-]:	0.25
Mægtighed af magasin			m:	8
Beregnet radius BNBO			m:	94
Beregnet areal			m ² :	28000
			ha:	2.8

4.7.2 Ejstrup vandværk ved Kolding

Området er domineret af moræneler, smeltevandssand og morænegrusaflejringer. Aflejningssekvensen består af følgende:

Top,	Bund,	DGU-symbol	Beskrivelse
------	-------	------------	-------------

m.u.t	m.u.t		
0	7	ts (senglacial ferskvandssand)	(senglacial ferskvandssand).
7	27	Ml (glacial moræneler (leret till))	(glacial moræneler (leret till)).
27	30	Ds (glacial smeltevandssand)	(glacial smeltevandssand).

Der indvindes vand fra to borer i det spændte magasin. Den bedst beskrevne boring er filtersat fra 27 til 30 m.u.t. i smeltevandssandet. Magasinet trykniveau er beliggende ca. 7 m.u.t. Områdets geologi indikerer, at magasinet minimum har en udstrækning på 5 m dvs. til 32 m.u.t.

Der indvindes omkring 9.000 m³/år fordelt med 3.000 m³/år på boring 1 og 6.000 m³/år på boring 2. Indvindingstilladelsen giver ret til at indvinde 15.000 m³/år.

For at BNBO kan fastsættes i forhold til størrelsen på indvindingstilladelsen sættes borerens indvinding i forhold til 15.000 m³/år, således at boring 1 sættes til 5.000 m³/år og boring 2 sættes til 10.000 m³/år i beregningen af BNBO.

Følgende kan herefter beregnes:

For boring 1:

Inddata felt	Boring 1		
Indvinding		m ³ /år:	5000
Strømningstid til boring		dage:	730
Effektiv porøsitet		[-]:	0.25
Mægtighed af magasin		m:	5
Beregnet radius BNBO		m:	50
Beregnet areal		m ² :	8000
		ha:	0.8

For boring 2:

Inddata felt	Boring 2		
Indvinding		m ³ /år:	10000
Strømningstid til boring		dage:	730
Effektiv porøsitet		[-]:	0.25
Mægtighed af magasin		m:	5
Beregnet radius BNBO		m:	71
Beregnet areal		m ² :	16000
		ha:	1.6

4.7.3 Eksempel på usikkerhedsvurdering – Mjolden vandværk

Vurderinger baseret på dataintervallers yderpunkter giver resultater som spænder fra "worst case" til "best case", hvilket er en enkel og hurtig måde at foretage en første resultatvurdering på. Typisk vil det efterspørges, hvor stor

sandsynligheden er for, at resultatet bliver worst case eller hvordan forskellige udfald grupperer sig mellem worst case og best case.

I de tilfælde kan monte carlo simuleringer være en egnet metode til at give et overblik over, hvordan resultaterne (udfaldet) fordeler sig, når der tilfældigt vælges data inden for en given fordeling eller variation. Det bør konkret vurderes, hvilken fordeling som bedst afspejler variationen af data.

Statistiske vurderinger og følsomhedsberegninger bør altid følges af en vurdering af, hvorvidt de fornødne data med tilstrækkelig kvalitet er til rådighed, da statistiske beregninger ikke kan kompensere for en utilstrækkelig datamængde og/eller kvalitet.

Ud fra data fra Mjolden vandværk og regnearkene "Beregning af BNBO", som kan hentes på www.mst.dk, er der foretaget en monte carlo simulering.

Som det ses er radius for BNBO bestemt til en radius på 94 m ud fra nedenstående data:

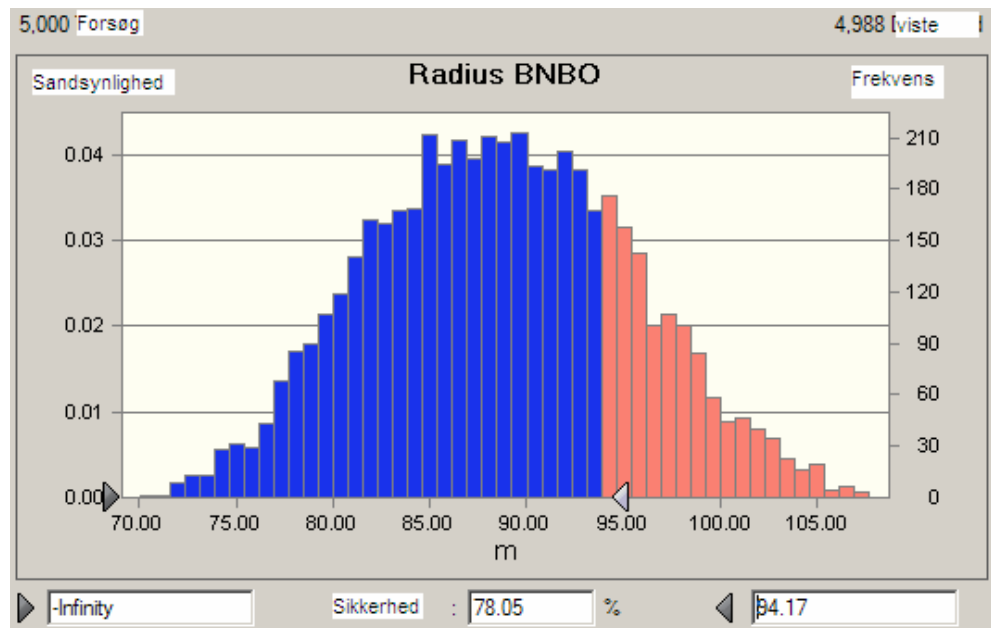
Inddata felt			
Indvinding		m3/år:	28000
Strømningstid til boring		Dage:	730
Effektiv porøsitet		[-]:	0.25
Mægtighed af magasin		m:	8
Beregnet radius BNBO		m:	94
Beregnet areal		m ² :	28000
		ha:	2.8

Der er efterfølgende foretaget et monte carlo simulering baseret på 5000 beregninger med en triangular fordeling med følgende datavariation:

	Minimumsværdi	Sandsynlig værdi	Maksimumværdi
Indvinding, m3/år	25667	28000	30333
Strømningstid til boring, dage	730	730	730
Effektiv porøsitet, [-]	0.2	0.25	0.35
Mægtighed af magasin, m	7	8	11

Nb: Indvindingen varierer mellem 77.000 og 84.000 m³/år fordelt på 3 boringer.

Resultatet af simuleringen (figur 7) viser bl.a., at der er 78 % sandsynlighed for, at BNBO har en mindre radius end 94 m, hvilket modsvarer af, at der er 22 % sandsynlighed for at BNBO er større end 94 m.



Figur 7: Viser resultatet af monte carlo simuleringen og at 78 % af resultaterne giver en radius som er mindre en 94 m.

I de tilfælde hvor der foreligger data om magasinets gradient og hydraulisk ledningsevne, kan der også foretages en vurdering af afstanden til stagnationspunktet og oplandsbredden ved boringen ud fra nedenstående data:

Lokalitet:					
Inddatafelt:					
Indvindingsmængde		Q	m ³ /år		28000
Gradient		I	(-)		0.001
Magasinets mægtighed		b el. ho	M		8
Hydralisk ledningsevne		K	m/s		1.60E-04
Transmissivitet		T	m ² /s		0.0013
Beregningsfelt:					
Stagnationspunkt		X _L	M		110
Oplandsbredde v. boring		Y _L	M		347

Da radius af BNBO er beregnet til 94 m og da stagnationspunktet er beliggende i en afstand på 110 m, bør der ikke ske korrektion af BNBO's beliggenhed. Endvidere ses det, at hele BNBO ligger inden for indvindingsoplandet, da den halve oplandsbredde er større end radius af BNBO.

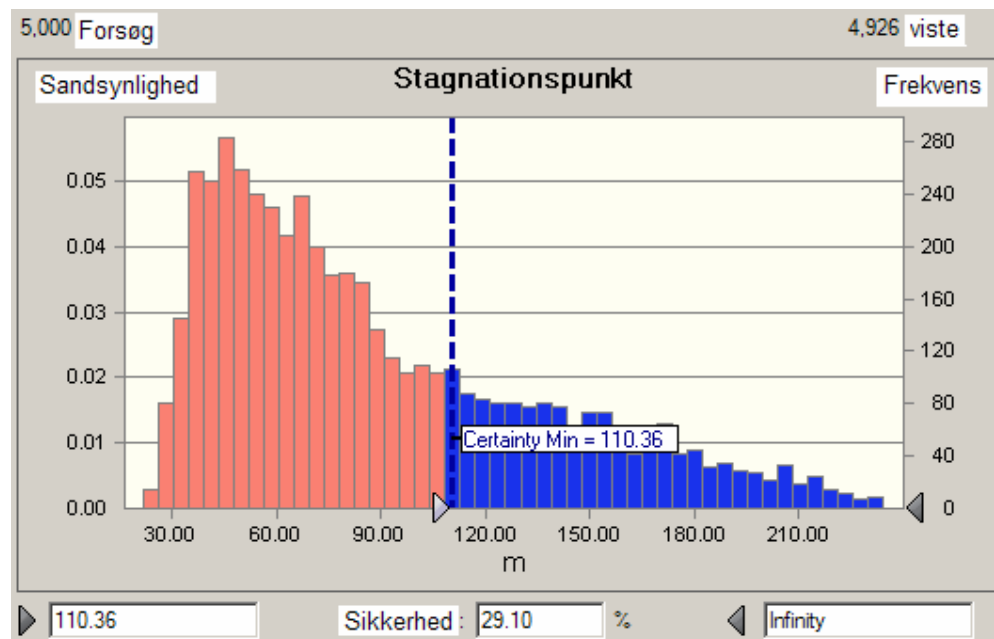
En monte carlo simulering til vurdering af stagnationspunktets beliggenhed, er udført efter sammen fremgangsmåde som ved vurderingen af radius af BNBO, ud fra følgende datavariation:

	Minimumsværdi	Sandsynlig værdi	Maksimumsværdi
--	---------------	------------------	----------------

Indvindingsmængde, m ³ /år	25667	28000	30333
Gradient, [-]	0	0.001	0.007
Magasinets mægtighed, m	7	8	11
Hydralisk ledningsevne, m/s	5.00E-05	8.00E-05	1.00E-04

Resultatet af simuleringen er vist på figur 8. Heraf fremgår det, at 71 % af udfaldene giver en mindre afstand til stagnationspunktet end 110 m, som er den først beregnede afstand.

Endvidere kan det af figur 8 udledes, at 62 % af de beregnede afstande til stagnationspunkter er mindre end 94 m, svarende til radius for BNBO. Det bør som udgangspunkt føre til en revurdering af data eller en korrektion af BNBO's beliggenhed ved at forskyde placeringen i opstrøms retning.



Figur 8: Viser resultatet af monte carlo simuleringen for beregning af stagnationspunktet og at 71 % af resultaterne giver en radius, som er mindre en 110 m.

Simuleringen omfatter også en vurdering af oplandsbredden ved boringen (ikke gengivet som figur), som viser, at 67 % af den simulerede oplandsbredde er større end BNBO's diameter på 188 m.

5 Referencer

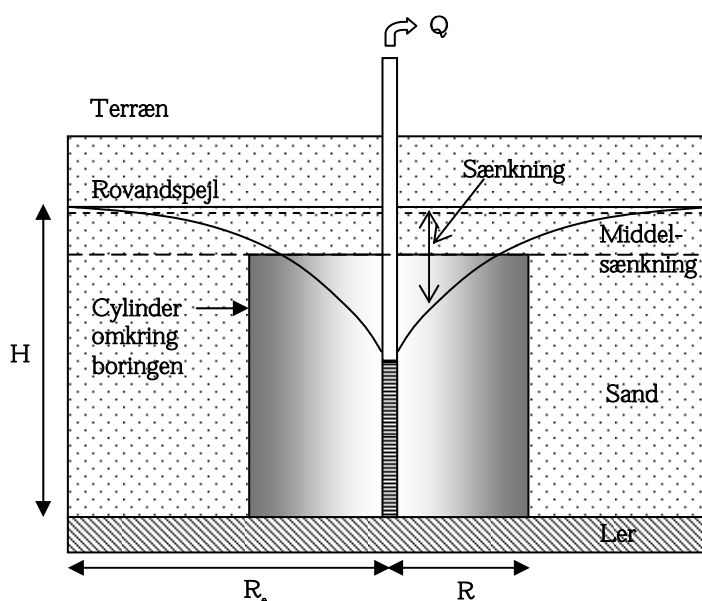
- /1/ Miljøstyrelsen 2000: Vejledning fra Miljøstyrelsen, Zonering nr. 3 2000.
- /2/ http://www.folketinget.dk/Samling/20042/salen/B19_BEH1_48_3_1.htm
- /3/ Miljøstyrelsen 1980: Miljøstyrelsens cirkulære af 28. februar 1980 om udførelse af boringer efter grundvand m.v.
- /4/ Bekendtgørelse om indsatsplaner nr. 494 af 28. maj 2000.
- /5/ Miljøstyrelsen 1995: Betænkning fra Miljøstyrelsen, nr. 1, 1995, Lovgivning og praksis – forurenede jord, s. 48- 50.
- /6/ Folketingstidende 1972: Folketidende 1972/73, tillæg A, spalte 3954.
- /7/ Miljøstyrelsen 1998: Oprydning på forurenede grunde nr. 6 og 7 1998. Vejledning fra Miljøstyrelsen.
- /8/ Miljøstyrelsen 2005: Redegørelse om jordforurening 2004, Depotrådet, Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 4 2005.
- /9/ Geus 1995: Grundvandsovervågning 1995.
- /10/ Max L. and Johanson, P.-O. 1996: Groundwater Vulnerability Assessment Using Travel Time and Specific Surface as Indicators. Nordic Hydrological Conference, Akureyri 13. – 15. August 1996.
- /11/ Fredericia, J. 1990: Saturated hydraulic conductivity of clayey tills and the role of fractures. Hydrogeological properties of Nordic Tills. NHP report No. 25 , 1990, pp. 67-95.
- /12/ Miljøstyrelsen 1996: Kemiske stoffers opførelse i jord og grundvand nr. 20 1996. Miljøprojekt.
- /13/ Todd, D. K. 1980: Groundwater Hydrology. Second edition. John Wiley & Sons, Inc.
- /14/ Miljøministeriet 2006: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. BEK nr. 1664 af 14/12/2006/.
- /15/ Miljøstyrelsen 1995: Metoder til udpegning af indvindingsoplande nr. 8 1995.
- /16/ Henriksen H. J., Hansen, M. og Dahlstrøm, K. 1996: Hydrological Data Worth Associated With Implementation of Groundwater Protection Zones. Nordic Hydrological Conference, Akureyri 13. – 15. August 1996.
- /17/ Miljøstyrelsen 1995: Zoneopdelt grundvandsbeskyttelse, nr. 14 1995. Miljøprojekt.

- /18/ Miljøstyrelsen 2000: Afprøvning af zoneringsmetoder, nr. 553 1997. Miljøprojekt.
- /19/ U.S. Environmental Protection Agency 1991: Wellhead protection strategies for Confined Aquifer Settings. Office of Water, Washington, DC. EPA 570/9-91/008.
- /20/ U.S. Environmental Protection Agency 1991: Delineation of Wellhead Protection Areas in Fractured Rocks. Office of Water, Washington, DC. EPA 570/9-91/009.
- /21/ Focazio, M. J. et al. 2002: Assessing Ground-water Vulnerability to Contamination: Providing Scientifically Defensible Information for Decision Makers. U.S. Geological Survey, Circular 1224.
- /22/ Wiedemaier, T.H. et al. 1996: Technical Protocol for Evaluation Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Groundwater. Draft – Revision 1. Air Force Centre for Environmental Excellence, San Antonio, Texas.
- /23/ Earlougher, H. L. 1977: Advances in well test analysis. Monograph Volume 6. Society of Petroleum Engineers.
- /24/ Andersen, L. J. og Z. Haman 1970: Nye metoder for prøvepumpning af boringer og grundvandsreservoirer. DGU III Række Nr. 38.
- /25/ Miljøstyrelsen 2001: Retningslinier for opstilling af grundvandsmodeller. Arbejdsrapport 17 2001.
- /26/ Sophocleous, M. 2000: The Origin and Evolution of Safe-Yield Policies in the Kansas Groundwater Management Districts. Natural Resources Research, Vol. 9, No. 2, 2000.

Appendiks 1: Bestemmelse af den mættede lagtykkelse indenfor BNBO i frie magasiner

I magasiner med frit vandspejl mindskes H under pumpning, fordi sænkningen forøges på grund af den mindre mættede lagtykkelse (transmissiviteten formindskes), se figur 1.

Ligeledes er der et tab, da boringen er partielt filtersat. Kendes boringens sænkning under drift, vil denne sænkning imidlertid indeholde det nævnte tab, således at H for indvindingsboringen kan bestemmes ved at trække sænkningen fra den oprindelige vandmættede lagtykkelse.



Figur 1: viser sænkning i et frit magasin. R_e angiver den påvirknings radius, mens R angiver radius af BNBO.

Hvis H antages at svare til den mættede zone ved rovandspejl, vil BNBO beregnes med for lille radius. Omvendt, hvis H antages at svare til afsænkningen i boringen, vil H være for lille og radius for BNBO vil blive for stor.

Til praktisk brug kan der anvendes en middelværdi af H , som kan bestemmes ved at beregne sænkningstragtens volumen inden for BNBO svarende til afstanden R divideret med arealet. Beregningen tager udgangspunkt i /23/ og /24/.

For at beregne sænkningstragtens volumen skal der gøres nogle antagelser, idet Theis løsningens radius matematisk set er uendelig. Derfor antages det, at oppumpningen har foregået i så lang tid, at sænkningen udvikler sig meget langsomt, så sænkningstragten kan regnes for tilnærmet stationær. Radius for det påvirkede område, R_e kan derefter bestemmes under antagelse af, at følgende parametre er generelt gældende:

$$R_e = \sqrt{\frac{135 \cdot T \cdot t}{n_{eff}}}, \quad \text{hvor,}$$

t (min.): tiden i minutter siden indvindingen begyndte. Anvendt værdi 1.051.200 min. svarende til 2 år.

T (m²/s): transmissiviteten. Anvendt værdi 0,005 m²/s.

n_{eff} (-): den effektive porøsitet. Anvendt værdi 0,1

$$R_e = \sqrt{\frac{135 \cdot 0,005 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 2}{0,1}} = 2,7 \text{ km.}$$

I praksis kan sænkningstragten være begrænset af geologiske barrierer eller vandløb, som standser sænkningstragtens udbredelse, således at der i denne sammenhæng vælges en sænkningstragt på $R_e = 3000$ m som standardværdi.

I /26/ er der anvendt en radius på 3,2 km og altså i samme størrelsesorden som standardværdien.

Den stationære sænkning omkring en indvindingsboring er beskrevet ved Theis formel og kan i integreret form anvendes til at bestemme voluminet af afsænkningen:

$$s = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \ln \frac{R_e}{r}$$

Volumenet V af sænkningstragten indenfor BNBO er:

$$V = \int_{r_w}^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot T} \ln \frac{R_e}{r} dr$$

Idet $r_w \ll R_e$ kan integralet udregnes til

$$V = \frac{Q \cdot R^2}{4 \cdot T} \left(1 - 2 \cdot \ln \frac{R}{R_e} \right)$$

Middelsænkningen \bar{s} fås heraf ved division med arealet $A = \pi \cdot R^2$, altså

$$\bar{s} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} \left(1 - 2 \cdot \ln \frac{R}{R_e} \right)$$

Det fremgår af formelen for R_e , at et fejlskøn i vurderingen af hydrauliske parametre og den valgte tid ændrer R_e med kvadratroden af fejlskønnet. Hvis f.eks. transmissiviteten er vurderet en faktor 2 for lav, bliver R_e en faktor $\sqrt{2} = 1,4$ gange for lille, og tilsvarende for de øvrige parametre. Det fremgår imidlertid af formelen for middelsænkningen, at R_e står under logaritmetegnet ved beregningen af middelsænkningen, således at effekten af et eventuelt fejlskøn af værdien af R_e får begrænset betydning. Effekten af et fejlskøn dæmpes yderligere ved, at korrektionen af H ved hjælp af middelsænkningen står under et kvadratrodtegn.

Det fremgår af ovenstående formler, at det er nødvendigt at kende boringens transmissivitet. Kendes denne ikke, kan transmissiviteten med god tilnærmelse beregnes ud fra boringens specifikke kapacitet (ydelse divideret med sænkningen) ved hjælp af udtrykket

$$T = 0,0003 \frac{Q}{s} \text{ m}^2/\text{s}$$

hvor den specifikke kapacitet Q/s indsættes i $\text{m}^3/\text{t}/\text{m}$ dvs. m^3/t pr. m afsenkning. Baggrunden for formel for beregningen af T er beskrevet i Appendiks 2.

Eksempel på korrektion

Boringens årlige ydelse er 60.000 m^3 eller $0,0019 \text{ m}^3/\text{s}$. Den oprindelige mættede lagtykkelse er 16 m . Den effektive porøsitet skønnes til $0,1$. Ved en prøvepumpning er den specifikke kapacitet bestemt til $4 \text{ m}^3/\text{t}/\text{m}$. Kontrolfrekvensen er 1 år . Den sænkning, som indgår i den specifikke kapacitet, inkluderer tab på grund af aftagende mægtighed og partiel filtersætning.

I første omgang bestemmes R , som ukorrigeret:

$$R = \sqrt{\frac{60.000 \cdot 1}{\pi \cdot 16 \cdot 0,1}} = 109 \text{ m.}$$

Dernæst bestemmes middelsænkningen, når T er beregnet:

Boringens transmissivitet beregnes:

$$T = 0,0003 \cdot 4 = 0,0012 \text{ m}^2/\text{s}$$

Herefter beregnes middelsænkningen:

$$\bar{s} = \frac{0,0019}{4 \cdot \pi \cdot 0,0012} \left(1 - 2 \cdot \ln \frac{109}{3000} \right) = 0,96 \text{ m.}$$

H skal nu korrigeres og R beregnes dvs. $H = 16 - 0,96 = 15,04 \text{ m}$. Den endelige værdi af radius bliver således:

$$R = \sqrt{\frac{60.000 \cdot 1}{\pi \cdot 15,04 \cdot 0,1}} = 113 \text{ m.}$$

Appendiks 2: Estimering af transmissiviteten ud fra boringens specifikke ydelse

I nogle sammenhænge f.eks. ved opstilling af grundvandsmodeller, eller ved hydrogeologiske kortlægninger har man behov for at bestemme transmissiviteter i et stort antal boringer uden observationer fra prøvepumpninger. Hvis den specifikke kapacitet fra boringen foreligger, er det muligt at bestemme en tilnærmet T-værdi.

Ved hjælp af Jacobs formel:

$$T = \frac{0,183Q}{s_w} \log \frac{135Tt}{r_w^2 S}, \text{ hvor}$$

T er transmissiviteten (m^2/s)

Q er boringens ydelse (m^3/s)

s_w er sænkningen (m)

r_w er filterradius (m)

S er magasintallet

t er tiden (min)

Der kan opstille en praktisk anvendelig sammenhæng mellem boringens transmissivitet og dens specifikke kapacitet Q/s på følgende måde:

Typisk prøvepumpning udført af brøndborer i typisk **artesiske magasin**.

$$T = 0,008 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$r = 6'' = 0,15 \text{ m.}$$

$$S = 0,0004 \text{ (mellem } 0,0002 - 0,0004)$$

$$t = 1 \text{ døgn} = 1440 \text{ min}$$

$$T = \frac{0,183}{3600} \frac{Q}{s} \log \frac{135 \cdot 0,008 \cdot 1440}{0,15^2 \cdot 0,0004} = 0,00042 \frac{Q}{s}, \text{ hvor}$$

T har enheden m^2/s og Q/s har enheden $\text{m}^3/\text{t}/\text{m}$.

For et typisk **frit magasin** fås tilsvarende med magasintallet $S_y = 0,1$:

$$T = \frac{0,183}{3600} \frac{Q}{s} \log \frac{135 \cdot 0,008 \cdot 1440}{0,15^2 \cdot 0,1} = 0,0003 \frac{Q}{s}$$

Formlerne forudsætter, at boringens effektive radius er lig med den nominelle, og at der ikke er noget filtertab. Filtertabet kan udgøre 80-90 % af sænkningen i en dårligt udført boring, og 10-20 % i en god boring. Fejlen vedrørende effektiv radius er typisk uden den store betydning.