

Titel:

Vandindvinding i Volsted Plantage

Tema:

Vandforsyning

Projektperiode:

September 2014 - December 2014

Projektgruppe:

Fibigerstræde 10, 3-22

Deltagere:

Claus Liltorp

Christoffer Bang Andersen

Emil Nielsen

Vejledere:

Ole Munch Johansen, NIRAS
(Grundvandsmodellering)

Lone Kørnøv, AAU

(Planlægning)

Torben Larsen, AAU

Oplagstal: 7

Sidetal: 139

Bilags-CD er vedlagt rapporten.

Afsluttet 22/12-2014

Synopsis:

Den foreliggende rapport omhandler undersøgelser af mulighederne for oprettelse af nye kildepladser i den sydlige del af Aalborg Kommune.

I Aalborg Kommune er der lukket flere kildepladser på grund af forurening i indvindingsboringerne. Den tabte forsyning søges erstattet i den sydlige del af Aalborg Kommune samt ønskes at opretholde en forsyningssikkerhed på 25 %. Der foretages derfor en kortlægning af den sydlige del af Aalborg Kommune for at vurdere den bedste potentielle placering af en kildeplads. Det er samtidig målet ikke at påvirke beskyttede naturområder og åløb som følge af en vandindvinding, hvorfor der foretages en grundvandsmodellering af en kildeplads' påvirkning på de fornævnte områder.

Derefter undersøges grundvandskvaliteten og der udvikles et forslag til vandværk. Der udvikles samtidig et nyt forslag til et forsyningsnet i Volsted by og en forsyningsledning til Flødal.

For at beskytte drikkevandskvaliteten og grundvandsressourcen dannes til sidst en indsatsplan.

Forord

Denne rapport er udarbejdet af en gruppe studerende på 5. semester på bacheloruddannelsen i Byggeri og Anlæg, Vand og Miljø ved Aalborg Universitet. *Vandforsyning* er det overordnede tema for semesterprojektet. Rapporten omhandler erstatning af lukkede kildepladser i Aalborg Kommune. Læseren skal have et kendskab til emnerne *Planlægning og Regulering* samt *Hydrologi* for at forstå rapporten.

Der rettes stor tak til vejlederne for inspirerende vejledning og konstruktiv kritik.

Læsevejledning

Der vil igennem rapporten være henvisninger til kilder, som er samlet i litteraturlisten bagerst i rapporten. Til referencer er Harvard-metoden benyttet. I teksten refereres der til kilder med enten “[Efternavn/Organisation, År]” eller “[Efternavn/Organisation [år]]” og hvor det er relevant også en specifik henvisning til en side eller en tabel/figur. Internetsider angives med forfatter, titel, url og dato. Bøger angives med forfatter, titel, forlag og udgave, såfremt dette er tilgængeligt. Alle baggrundskort i rapporten er fra *Kortforsyningen.dk* med mindre andet er angivet. Rapporten indeholder figurer og tabeller, som er nummereret i forhold til det kapitel, de står i. Eksempelvis har den første figur i kapitel 7 nummer 7.1, den anden har nummer 7.2 osv.

Bilag findes på en vedlagt CD. Der vil igennem rapporten blive refereret til filer på CD'en med “[Bilags-CD, navn på bilag]”. Alle bilag forklares i appendiks B.

Christoffer Bang Andersen

Emil Nielsen

Claus Liltorp

Indholdsfortegnelse

I Indledning	1
Kapitel 1 Indledning	3
Kapitel 2 Vandforsyningen i Aalborg Kommune	5
2.1 Problemer med vandforsyning	7
2.2 Aalborg vandforsyningsmålsætninger	8
2.3 Problemstilling	8
II Analyse	11
Kapitel 3 Placing af ny kildeplads	13
3.1 Bedømmelseskriterier	13
3.2 Kortlægning af projektområdet	15
3.3 Screening af udvalgte zoner	30
3.4 Vurdering af udvalgte zoner	35
3.5 Konklusion	35
Kapitel 4 Kildepladsundersøgelse i Volsted Plantage	37
4.1 Planer i konflikt med vandindvinding	37
4.2 Grundvandsmodellering	40
4.3 Undersøgelse af indvindinger	61
4.4 Usikkerhedsanalyse	64
4.5 Fastsættelse af boringsnært beskyttelsesområde	72
Kapitel 5 Nyt vandværk i Volsted	75
5.1 Vandværket	77
5.2 Iltningsbehov	78
5.3 Iltningstrappe	79
5.4 Filtrering	79
5.5 Dimensionering af rentvandsbeholder	80
5.6 Styring af vandværk	81
Kapitel 6 Forsyning af Volsted og Flødal	83
6.1 Dimensionsgivende vandføring	83
6.2 Forsyning af Volsted	85
6.3 Forsyning af Aalborg Kommune	86
Kapitel 7 Indsatsplan	101
7.1 Kortlægning af problematikker	102
7.2 Geologi	108
7.3 Målsætning	110
7.4 Handlingsplan	114

III Konklusion og Perspektivering	117
Kapitel 8 Konklusion	119
Kapitel 9 Perspektivering	121
Litteratur	123
IV Appendiks	A1
Appendiks A Flow-chart over grundvandsmodel	A3
Appendiks B Bilags-CD	A5

Del I

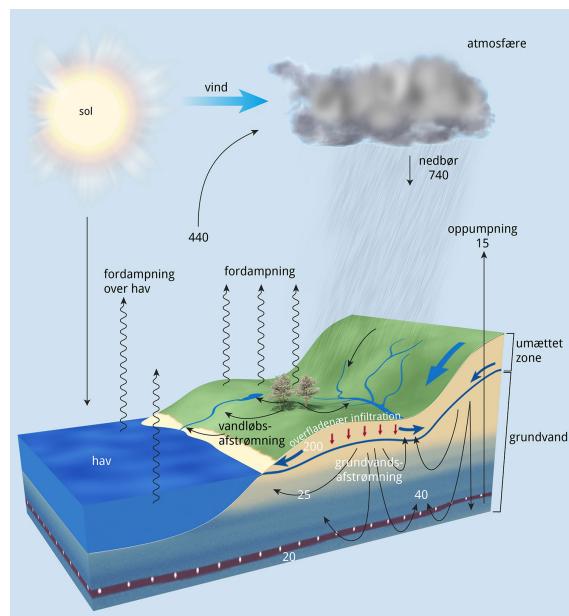
Indledning

Indledning 1

I projektet erstattes lukkede kildepladser i Aalborg Kommune. På grund af blandt andet forureningsudfordringer i kommunen er der lukket kildepladser. Dette i kombination med et ønske om at have forsyningssikkerhed nødvendiggører, at der bør etableres nye vandindvindinger.

Vand er en nødvendig ressource for alle levende væsener. Samtidig er rent vand også en begrænset ressource, som for mennesker kan kræve behandling, før det kan benyttes. Omrent 70 % af Jordens overflade er dækket af vand, men det er kun 2,5 %, som er ferskvand. Selvom 2,5 % af Jordens samlede vandressource lyder af meget, er det kun ca. en tredjedel af denne mængde, som er tilgængelig, da resten enten er indefrosset som is eller ophobet i atmosfæren som skyer. Dette giver menneskeheden begrænsede muligheder for at fremskaffe den livsnødvendige ressource, hvorfor det er nødvendigt at gennemtænke hvor og hvordan, der indvindes vand til fx drikkevand. [Dawei Han, 2010]

Det er muligt at fremskaffe ferskvand mange steder i vandets kredsløb, som det ses på figur 1.1.



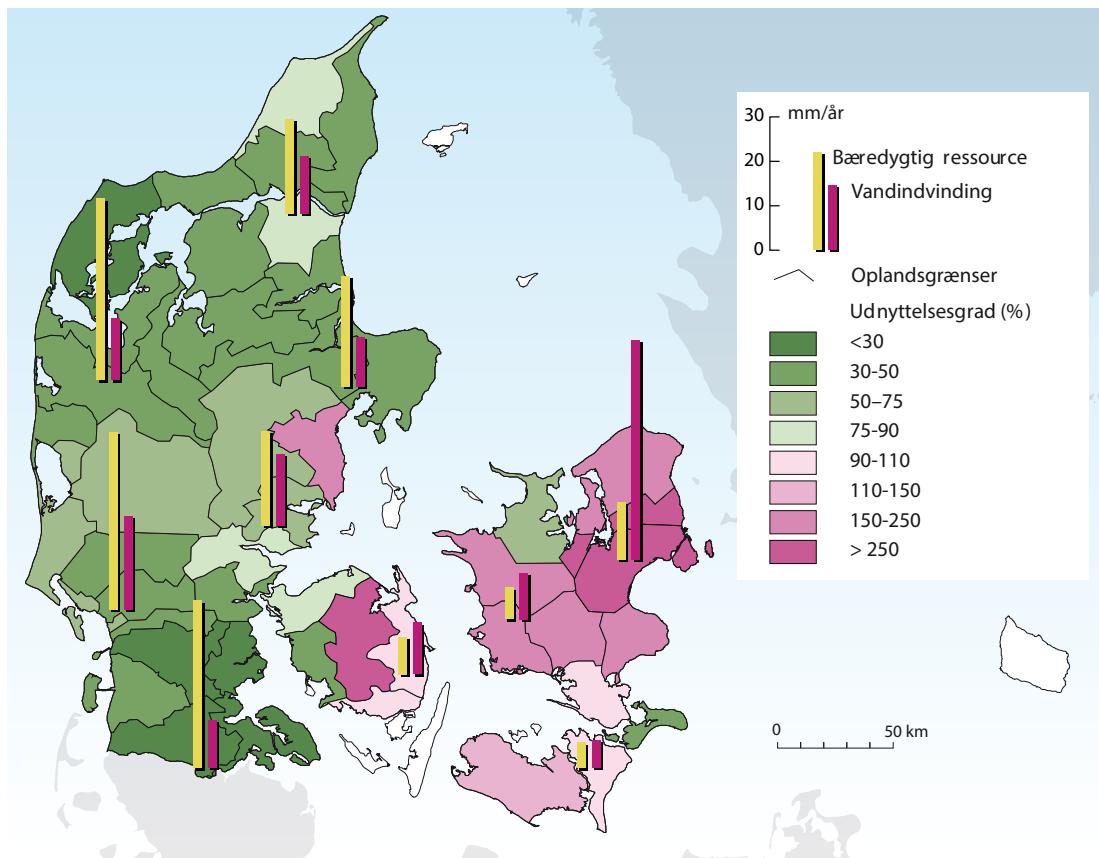
Figur 1.1. Vandets kredsløb, med alle anførte værdier i mm/r

En af disse muligheder er at hente vand direkte fra havet. Dette er dog en besværlig måde at fremskaffe ferskvand på, da det kræver at filtrere og afsalte vandet tilstrækkeligt. I Danmark indvindes størstedelen af drikkevandet fra grundvandet, da dette har været gennem det naturlige filter bestående af jord, hvorfor der ikke behøves ligeså gennemgående bearbejdning af vandet. Nogle af problematikkerne i sammenhæng med indvindinger af grundvand afsløres i det følgende.

Vandforsyningen i Aalborg Kommune 2

I Danmark bliver der årligt brugt omkring 600 millioner m³ rent vand. Vandforbruget er faldet de sidste årtier, bl.a. som følge af indførelsen af en miljøafgift på vandforbruget, hvormed der i år 2000 blev anvendt 35 % mindre vand end i år 1989 [GEUS, 2010]. Fra år 2000 til år 2010 er vandforbruget faldet med yderligere 12 % [DONG Energy, 2010].

Generelt i Danmark er det kun en lille del af grundvandsressourcen, der udnyttes til drikkevand. Det er dog ikke den totale grundvandsressource, som kan anvendes til drikkevand, da det vurderes, at den væsentlige sænkning af trykniveau eller den forøgede dybe grundvandsindvinding kan skabe kvalitetsproblemer. Ressourcen kan også være påvirket af forurening fra overfladeaktiviteter såsom landbrug eller være utilgængelig. Samtidig bør udnyttelsen af grundvandsressourcen ikke væsentligt påvirke åløb og våde naturområder negativt. Derfor tales om bæredygtig grundvandsressource, der angiver den del af grundvandsressourcen, som kan indvindes. En opgørelse af udnyttelsen af den bæredygtige grundvandsressource på landsplan ses på figur 2.1. Den udnyttelige grundvandsressource er *den vandmængde, der med bibeholdelse af en god vandkvalitet og opretholdelse af recipient-hensyn, maksimalt kan indvindes fra et grundvandsmagasin, og som gendannes naturligt uden uønskede følger* [Miljøstyrelsen, 1995]. DK-modellen fra år 2003 anvender fire forskellige indikatorer for at implementere dette.



Figur 2.1. Udnyttelsesgraden af den bæredygtige grundvandsressource i Danmark. [GEUS, 2010, Red.] Den bæredygtige ressource er estimeret på baggrund af den Nationale Vandressource Model (DK-modellen) fra år 2003.

Som det ses ud fra figur 2.1 har den vestlige del af Danmark en stor bæredygtig grundvandsressource, hvor den østlige del har væsentligt mindre, primært grundet nedbørs- og infiltrationsforhold. Idet den østlige del, især hovedstadsområdet, er tættere befolket, er der også et højere behov for rent drikkevand. Derfor er der især problemer i Københavnsområdet, hvorfor der her benyttes overfladevand, samt grundvandsressourcer fra andre steder på Sjælland.

I Aalborg Kommune er både den bæredygtige ressource større og vandindvindingen mindre end hovedstadsområdet. Der er derfor færre problemer med overudnyttelse af grundvandsressourcen, og det er stadigt muligt at indvende rent grundvand indenfor kommunens grænser.

Modellen er dog fra år 2003 og er blevet opdateret til år 2009. Det har ikke været muligt at anskaffe de opdateret modelresultater. Modelresultaterne kan derfor være forældede og tager muligvis ikke hensyn til ændringer i grundvandsdannelse som følge af klimaforandringer eller ændring af den mulige udnyttelse af grundvandet pga. ændrede vandplaner.

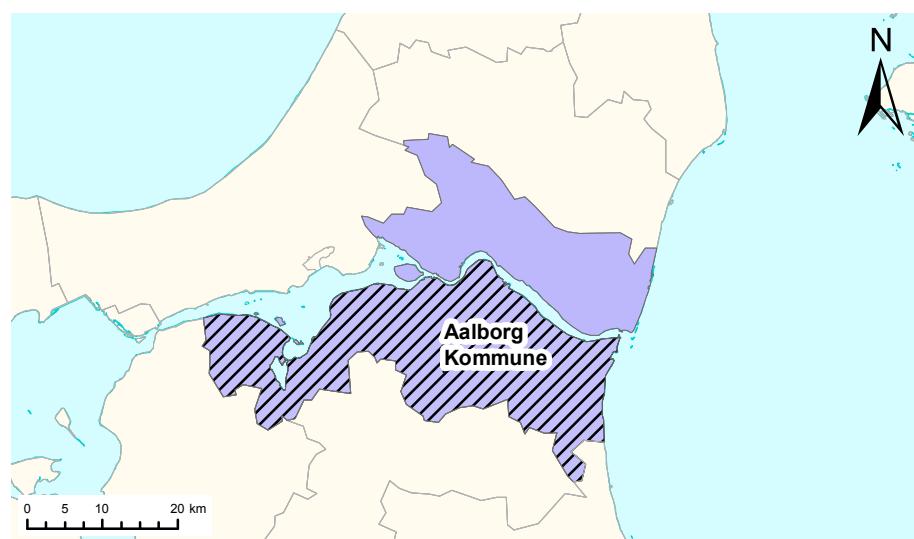
Det rene grundvand er samtidig truet af forurening. Frem til og med 2005 er der lukket over 1300 vandindvindinger på grund af miljøfremmede stoffer, og ca. 100 nye borer lukkes hvert år. [GEUS, 2010] Forurenningen skyldes bl.a. landbrugets brug af gødning og pesticider, byernes anvendelse af ukrudtsbekämpelse, saltning af veje, samt punktførure-

ningskilder. Samtidig er der især en større opmærksomhed overfor miljøfremmede stoffers sundhedsskadende effekt, hvorfor en omfattende grundvandsovervågning samt hyppig kontrol af drikkevand er blevet nødvendig.

2.1 Problemer med vandforsyning

Aalborg Kommune indeholder knap 100 almene vandforsyningsanlæg, som forsyner kommunen med vand. Omkring 1500 egendomme varetager deres egen vandforsyning. Det største vandforsyningsanlæg er Aalborg Forsyning, Vand A/S, som leverer vand til det meste af byområdet i Aalborg og varetager 58 % af den totale vandforsyning i kommunen. Dette svarer til en samlet vandindvinding på over 7 millioner m^3/r . [Aalborg Kommune, 2013a]

I perioden 1996-2006 er der lukket otte kildepladser i den sydlige del af Aalborg Kommune. Disse er lukket blandt andet pga. forhøjet nitratniveau [Aalborg Forsyning, Vand A/S, 2014] og betyder, at en samlet indvinding på over 4 millioner m^3/r er gået tabt, hvilket svarer til ca. 25 % af kommunens samlede indvinding. Den tabte indvinding ønskes erstattet, samtidig med at Aalborg kommune ønsker en reserverekapacitet på 25 %. De nye kildepladser, der skal erstatter og udbygge vandforsyningen, ønskes fundet i den sydlige del af Aalborg Kommune, som vist på figur 2.2 [Aalborg Forsyning, Vand A/S, 2014]



Figur 2.2. Projektområdets placering er skraveret i Aalborg Kommune.

I den sydlige del af Aalborg Kommune består det primære grundvandsmagasin hovedsagligt af kalk, delvist dækket af lerlag. Lerlagene er ikke tilstrækkeligt sammenhængende og yder dermed kun delvis beskyttelse, hvorfor grundvandet er meget sårbart overfor miljøfremmede stoffer. De primære grundvandsmagasiner i Aalborg Kommune er derfor præget af højt nitratindhold. Sæfremt der indvindes i en dybde, hvor der ikke findes nitrat, indeholder grundvandet jern og mangan. Der er samtidig gjort fund af pesticider i alle de primære grundvandsmagasiner i varierende grad og omfang [Aalborg Kommune, 2013a].

2.2 Aalborg vandforsyningsmålsætninger

Aalborg Kommune har vedtaget en vandforsyningsplan for 2009-2020, som senere er erstattet af en ny vandforsyningsplan for 2013-2014. Aalborg Kommunes målsætninger for vandforsyning er:

at sikre, at alle borgere i kommunen såvel i by som på land har lige mulighed for at opnå en vandforsyning af god kvalitet med en høj forsyningssikkerhed og til en rimelig pris. [Aalborg Kommune, 2013a, s. 7]

at sikre, at forsyningen af drikkevand i Aalborg Kommune kan ske på grundlag af rent og urensset grundvand, og at vandspild begrænses mest muligt. [Aalborg Kommune, 2013a, s. 7]

I sammenhæng med de to målsætninger indeholder Aalborg Vandforsyningsplan en række miljø- og servicemål, som både udspringer af og supplerer de to målsætninger. Miljø- og servicemålene er følgende, som fremgår i samme rækkefølge som i Aalborg Vandforsyningsplan: [Aalborg Kommune, 2013a]

- Servicemål - Forøget forsyningssikkerhed
- Servicemål - Forbedret vandforsyning til det åbne land
- Miljømål - Grundvandsbeskyttelse
- Miljømål - Sikring af vandkvalitet
- Servicemål - Beredskab
- Servicemål - Forbedret information
- Servicemål - Hærværkssikring

Det er Naturstyrelsens ansvar at kortlægge og overvåge grundvandsressourcerne på regionalt niveau, hvor Aalborg Kommune er ansvarlig for grundvandsressourcen i forhold til størrelse og anvendelse, samt udarbejdelse af indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse.

Aalborg Kommune er også myndighed for forsyningen af drikkevand. De har en række myndighedsopgaver, heriblandt tilsyn med vandkvalitet, tilladelser til vandindvinding samt tilsyn med vandmængder.

2.3 Problemstilling

Med udgangspunkt taget i Aalborg Kommunes udfordringer mht. at dække vandforbruget, når kildepladser lukker, og opnå vandforsyningsplanens målsætning. Stilles følgende overordnede problemstilling:

- Hvordan sikres Aalborg Kommunes fremtidige vandforsyning under hensynstagen til kommunens målsætninger?

Der tages udgangspunkt i etablering af nye kildepladser i Aalborg Kommune for at erstatte den tabte indvinding.

Følgende emner behandles for at opnå fornævnte mål:

- Placering af ny kildeplads
- Undersøgelse af kildepladsens indflydelse på natur og åløb
- Vandrensning og vandforsyning
- Indsatsplanlægning

Følgende mindre problemstillinger besvares samtidig i projektet:

- Hvilken kortlægning har størst indflydelse på valg af kildepladslokalitet?
- Kan der etableres nye kildepladser i byzoner og samtidig undgå rensning?
- Hvor stor en indflydelse har tidsperioden for datagrundlaget til grundvandsmodellen på modellens resultater?
- Er en stationær, to-dimensionsel grundvandsmodel tilstrækkelig til at simulere en vandindvindings påvirkning på naturområder og åløb?
- Hvordan sikres den nye kildeplads mod de udfordringer, som har lukket de tidligere kildepladser?

Del II

Analyse

Placing af ny kildeplads 3

Den nye kildeplads søger placeret i den sydlige del af Aalborg Kommune. Der præsenteres hermed projektområdet på figur 3.1.



Figur 3.1. Projektområdet

Der foretages en screening af mulighederne for placering af en vandindvinding i projektområdet for at finde den mest hensigtsmæssige placering af en ny kildeplads. Placing bør tilfredsstille Aalborg Kommunes målsætninger i deres vandforsyningssplan, samt minimere anlægs- og driftsomkostninger for Aalborg Forsyning, Vand A/S. Aalborg Kommunes målsætninger for vandforsyning ses i afsnit 2.2. De udtrykker et ønske om rent, urensset drikkevand.

Derfor efterstræbes det at indvinde vand, som ikke skal behandles videregående eller iltes yderligere. Dette forudsættes samtidigt at mindske Aalborg Forsyning, Vand A/S' omkostninger. Ydermere er det hensigten at overholde rammerne for naturbeskyttelse, idet det kan være umuligt at opnå dispensation. Endvidere tages hensyn til de eksisterende kvantitative forhold, herunder nuværende grundvandskemiske forhold, indvindingspotentiale og arealanvendelse, der umuliggør anlæggelse.

Til sidst vurderes konsekvenserne, en vandindvinding kan have på omkringliggende beskyttede områder, herunder: vådfølsomme områder, åbne vandløb, habitater osv.

3.1 Bedømmelseskriterier

Med baggrund i Aalborg Kommunes ønsker opstilles bedømmelseskriterier. Kriterierne benyttes til at vurdere, hvor de nye kildepladser mest hensigtsmæssigt kan placeres. Pro-

pektområdet kortlægges således, at området kan vurderes ud fra bedømmelseskriterierne. På baggrund af arealudnyttelsen udvælges mindre zoner, som undersøges nærmere og vurderes efter alle bedømmelseskriterierne, således at den bedste zone, og dermed den mest hensigtsmæssige placering af en ny kildeplads, afgøres.

Bedømmelseskriterierne er listet nedenfor og bliver beskrevet og begrundet efterfølgende.

1. Natura2000
2. Andet naturbeskyttelse
3. Grundvandskvalitet
4. Indvindingspotentiale
5. Anlægsomkostninger

Følgende bedømmelseskriterier udelukkes fra vurderingen:

- Ejerforhold
- Grundvandets tilgængelighed
- Aalborg Kommunes arealplanlægning

Natura2000

Kriteriet omhandler mængden af Natura2000 i området nær zonen. Idet selve anlæggelse af en vandindvinding samt grundvandssænkningen som følge af indvindingen kan beskadige Natura2000-områder, kan det ofte betyde, at vandindvindingen bliver umulig. Natura2000 er derfor et kriterium, som vurderes at være kritisk for vandindvindingen og prioriteres højest.

Andet naturbeskyttelse

Kriteriet omhandler mængden af al naturbeskyttelse og fredninger, som ikke er Natura2000, i området nær zonen. Områderne er §3 naturbeskyttelse, bilag 4-dyrearter og fredede områder. Idet vådfølsomme naturbeskyttelsesområder påvirkes af grundvandssænkningen som følge af en vandindvinding, kan dette betyde, at der ikke kan opnås tilladelse til indvinding. Kriteriet er adskilt fra Natura2000, idet det er lettere at opnå tilladelse til påvirkning af denne type naturbeskyttelse. Kriteriet vurderes derfor at være kritisk, men prioriteres lavere end Natura2000.

Nuværende grundvandskvalitet

Kriteriet omhandler den nuværende kvalitet af grundvandet. Der er sundhedsmæssige, smags- og æstetiske overvejelser, der medfører, at der er krav til kvaliteten af drikkevand.

Grundvandskvaliteten er påvirket af fire forskellige parametre:

- De naturlige stoffer i grundvandet.
- De forurenende stoffer, dvs. primært menneskelige aktiviteter, som forurener grundvandet, bl.a. landbrug, industri, bebyggelse m.v.
- Mikroorganismer, bl.a. bakterier og vira.
- Vandets egne egenskaber, herunder surhedsgrad, redox og temperatur.

Idet grundvandskvaliteten er påvirket af forskellige typer aktiviteter, bør undersøgelsen også reflektere dette. Som fremgår senere bliver der kortlagt arealanvendelse med henblik på at forudsige forskellige grundvandskvalitetsproblemer, både eksisterende problemer og problemer i fremtiden. Der undersøges herefter analyser af grundvandskemi i projektområdet på baggrund af borer, som er en mere kvantitativ metode til at vurdere kvaliteten af grundvandet. Det er dog besværligt at tage forbehold for problemer i fremtiden med denne metode, og metoden angiver ikke nødvendigvis meget lokale kvalitetsudfordringer, herunder jordforurening. Regionens kendskab til aktiviteter, der har medført jordforurening, analyseres derfor også.

Kriteriet om grundvandskvalitet er ikke nødvendigvis kritisk for en vandindvinding, idet en stor del af problemerne kan løses med forskellige vandbehandlingsmetoder. Alternativt kan det grundvandsdannende opland beskyttes mod forurening. Begge løsninger betyder højere anlægs- og driftsomkostninger og vandbehandling opfylder ikke Aalborg Kommunes målsætning om at leve rent, urensset drikkevand. Grundvandskvaliteten bliver derfor bedømt på rensningsbehovet, hvor normalbehandling er målet. Videregående behandling nu eller i fremtiden for en vandindvinding vurderes derfor at være kritisk, idet det er en dyr løsning, som kræver dispensation og ikke opfylder Aalborg Kommunes målsætning for vandforsyning.

Indvindingspotentiale

Kriteriet omhandler den mængde grundvand, som formodes at kunne indvindes fra et område. Der bør derfor tages forbehold for eksisterende vandindvindinger, som sænker indvindingspotentialet.

Anlægsomkostninger

Anlægsomkostningerne vurderes ikke på baggrund af omkostningerne ved opførelse eller drift af vandbehandlingsanlæg. Derimod vurderes der på afstanden fra tilkobling til ledningsnet.

3.2 Kortlægning af projektområdet

På baggrund af de opstillede bedømmelseskriterier vil følgende forhold kortlægges.

- Natura2000, beskyttede naturtyper (§3), fredede områder, habitatnatur og beskyttede vandløb
- Arealanvendelse
- Eksisterende indvindingstilladelser
- Grundvandskemi
- Jordforurening
- Grundvandspotentiale

Valget af disse data betyder derfor også, at der afgrænses for følgende, som anses for at kunne være relevante kortlægninger:

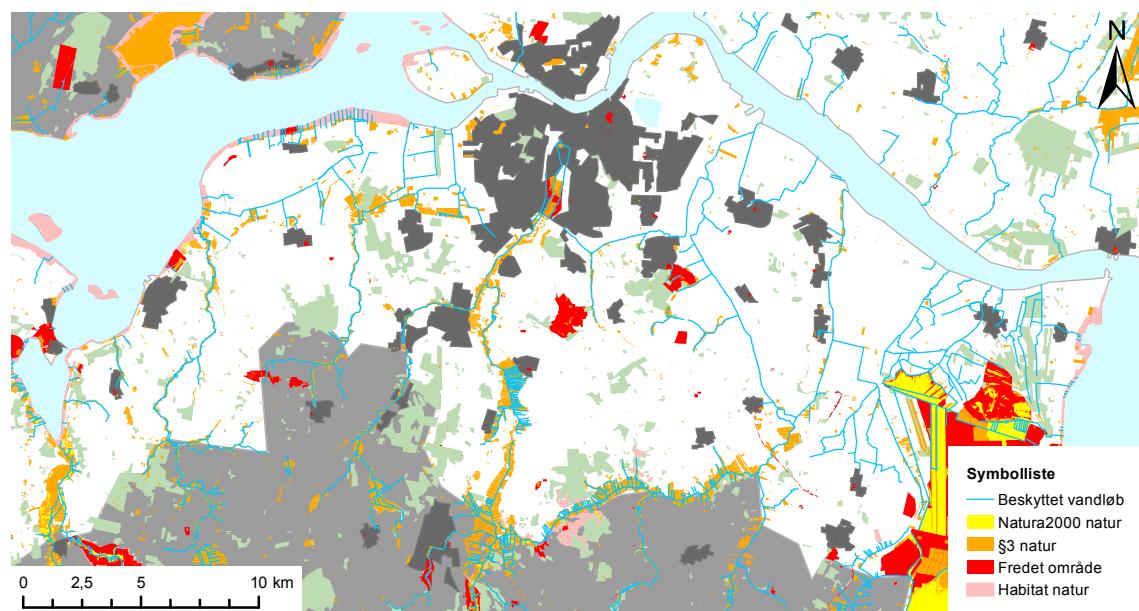
- Planer for fremtidig udvikling og arealanvendelse
- Husdyrsgodkendelse

- Landbrugsintensititet
- Veje og rør-anlæg
- Nedsvinningsanlæg
- Geologi
- Tykkelse af grundvandsmagasin
- Grundvandsmagasinets tilgængelighed
- pH-værdi i grundvandet
- Radioaktivitet

3.2.1 Beskyttet natur

Der er vedtaget en række tiltag for at beskytte områder, der sikrer biodiversitet i Danmark. Disse tiltag er listet nedenfor i prioriteringsrækkefølge, hvoraf Natura2000 har oprindelse i EU og dermed ikke kun har dansk interesse. Naturbeskyttelsen i projektområdet er vist på figur 3.2, og en nærmere beskrivelse af hvert punkt kommer i det følgende.

- Natura2000
- Naturbeskyttelsesloven (§3)
- Vandløbsloven
- Habitat naturbeskyttelse
- Fredninger



Figur 3.2. Naturbeskyttelse i projektområdet . Data fra Miljøportalen [2014]

Natura2000

Natura2000-planerne har oprindelse i EU's naturbeskyttelses direktiv. Planerne indeholder betegnelser af mange beskyttede naturtyper, dyr- og plantearter. Målet med Natura2000 er at skabe en gunstig bevarelsesstatus for de beskyttede arter, hvorfor der også er krav om at foretage videre overvågning i de beskyttede områder. Det betyder også, at der er udarbejdet planer for de enkelte Natura2000-områder. Disse planer kortlægger naturen og præserves den, således at der ikke må foretages ændringer eller udføres projekter i området, som forværre tilstanden. Derudover må der ikke udføres projekter i områdets

nærhed, som kan have indvirkning på Natura2000-området, medmindre det er sidste udvej i offentlighedens interesse. [European Commission, 2009]

Det kan altså, som sidste udvej, besluttes at forværre tilstanden i et Natura2000 område, men der skal redegøres til EU, hvorfor dette er nødvendigt. Derfor er det i dette projekt valgt så vidt muligt at undgå forværring Natura2000-områder helt, da der skal argumenteres grundigt for ændring af tilstanden i området.

Naturbeskyttelsesloven (§3)

Der er generelt registeret et fald af naturarealer og biodiversitet. Derfor besluttede folketingenet i 1972 at udforme Naturbeskyttelsesloven. [Naturstyrelsen, 2014c]

Det fremgår af Naturbeskyttelseslovens §3, hvilke naturtyper loven omfatter. De er listet nedenfor:

- Søer
- Vandløb
- Moser
- Ferske Enge
- Strandenge
- Heder
- Overdrev

Hver naturtype beskyttes forskelligt og nedenfor beskrives, hvordan hver naturtype beskyttes.

Søer

Både naturligt forekommende søer og menneskeskabte søer, hvor der har udviklet sig karakteristisk dyre- og/eller planteliv, er beskyttet, når søen dækker et areal på mere end 100 m². Er søerne mindre end dette, er de beskyttet, hvis de ligger inden for en anden beskyttet naturtype, hvis det samlede er areal er lig med eller over 2500 m². Endvidere er søer under de 100 m² også beskyttet, hvis de er en del af et beskyttet vandløb. Den åbne vandflade og de tilstødende vandområder indgår også i beskyttelsen. Tilstanden må ikke ændres i beskyttede søer. Yderligere har søer med en vandflade på mindst 3 ha en *søbeskyttelseslinje* på 150 m, hvor der indenfor dette heller ikke må foretages ændringer, som f.eks. ændring af terræn, bebyggelse eller beplantning. [Miljøministeriet, 2013a]

Vandløb

For at sikre vandløbets skikkelse og vandførings evne er det ikke tilladt at ændre på tilstanden i vandløbet udover særlige vedligeholdelser. Vandløb er yderligere også beskyttet af vandløbsloven, som beskrives senere i kapitlet.

De følgende naturtyper er som udgangspunkt beskyttet, hvis de har et total areal på 2500 m² eller derover med mindre andet er angivet. Samme princip som ved søer gælder også angående beskyttelse, hvis de sammen med andre naturtyper danner et areal over 2500 m². Der må heller ikke fortages ændringer, der ændrer på tilstanden i de følgende naturtyper. [Miljøministeriet, 2013a]

Moser

Ønskes der at hæve vandstanden, grave eller oprense en sø, planter, slå en rørsump eller rydde en gammel skovsump, skal der gives tilladelse fra kommunen først. [Miljøministeriet, 2013a]

Ferske Enge

Omlægges ferske enge hyppigere end hvert 7-10. år, er de ikke beskyttet. Al drift kan forsætte som før engen blev beskyttet, og hvis driften indebar at omlægge engen, kan dette også forsættes med samme antal år i mellem som før. Vedligeholdse af grøfter og dræn kan også forsættes - det forudsættes dog, at disse ikke bliver gravet dybere. [Miljøministeriet, 2013a]

Strandenge

Drift i form af græsning eller høslæt må forsætte i samme omfang som før beskyttelsen. [Miljøministeriet, 2013a]

Heder

Normalt skal der ikke søges om dispensation til at rydde trævækst og buske. Dog hvis et areal ikke har været græsset over en længere periode, kan det kræve en dispensation for at kunne genindføre græsning eller høslæt. [Miljøministeriet, 2013a]

Overdrev

Overdrev, der er beskyttet, må ikke omlægges, gødskes, kalkes, tilplantes eller sprøjtes. Kalkbakker, græsset grøn og grå klit og indsander er også beskyttet, hvis de har overdrevspræg. [Miljøministeriet, 2013a]

Det er kun de vådfølsomme naturtyper, som er omfattet af Naturbeskyttelsesloven, der har relevans for projektet. Dermed forstår, at det kun er disse, som en vandindvinding kan have direkte indvirkning på ved sænkning af grundvandsspejlet. De vådfølsomme naturtyper er sører, vandløb og moser; resten antages som værende ikke vådfølsomme. De ikke vådfølsomme naturtyper medtages alligevel i projektet, da disse kan få betydning for anlæggelsen af vandværk og rørlægningen til eksisterende ledninger. De §3-beskyttede områder fremgår også af figur 3.2.

Vandløbsloven

Vandløbsloven skal sikre, at vandløb forsat kan benyttes til afledning af bla. spildevand, overfladevand og drænvand. Hvis det ønskes at ændre tilstanden i et vandløb, skal der søges tilladelse ved vandløbsmyndigheden. [Naturstyrelsen, 2014e]

Ved indvinding af grundvand i et vandløbs nærområde sænkes grundvandsspejlet og dette vil have indvirkning på flowet i et vandløb. Hvis indvirkningen ændrer tilstanden i vandløbet eller ændrer vandløbets evne til at lede fx drænvand væk, skal der søges om tilladelse til denne ændring.

Fredninger

En fredning har til formål at gå ind og regulere i det pågældende område, både hvad angår byggeri men også personlig færden i området, for at beskytte men også genoprette den pågældende natur. Da en fredning har ekspropriationslignende karakter, vil der ved overtrædelse af fredningen blive uddelt erstatningskrav. [Naturstyrelsen, 2014b]

Fredninger i projektområdet fremgår også af figur 3.2, og det efterstræbes at undgå disse med henblik på at bevare den danske natur og biodiversitet.

Habitatnatur

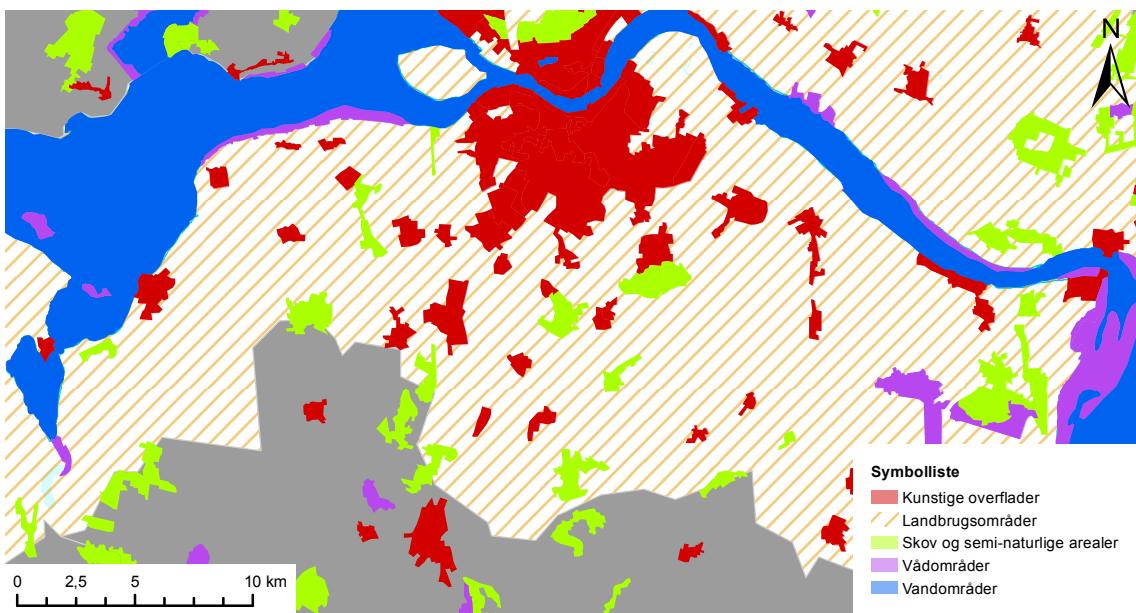
Habitatnaturområderne, som fremgår af figur 3.2, er EF habitatområder. Nogle af dem ligger i forbindelse med Ramsar-områder. Det er habitatområder for fugle og andre organismer med særlig behov for vådområder. Ramsar-konventionen sikrer denne naturtype og fordrer bæredygtig udnyttelse af områderne. [Naturstyrelsen, 2014d]

Denne naturbeskyttelse finder relevans i projeketet, da en kildeplads i nærheden af Ramsar-områder har indirekte indvirkning på organismerne, som lever i området. Derudover finder naturbeskyttelsen relevans, da den beskytter de arterne på direktivets bilag 4. Af disse arter kan nævnes.

- Markfirben
- Løvfrø
- Strandtudse
- Stor vandsalamander
- Odder
- Etc.

Arterne ovenfor kan have tilknytning til vådområder og vandløb i projektområdet, hvormed en kildeplads kan have eventuelle negative effekter herpå. [Naturstyrelsen, 2014a]

3.2.2 Arealanvendelse



Figur 3.3. Arealanvendelse i projektområdet. Data fra Geodatabiblioteket [2014]

På figur 3.3 ses et kort over arealanvendelsen for projektområdet. Kvaliteten af en grundvandsressource påvirkes af det nærliggende områdes nuværende arealanvendelse, hvorfor dette kan have stor relevans for placering af kildeplads.

Landbruget anvender gødning, som indeholder kvælstof, hvilket kan lede til øget nitratindhold i grundvandsressourcen. Dette kan især være et problem, hvis grundvandsressourcen ikke er dækket af et lerlag, idet lerlag virker beskyttende overfor nitratforurening. Samtidig anvender en del af landbruget pesticider, som ikke er tilladt i drikkevandet. Derfor er det ofte uhensigtsmæssigt at indvinde drikkevand fra landbrugsarealer. Landbrugets brug af både gødning og pesticider kan også variere over tiden, hvorfor en ellers sikker vandindvinding kan blive problematisk i fremtiden.

Byområder har en begrænset grundvandsdannelse grundet befæstelsesgraden. De få arealer, der bidrager til grundvandsdannelsen, er ofte utsat for saltning, ukrudtsbekämpelse m.v., hvorfor der kan forventes øget risiko for uacceptabelt grundvandskemi, jvf. Miljøstyrelsen [2003, tabel 2]. Det er dog lettere at regulere i byområder og derfor undgå forurening af grundvand. Det vurderes dog at være uhensigtsmæssigt at vandindvinde i Aalborg by, grundet dets nærhed til Limfjorden, hvorfor der er stor risiko for højt indhold af salte.

I både landbrugsarealer og byområder er der også risiko for punktforureningskilder fra bl.a. lækkede rør og tanke.

I skovarealer anvendes der væsentligt mindre gødning og pesticider i forhold til landbruget og byområder. Det anslås, at der anvendes ca. 0,07 kg aktivt stof pr. hektar om året i skovarealer, hvor der for landbrug anslås at blive brugt ca. 1,7 kg pr. hektar [Skov- og Naturstyrelsen, 2014]. Dermed er indvindinger foretaget i eller i nærheden af skovarealer ofte godt beskyttet mod både nitrat- og pesticideforurening. Samtidig er skovarealer fremtidssikret, idet de ikke utsættes for samme udvikling i brug af kvælstof og pesticider som landbruget, samt ikke indeholder potentielle punktforureningskilder.

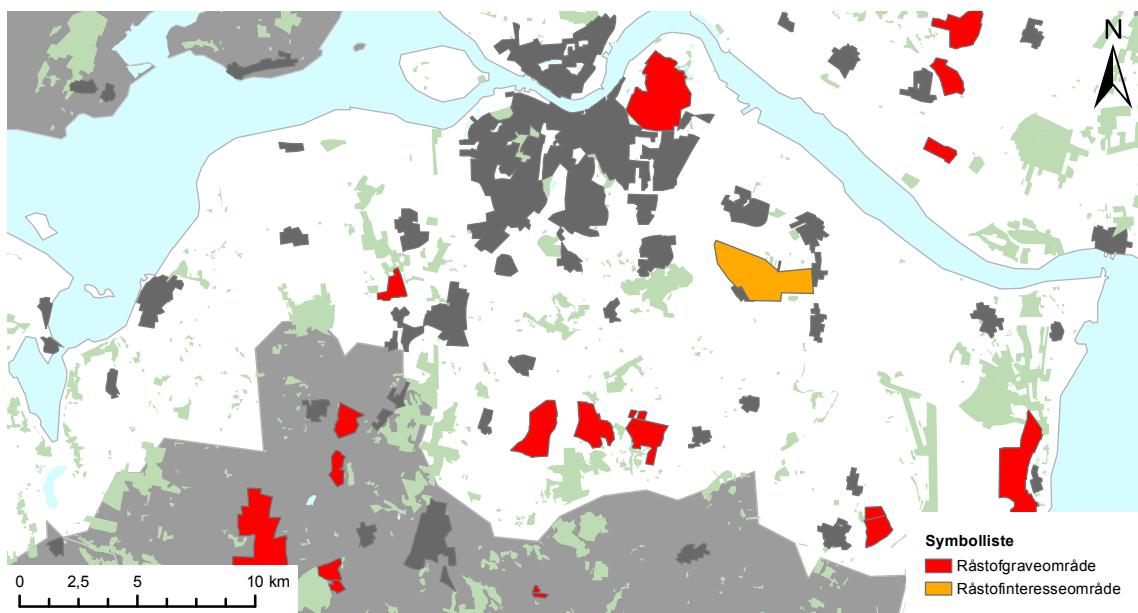
Der kan forekomme væsentlig pesticideforurening, såfremt skovarealet bliver anvendt til dyrkelse af f.eks. juletræer.

Ud fra denne viden bør vandindvindingers placering om muligt søges i de større skove i Aalborg Kommune. Der kan alternativt plantes en skov i det grundvandsdannende opland for en boring, således den samme effekt vil opnås. I skove plantet på landbrugsjord er der dog stadigvæk højere nitratindhold end for naturlige skove, især de første år efter plantning. Samtidig er der en øget risiko for tungmetaller i grundvandet i skove, der er plantet på landbrugsjord. [Skov- og Naturstyrelsen, 2014]

De planlagte råstofområder i projektområdet ses på figur 3.4. Der er ofte sammenfald mellem råstofområder og grundvandsinteresser. I råstofindvindinger fjernes overjorden for gravene, som ofte består af moræneler, hvilket fjerner den naturlige beskyttelse for grundvandet. Samtidig er der en række forureningsrisici ved råstofindvindinger, bl.a. tilførsel af jord og oparbejdning af genbrugsmaterialer.

Der bør derfor såvidt muligt undgås at etablere vandindvindingsanlæg indenfor råstofområder, samt bør grundvandsdannelsesoplændet for en vandindvinding undgå råstofområder.

Ud fra figur 3.4 kan dette være problematisk i den sydlige del af projektområdet, hvor der er tre råstofområder.

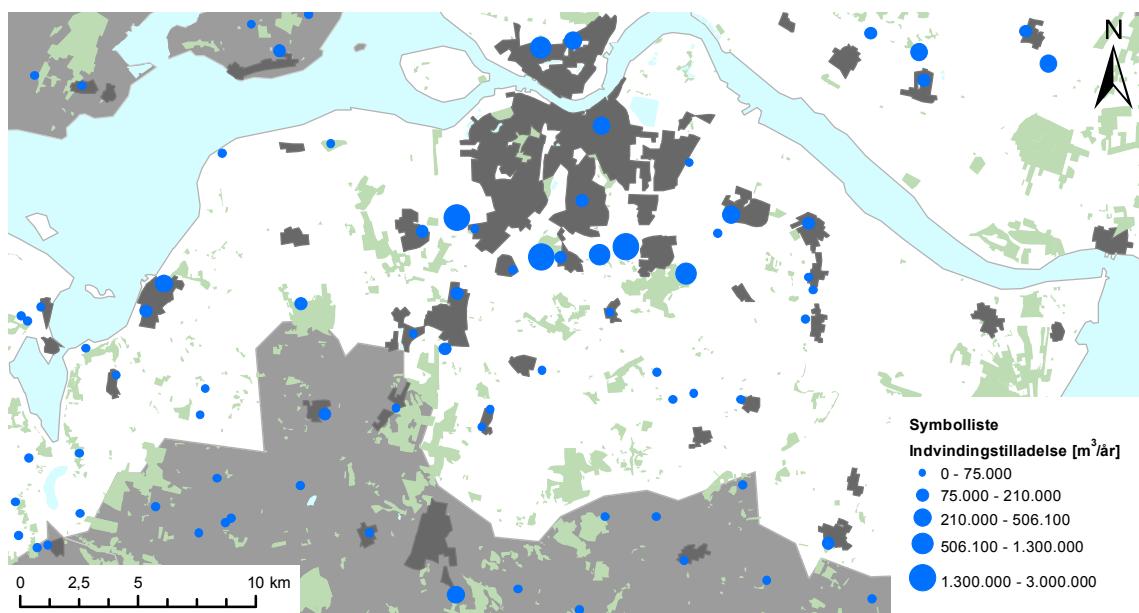


Figur 3.4. Råstofområder i råstofplan for region Nordjylland. Data fra [Miljøportalen, 2014]

3.2.3 Eksisterende indvindinger

På figur 3.5 ses de eksisterende almene vandforsyningssanlæg i projektområdet, der stadig er aktive, angivet med punkter, hvis størrelse afhænger af størrelsen af indvindingstilladelsen.

Ved nye vandindvindinger, der er placeret tæt på allerede eksisterende vandindvindinger, som stadig er i brug, er der risiko for, at der er nedsat indvindingspotentiale. Alternativt kan det være mere hensigtsmæssigt at udvide en eksisterende vandindvinding, såfremt der er kapacitet til det, frem for at etablere et nyt vandforsyningssanlæg.



Figur 3.5. Eksisterende vandindvindinger i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

3.2.4 Grundvandskemi

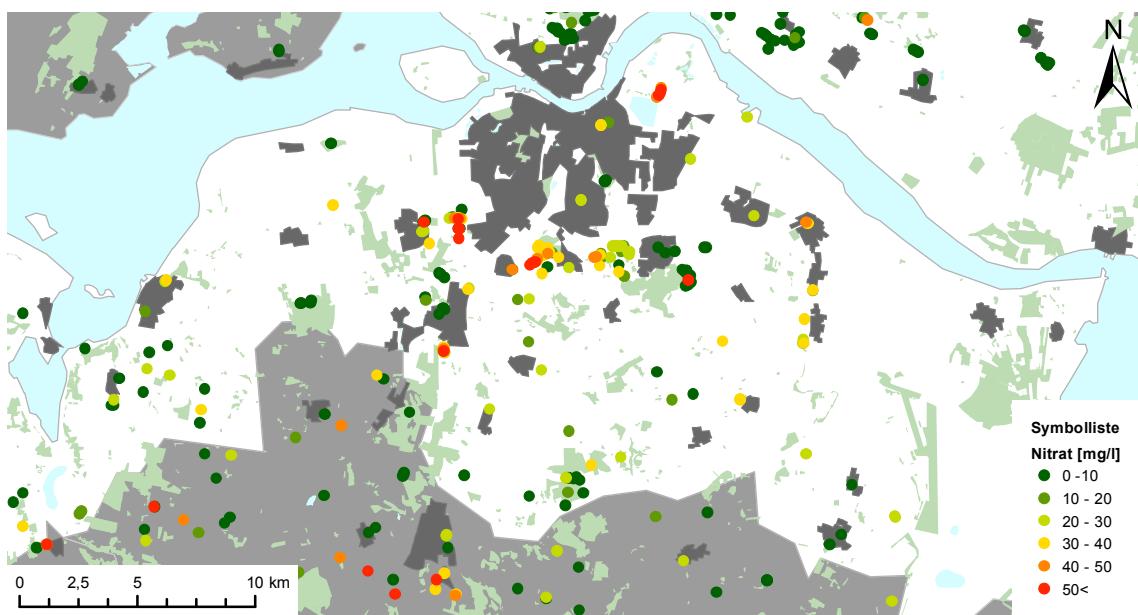
Grundvandskemien er viden om de stoffer og processer, som foregår i undergrunden, når vandet går fra regn til grundvand. Fra regnen rammer jordoverfladen og gennem nedsvivningen sker forskellige reduktioner af stoffer i jorden. Disse stoffer ender i grundvandet mere eller mindre reduceret. Stoffer, som typisk udgør et problem for de danske vandindvindingers kvalitet, er:

- Nitrat
- Ammonium
- Jern
- Arsen
- Mangan
- Klorid
- Sulfat

Samtlige figurer om grundvandskemi bygger på data fra GEUS [2014b]. Stofkoncentrationen af de ovenstående stoffer udtrækkes som en middelværdi af de målte data i hver boring. Derudover benyttes kun nyere data, dvs. målinger af stofkoncentrationer fra før 1. januar 2000 ikke anvendes.

Nitrat

Grænseværdien for nitrat i drikkevand er 50 mg/l [Miljøministeriet, 2014]. Nitrat er potentieligt skadeligt for småbørn, såfremt nitrat omdannes til nitrit. På figur 3.6 ses nitratkoncentrationen i grundvandsboringer i Aalborg kommune. Stofforekomster, der overskrider grænseværdien, er markeret med rødt og vil være uinteressante områder for en ny kildeplads. [Karlby og Sørensen, 2014]



Figur 3.6. Nitratkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

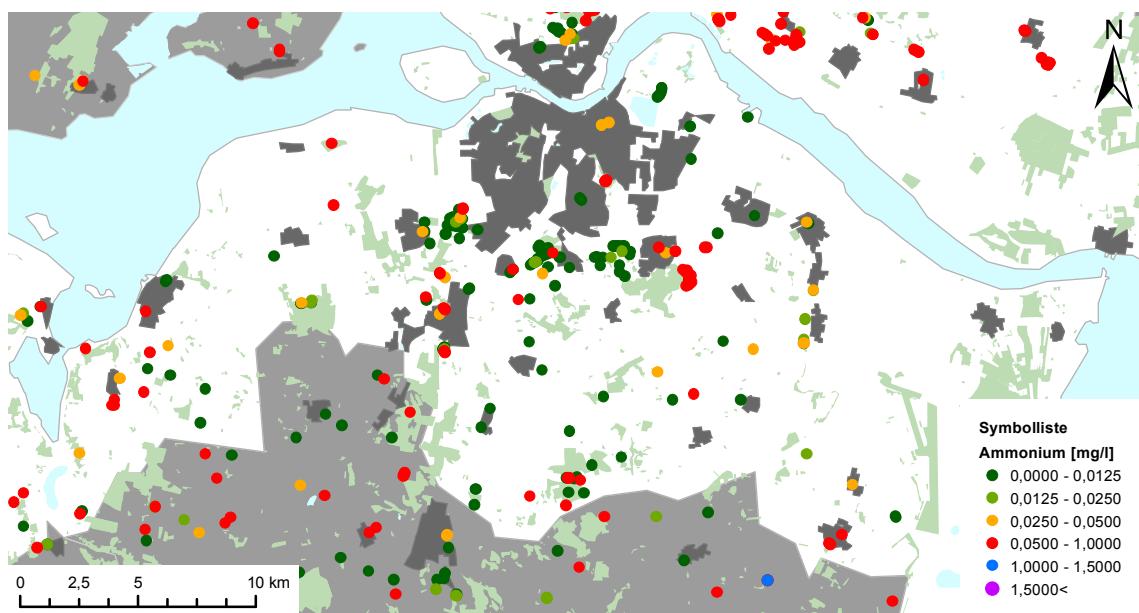
Der er flere forskellige måder at reducere nitratkoncentrationen i vandet på. De mest anvendte er membranfiltrering, ionbytning og denitrifikation, hvor den sidste ikke anvendes i Danmark. Alle tre metoder er kategoriseret som videregående behandling.

Det ses på figur 3.6, at nitratkoncentrationerne er høje tæt på byerne og enkelte steder i det åbne land. Dette bekræfter blot, at indvinding bynært eller landbrugsnært er besværet af nedslivning af gødning eller spildevandsforurening. Derudover ses det, at grundvandsboringerne i skovområder har et lavt nitratindhold, hvormed det vil være fordelagtigt at lave kildtpladser i nærheden af skovområder.

Der ses samtidig, at størstedelen af projektområdets landbrugsområder ikke er utsat for nitratkoncentrationer, der overskridt grænseværdien. Det er derfor ikke nødvendigt kun at søge placering af nye kildepladser i skove, som ellers er forklaret i afsnit 3.2.2, såfremt pesticider heller ikke overskridt grænseværdien. Der er dog stadig risiko for udvikling i nitratkoncentrationer, men dette kan undgås ved hyppig kontrol og regulering.

Ammonium

Grænseværdien for ammonium fra afgang ved vandværk er 0,05 mg/l [Miljøministeriet, 2014]. Ammonium i de koncentrationer, som normalt findes i grundvand, er ikke sundhedsskadeligt. Ammonium kan dog øge bakterievæksten og kan omdannes til nitrit, som begge er sundhedsskadelige. På figur 3.7 ses koncentrationen af ammonium i grundvandsboringer i projektområdet.



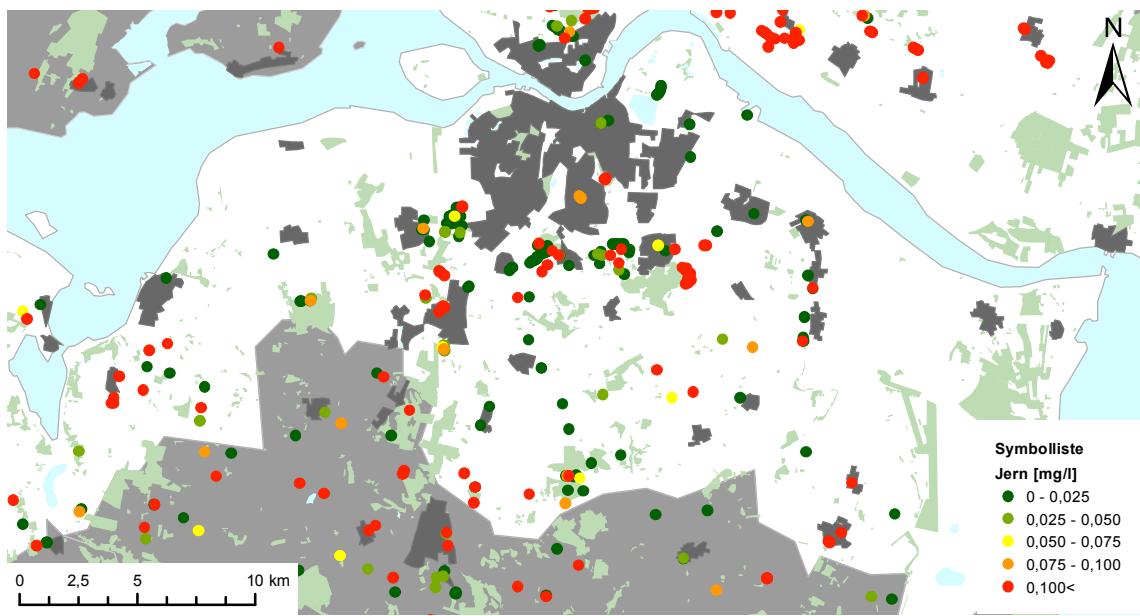
Figur 3.7. Ammoniumkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Ammonium fjernes normalt ved nitrifikation med biofiltre, så det omdannes til nitrat. Ved særligt høje koncentrationer kræver ammoniummen supplerende iltning og indebærer normalt dobbeltfiltrering, hvilket kategoriseres som videregående behandling [Karlby og Sørensen, 2014]. Grundvandsboringer, hvor grundvandet overskridt kvalitetskravet for ammoniumkoncentration ved afgang fra vandværk, er markeret med rødt på figur 3.7, og grundvandsboringer, hvor grundvandets ammoniumkoncentration er så høj, at videregående behandling er nødvendig, er markeret med lilla.

Ammoniumkoncentrationerne er tæt på eller over kvalitetskravet i det meste af projektområdet, hvor det primært er midten af den sydlige del, hvor der ikke findes høje ammonium-koncentrationer. Der er dog ingen grundvandsboringer i projektområdet, hvor grundvandets ammoniumkoncentration er så høj, at der kræves videregående behandling.

Jern

Grænseværdien for jern i drikkevand er 0,1 mg/l [Miljøministeriet, 2014]. Jern er uønsket i grundvandsindvindingen, da den påvirker farve og smag af drikkevandet. Meget jernholdigt grundvand kan renses, så jernet udfælder, men lave jernkoncentrationer foretrækkes. Forhøjede jern-koncentrationer kan give aflejringer og udfælninger i ledningsnettet, som kan resultere i propper. [Karlby og Sørensen, 2014]



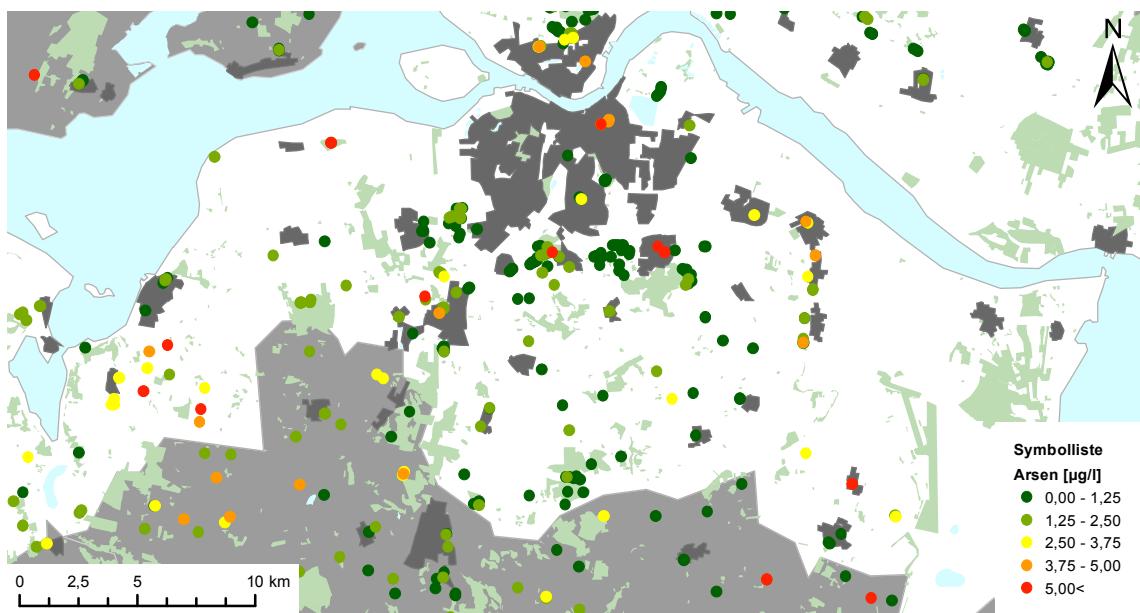
Figur 3.8. Jernkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Jern iltes normalt, så det omdannes til okker, som derefter kan filtreres. Stofkoncentrationen kan derfor reduceres med brug af normalbehandling.

Figur 3.8 viser, at jernindholdet i grundvandet tilnærmelsesvis følger nitrationdholdet. Byerne og vejene er kilder til tungmetaller, deriblandt jern.

Arsen

Grænseværdien for arsen ved indgang til ejendom er 5 g/l [Miljøministeriet, 2014]. Arsen er sundhedsskadelig og er bl.a. kræftfremkaldende og kan nedsætte fertilitet [Karlby og Sørensen, 2014]. På figur 3.7 ses koncentrationen af arsen i grundvandsboringer i projektområdet.



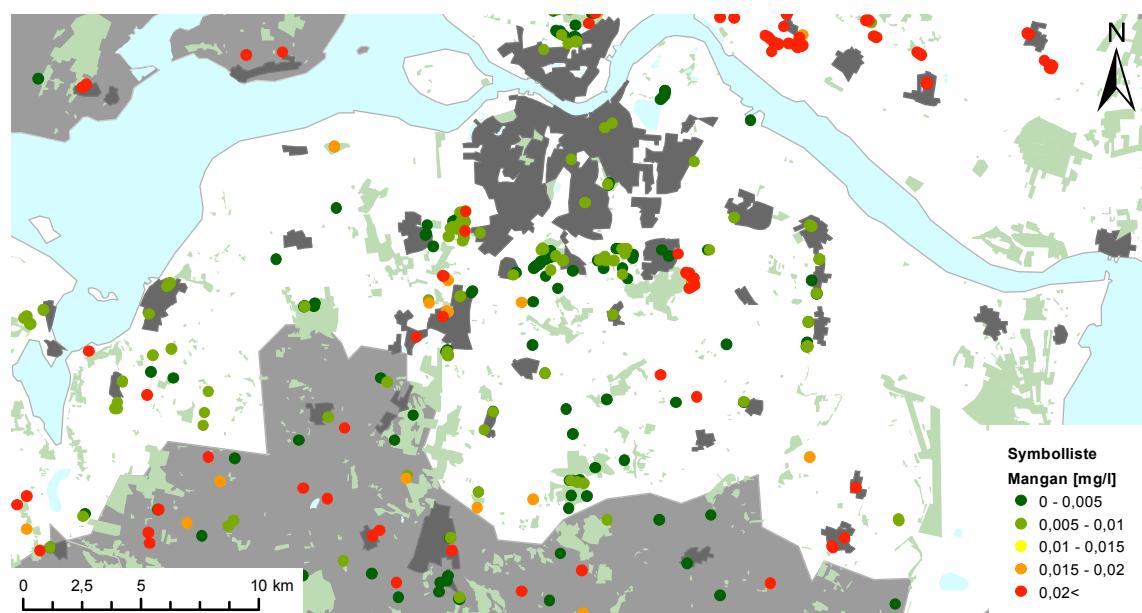
Figur 3.9. Arsenkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Der er en række grundvandsboringer, hvor koncentrationen af arsen er højere end kvalitetskravet for drikkevand.

Der er forskellige måder at sænke arsenindholdet i drikkevandet, som kan indbefatte videregående behandling. Én af metoderne er supplerende jerndosering, hvor der tilføjes jernsalte til råvandet, så As^{5+} medudfældes med jernet. Behovet for jerndoseringen er derfor afhængig af koncentrationen af arsen, samt koncentrationen af jern før jerndosering, hvorfor normalbehandling ofte er tilstrækkeligt.

Mangan

Mangan er som jern et uorganisk stof i grundvandet, som påvirker grundvandet æstetisk. Det ønskes derfor i lav stofmængde, da det giver anledning til misfarvning og dårlig smag af vandet. Grænseværdien for mangan i drikkevand er 0,02 mg/l. [Miljøministeriet, 2014]



Figur 3.10. Mangankortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Mangan iltes normalt, så det omdannes til brunsten, som derefter kan filtreres. Stofkoncentrationen kan derfor reduceres med brug af normalbehandling.

Mangan-koncentrationen, vist på figur 3.10, i grundvandet er størst i den nordlige del af Aalborg Kommune, den centrale del og sydvest for Aalborg Kommune. Derfor vil det være fordelagtigt at placere kildepladser meget sydligt eller henholdsvis øst og vest for Aalborg by.

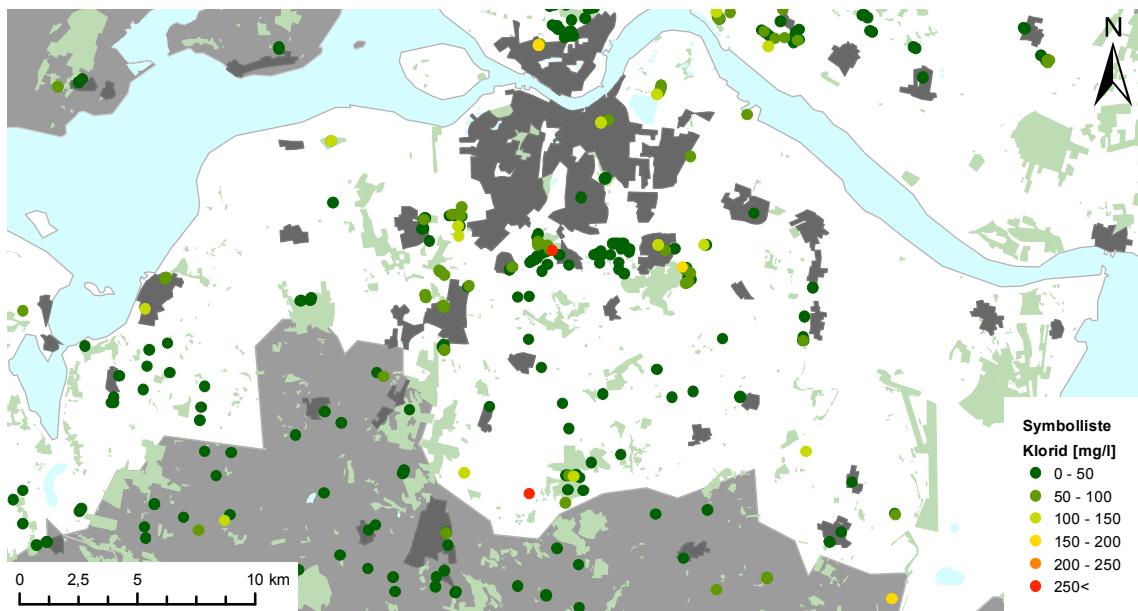
Klorid

Grænseværdien for Klorid er 250 mg/l [Miljøministeriet, 2014]. Høje kloridkoncentrationer medfører saltsmag og klorsmag i drikkevandet. [Karlby og Sørensen, 2014]

Høje natriumkloridkoncentrationer kan ofte findes tæt ved kyster, hvor der uddover risikoen for oversvømmelse også er risiko for, at havvandet danner en kile af saltvand ind under landet. Denne kile kan medføre saltvandsindtrængning i grundvandsmagasinet. Der er også

ofte høje saltkoncentrationer dybere i kalkmagasiner, hvor der kan findes residualt saltvand fra aflejringstidspunktet. Risikoen for høje saltkoncentrationer i dybe jordlag er ofte en begrænsning for indvindingspotentialet.

Saltkoncentrationer kan også findes i nærheden af veje, der saltes i vinteren og kan bl.a. i nærheden af byer være et større problem.



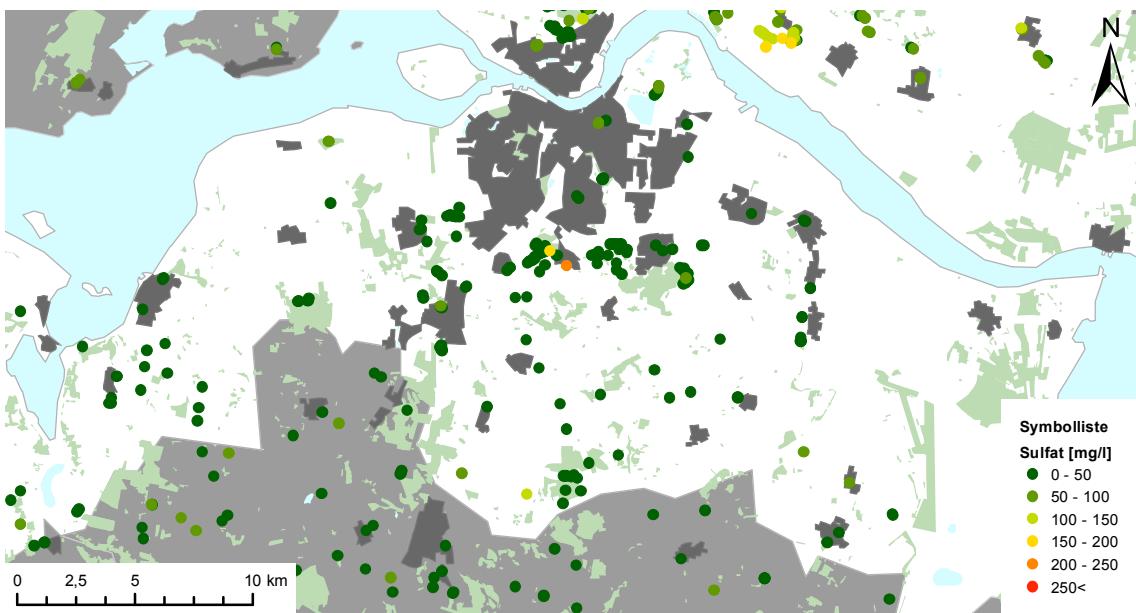
Figur 3.11. Kloridkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Klorid fjernes ved membranfiltrering, som indbefatter videregående behandling.

Der er to borer i projektområdet, som overskridt grænseværdien. Idet behandling af klorid indbefatter videregående behandling, bør områderne omkring de høje målinger undgås.

Sulfat

Grænseværdien for sulfat-koncentration i drikkevand er 250 mg/l [Miljøministeriet, 2014]. Sulfat-indholdet i grundvand afgør smag og kan ved overskridelse af grænseværdien virke afførende. [Karlby og Sørensen, 2014]



Figur 3.12. Sulfatkortlægning i projektområdet. Data fra GEUS [2014b]

Sulfat fjernes ved membranfiltrering eller ionbytning, som begge indbefatter videregående behandling.

Der er ingen målinger i projektområdet, hvor sulfatkonzcentrationen overskrider grænseværdien, hvorfor det sandsynligvis ikke er et problem.

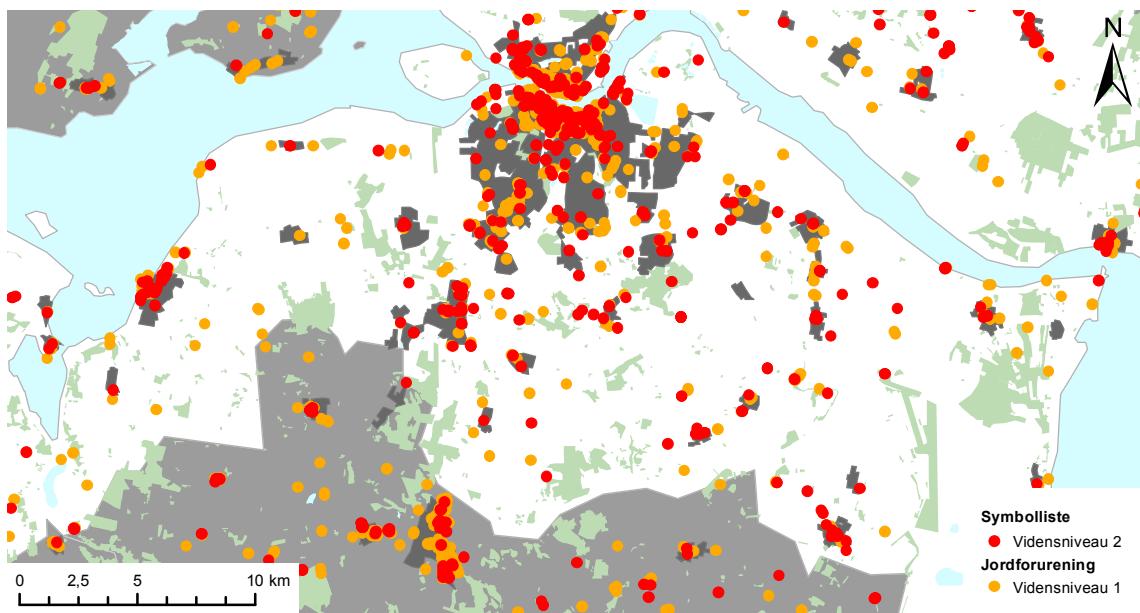
På henholdsvis figur 3.11 og 3.12 ses det, at klorid- og sulfat-konzcentrationerne er under grænseværdien i størstedelen af Aalborg Kommune syd for Limfjorden. Det er kun i den sydlige del af Aalborg by, at et par borer viser høje koncentrationer af både klor og sulfat. Kloridkonzcentrationen er over grænseværdien i de borer, hvor der også er påvist et højt sulfatindhold.

3.2.5 Jordforurening

Region Nordjyllands kendskab til jordforurening i projektområdet ses på figur 3.13 [Miljøportalen, 2014]. Der bør bemærkes, at jordforureningsområder normalt kortlægges som arealer, men er her valgt at angives som punkter grundet kortets størrelse.

Jordforureningen er angivet efter vidensniveau. Vidensniveau 1 betyder, at regionen har kendskab til aktiviteter, der kan have været kilde til jordforurening på arealet. Vidensniveau 2 betyder, at der er dokumenteret jordforurening af en sådan art eller koncentration, at forureningen kan have skadelig virkning på mennesker og miljø. Jordforurening kortlægges løbende og ikke alle jordforureninger er kortlagt.

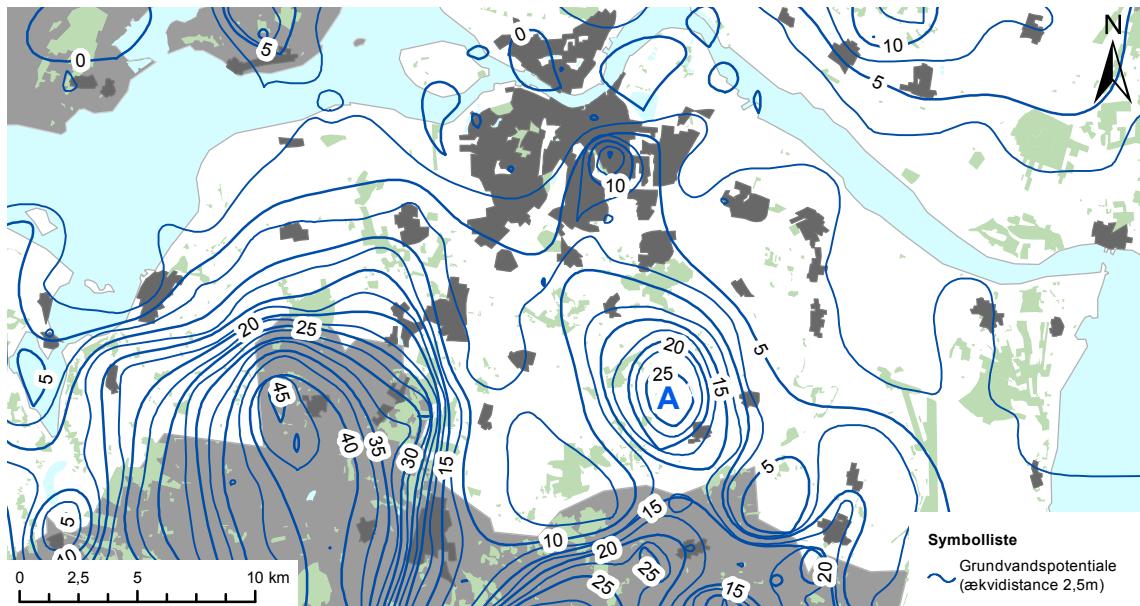
Jordforurening kan være relevant at undersøge, før der foretages en vandindvinding, idet punktforureningskilden kan påvirke kvaliteten af grundvandet negativt. Indflydelsen af jordforureningen er afhængig af type, koncentration, alder og hvor forureningen har fundet sted.



Figur 3.13. Jordforureninger i projektområdet. Data fra Miljøportal [2014]

Jordforureningsarealerne undersøges nærmere, efter der er udvalgt potentielle indvindingszoner.

3.2.6 Grundvandspotentiale



Figur 3.14. Grundvandspotentialet i projektområdet. Pejlinger fra GEUS [2014b]

Kortlægningen af grundvandspotentialet er et værdifuldt værktøj til at finde eventuelle problematikker i sammenhæng med det grundvandsdannende opland for en eventuel indvinding. Det grundvandsdannende opland analyseres senere i screeningen i sammenhæng med analysen af de enkelte forslag til vandindvindinger.

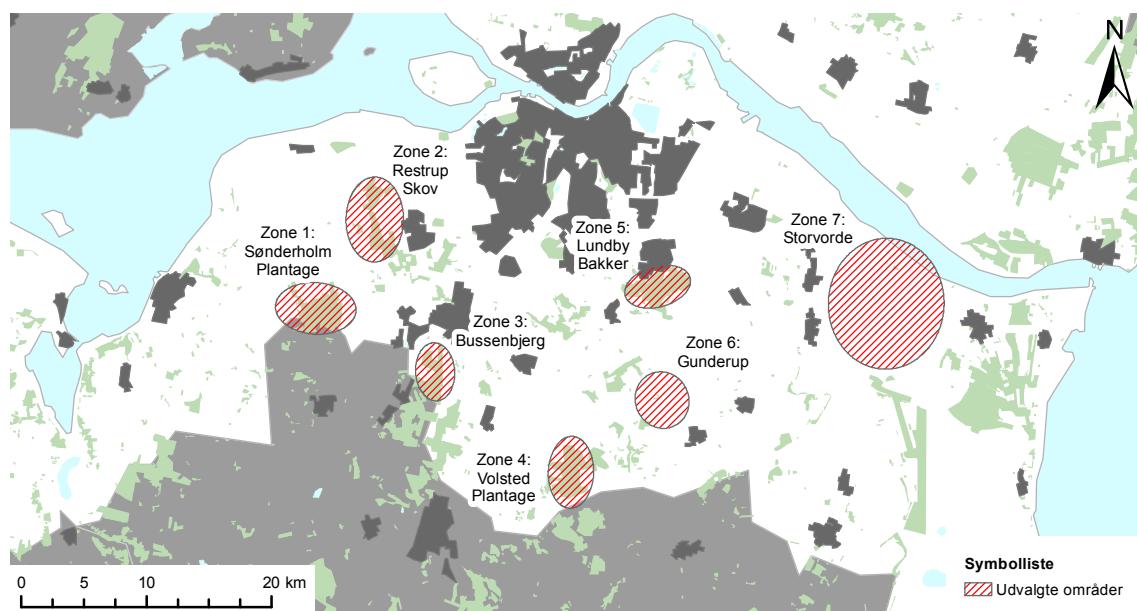
På figur 3.14 ses et kort over grundvandspotentialet for projektområdet. Punkt A på kortet angiver det største toppunkt i grundvandspotentialet for projektområdet. Det er

fordelagtigt at placere en vandindvinding i dette punkt, idet det grundvandsdannende opland bliver tilnærmelsesvis cirkelformet. Oplandet er derfor lettere at kontrollere og kan lettere beskyttes.

3.3 Screening af udvalgte zoner

Der udvælges zoner på baggrund af arealanvendelsen beskrevet i afsnit 3.2.2 og grundvandspotentiale beskrevet i afsnit 3.2.6. De udvalgte zoner er valgt således, at de undgår byområder og undgår tung påvirkning fra landbrug. Hvorfor den enkelte zone er inkluderet i vurderingen beskrives i zonens afsnit.

Formålet med udvælgelsen af mindre zoner er, at det muliggør mere dybdegående undersøgelse af området. Zonerne vurderes i henhold til bedømmelseskriterierne på baggrund af kortlægningen af projektområdet.



Figur 3.15. Udvalgte områder til lokal screening.

Som illustreret på figur 3.15, er der udvalgt syv zoner. Der vurderes her efterfølgende hvilke fordele og ulemper, der er at finde i de forskellige zoner, inden der træffes en beslutning om, hvilken zone, der er mest fordelagtig.

3.3.1 Zone 1 - Sønderholm Plantage

Sønderholm Plantage er en skov på ca. 285 ha. Den ligger i den vestlige del af Aalborg Kommune, hvor den sydlige del af skoven tilhører Rebild Kommune. Den tætteste by ligger ca. 2,8 km væk.

Vest for og i selve området findes der andet naturbeskyttelse, jvf. afsnit 3.2.1. I selve området forekommer der beskyttet naturtyper (§3), som udgøres af enge, moser og søer. Vest for området findes et beskyttet vandløb. Det kan derfor forventes, at en vandindvinding kan have en negativ indflydelse på ålbets ydelse eller ændre tilstanden på de nærliggende moser og søer.

Området er en potentiel god placering for en vandindvinding, idet det er en stor skov, hvor der jvf. afsnit 3.2.4 forventes en acceptabel grundvandskvalitet, da der ikke forekommer stofkoncentrationer, der overskridt kvalitetskravene for drikkevand. Derfor forventes der, at normalbehandling bør være tilstrækkelig.

Jvf. afsnit 3.2.3, ses det, at der i forvejen sker indvinding i området, hvorfor dette sænker indvindingspotentialet. Yderligere er der planlagt én ekstra indvinding på $350\,000\text{ m}^3/\text{r}$ [Aalborg Kommune, 2011]. Det kan derfor være mere relevant at søge udvidelse af den eksisterende indvindingstilladelse.

Det vurderes, at vandindvingen har en lav risiko for at påvirke de beskyttede naturtyper og åløb, men der bør udføres en grundvandsmodellering og evt. VVM-redegørelse.

3.3.2 Zone 2 - Restrup Skov

Restrup Skov er en skov på ca. 225 ha. Skoven ligger ca. én kilometer vest for Frejlev. Området er en potentiel god placering for en vandindvinding, idet det er en stor skov, som er lang og smal i grundvandets strømningsretning.

Nær området findes der andet naturbeskyttelse. Hasseris Å er et beskyttet vandløb, som løber igennem den nordlige del af Restrup Skov. Omkring åen ligger en række beskyttede naturtyper (§3), som er sører, enge og moser. Vandindvindingen bør derfor placeres i den sydlige del af Restrup Skov for at undgå at påvirke de beskyttede områder, idet grundvandspotentialet jvf. afsnit 3.2.6 stiger mod syd. Der kan dog stadig være risiko for reduktion af åløbets ydelse eller ændring af tilstanden for moser og sører.

Der er jvf. afsnit 3.2.4 ikke foretaget nogen grundvanskemiske analyser af undergrunden i skoven. Derfor er det uvist, om hvorvidt grundvandskvaliteten i området er tilfredsstillende, da det ikke kan siges med sikkerhed, om hvorvidt området indeholder stofkoncentrationer, der overstiger kvalitetskravene for drikkevand. Der er én boring i Frejlev by og fire øst for Frejlev, hvor nitratindholdet overstiger grænseværdien. Samtidig er der én måling vest for Restrup Skov, der angiver en nitratkoncentration på 33 mg/l . Restrup Skov ligger derfor i en zone, hvor der kan være risiko for høje nitratkoncentrationer, hvilket endvidere betyder en risiko for, at der bør benyttes videregående vandbehandling.

Det vurderes derfor, at der bør foretages borer i eller omkring Restrup Skov for at foretage analyse af områdets grundvanskemi, samt eventuelt udføre en VVM-redegørelse inklusiv grundvandsmodellering for at undersøge en vandindvindings indflydelse på de beskyttede områder.

3.3.3 Zone 3 - Bussenbjerg

Bussenbjerg er en skov, der befinder sig i den sydlige del af Aalborg kommune. Det er dog kun den nordlige del af skoven, der befinder sig i Aalborg Kommune, resten tilhører Rebild Kommune. Den del, der tilhører Aalborg Kommune, har et areal på 182 ha og der er ca. 1 km til nærmeste by.

Området ligger med kort afstand til andet naturbeskyttelse, hvilket indebære både beskyttede vandløb og beskyttede naturtyper (§3), hvor de beskyttede naturtyper i

området er sører og moser. Derfor er der usikkerhed, om en evt. indvindingsboring ændrer tilstanden i disse naturtyper.

Der forekommer stofkoncentrationer, der overskrider grænseværdien for drikkevand, jvf. afsnit 3.2.4, hvor én af dem er nitrat. Dette kan betyde, at der bør fortages videregående behandling. Det er uvist, om hvor kritisk dette er, da nitratmålingen er fundet i den nordlige del af skoven. Yderligere er der registreret jordforurening i den vestlige del af skovarealet, se figur 3.13. Jordforurenningen er klassificeret som vidensniveau 2, grundet at der befinner sig en entreprenørvirksomhed med værksted og olieoplæg. Dette kan betyde en høj koncentration af diverse olieprodukter, hvis der er opstået lækage i olieoplæget. Hvis der skal opføres en indvindingsboring i Bussenbjerg, vil det enten være nødvendigt at opkøbe den grund, som virksomheden befinner sig på, eller indføre stramme rammer for virksomheden, såsom hyppig eftersyn af olieoplæget, så fremtidige lækager undgås.

Det vurderes derfor, at en grundvandsmodellering af området er en nødvendighed, for at undersøge om hvorvidt en indvinding, vil have en negativ indvirkning på beskyttede natur.

3.3.4 Zone 4 - Volsted Plantage

Volsted Plantage er en skov i den sydlige del af Aalborg Kommune med et samlet areal på 294 ha og en kort afstand til selve byen Volsted. Volsted Plantage ses som værende et interessant område at opføre en indvindingsboring, dels på grund af arealanvendelsen, som primært er skov, hvilket også er positivt for de videregående indsatser.

Ud fra afsnit 3.2.4 kan der forventes en grundvandskvalitet, der kan siges at være acceptabel. Selvom der ses at være overskridelser af jern og ammonium, er disse ikke kritiske, da begge kan normalbehandles. Det ses også ud fra figur 3.13, at der forekommer jordforurening af vidensniveau 2, grundet en nedlagt losseplads. Dette kan også have betydning for grundvandskvaliteten pga. en forhøjet mængde af salte i grundvandet samt risiko for tungmetaller. Forurenningen er registret udenfor skovarealet og ud fra grundvandspotentialet vil det umiddelbart ikke være et problem at indvinde fra Volsted Plantage, så længe der indvindes indenfor skovarealet. Yderligere kan det forsøges at fjerne eller begrænse forurenningen for at fremtidssikre området ved at indføre positiv arealanvendelse, som f.eks. skovrejsning og udlægge området som et område med særlig drikkevandsinteresse.

Der er samtidig råstofområder nord for plantagen jvf. figur 3.4. I det grundvandsdannelsen i Volsted Plantage forventes at ligge nord-nordøst for plantagen, er der risiko for yderligere forurening i plantagen.

Det ses ud fra afsnit 3.2.1, at der forekommer både Natura2000 og andet naturbeskyttelse i området. Yderligere befinner der sig to kildevæld i Volsted Plantage, hvor en evt. indvindingsboring må forventes at have en negativ effekt på kildernes ydelse. Samtidig ligger der et dambrug nær den sydlige del af plantagen, hvor der også forventes, at en indvindingsboring vil have en negativ indflydelse. Der bør derfor udføres en grundvandsmodel for at undersøge, hvorvidt tilstanden i området ændres.

Ud fra figur 3.14 ses endvidere, at indvindingsoplændet vil løbe op mod Gundersup, hvilket betyder, at det må forventes, at store dele af indvindingsoplændet vil befinde sig i

skovarealer, dog afhængigt af hvor boringen placeres. Noget af indvindingsarealet befinner sig også i landbrugsarealer, hvilket kan betyde, at grundvandet ikke kan forventes at være helt nitratfrit.

3.3.5 Zone 5 - Lundby Bakker

Lundby Bakker ligger syd for en forstad til Aalborg, jvf. figur 3.15, kaldet Gistrup. Lundby Bakker er et skovområde på omrent 307 ha, som bliver brugt til rekreative aktiviteter. Skoven er underlagt Danmarks Naturfredningsforenings betegnelse for urørt skov, hvilket betyder, at skoven passer sig selv uden indblanden fra mennesker, [Teknik- og Miljøforvaltningen Aalborg Kommune, 2012]. Jævnfør figur 3.2 findes der andet naturbeskyttelse i den vestlige del. En del er decideret naturfredet og yderligere er der en række beskyttede vandløb, som ikke må forandres. Derfor bør der foretages en grundvandsmodellering for at undersøge, hvorvidt en evt. vandindvinding påvirker dette. I den østlige del af skoven er der spredte bebyggelser.

Centralt i Lundby Bakker lå der tidligere et gasværk, som har skabt en grundvandsforening jvf. figur 3.13. I Region Nordjyllands kortlægning af jordforurening fra 2010, [Miljøportalen, 2014], har gasværkets affald givet en anmærkning af vidensniveau 2, hvor der er påvist forurening af jorden og grundvandet, såfremt den asfaltbelæggede vej fjernes.

Grundvandskvaliteten i Lundby Bakker ses, jvf. 3.2.4, ikke at være tilfredsstillende, da der forekommer høje målinger af nitrat, ammonium, jern og mangan. Alle disse overskridere kravene for drikkevand ved afgang fra vandværk. Da nitrat er overskredet, betyder dette endvidere, at videregående behandling af grundvandet kan være nødvendigt.

Yderligere ses det, jvf. 3.2.3, at der allerede indvindes vand for området, hvilket har betydning for indvindingspotentialet.

3.3.6 Zone 6 - Gunderup

Området vest for Gunderup er en potentiel god placering for en vandindvinding, idet området jvf. afsnit 3.2.6 er et toppunkt for grundvandspotentialet i projektområdet.

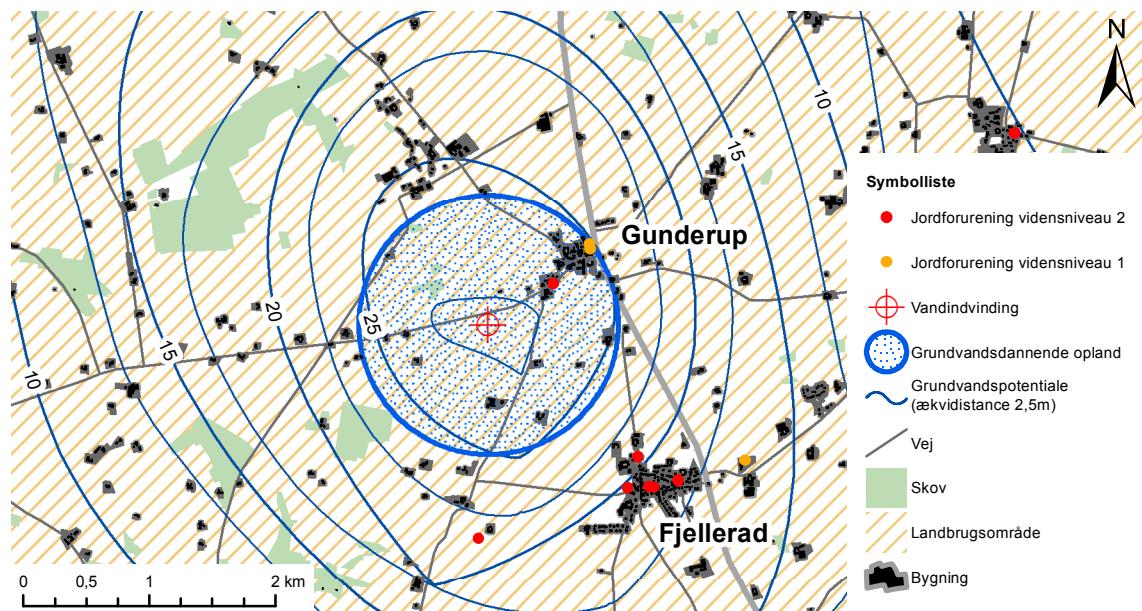
Der er jvf. afsnit 3.2.4 høje mangan-, ammonium og jern-målinger nordvest og øst for området, som overstiger kvalitetskravene for drikkevand. Alle tre stoffer kan fjernes med iltning og filtrering, hvorfor normalbehandling vurderes at være tilstrækkelig.

Der er to sører, en eng og en mose sydøst for vandindvindingen, som tilhører beskyttede naturtyper (§3). Det kan forventes, at en vandindvinding kan ændre tilstanden på sørerne og mosen.

Da det formodes, at vandindvindingen placeres i et toppunkt for grundvandspotentialet, estimeres det grundvandsdannende opland at være cirkelformet. Det estimerede grundvandsdannende opland for en vandindvinding på 1 000 000 m³/r ses på figur 3.16.

Ud fra figur 3.16 ses, at det grundvandsdannende opland indeholder to mindre veje, en mindre skov og 30 bygninger, heraf én silo. Resten af arealet anvendes til landbrug. Der er derfor risiko for øget saltindhold og tungmetaller hidrørende fra vejen samt risiko for øget nitrat- og pesticideindhold fra landbruget.

I den østlige del af det grundvandsdannende opland er der dokumenteret en jordforurening med vidensniveau 2. Jordforurenningen er kortlagt som en utæt fyringsolietank. Der er ikke fundet yderligere dokumentation for arealet. Der kan derfor forventes olieprodukter i grundvandet, heraf alkylbenzener, benzen, naftalen, MTBE og 1,2-dibromethan, hvor der findes grænseværdi for alle [Miljøministeriet, 2014]. Jordforurenningen bør derfor undersøges yderligere, eller evt. bør den forurenede jord omkring olietanken fjernes.



Figur 3.16. Det teoretiske grundvandsdannende opland for vandindvindingen. Grundvandspejlinger fra GEUS [2014b] og jordforureninger fra Miljøportalen [2014].

3.3.7 Zone 7 - Storvorde

Zone 7 ligger øst for Storvorde og er et firkantet område, hvor der i selve området hverken forekommer Natura2000 eller andet naturbeskyttelse, jvf. figur 3.2. Dog omkranses området af beskyttede vandløb. Det udvalgte område er 1600 ha fri fra beskyttet vandløb og tæt bebyggelse, hvilket sammenlignet med de andre udvalgte områder er meget stort. Dette betyder, at der er mange muligheder for placering af vandindvindinger.

Trods mulighederne for dette område er det svært at sige noget konkret om grundvandskvaliteten, idet der ingen nutidige prøver er, jvf. afsnit 3.2.4. Dog forventes det, at området med dets tætte beliggenhed til Limfjorden vil indeholde forhøjede mængder af klorid. Hvis ikke grundvandet i forevejen er salt, vil der være stor sandsynlighed for, at en sænkning af grundvandsspejlet resulterer i, at der trækkes saltvand ind i grundvandsmagasinet og ødelægger boringen. Dette betyder, at der er usikkerhed på, hvorvidt grundvandskvaliteten er tilfredsstillende.

Ydermere består området af landbrugsarealer uden skove, hvorfor det kan forventes, at pesticid- og nitratniveauet her vil være højere end i de andre udvalgte områder. Derfor vil borer, grundvandsanalyser og grundvandsmodellering være nødvendig for at dette område vil kunne vurderes korrekt.

3.4 Vurdering af udvalgte zoner

Undersøgelsen og beskrivelsen af de enkelte zoner betyder, at de kan sammenlignes. Dermed kan det vurderes, hvilken af zonerne, der er bedst til anlæggelsen af en ny kildeplads. Resultaterne sammenholdes i tabel 3.2, hvor farvekoder beskriver forskellige kriterier fra undersøgelsen. Farvekoderne er forklaret i tabel 3.1 og angiver hvor stor problematik, der kan være ved et givet bedømmelseskriterium. Problemerne er delt op i ikke-kritisk og kritisk for at differentiere imellem problemer, der medfører større anlægs- og driftsomkostninger, og problemer, som enten ikke opfylder målsætningerne eller gør det umuligt eller meget besværligt at indvinde vand.

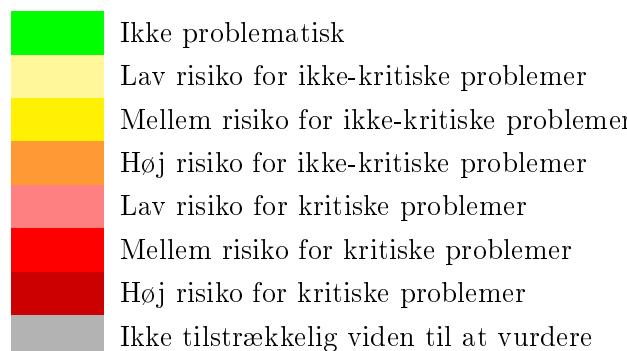
Følgende kategoriseres som ikke-kritiske og kritiske problemer:

Ikke-kritiske problemer

- Yderligere normalbehandling
- Lang afstand mellem vandværk og forsyningsgruppe
- Nedsat indvindingspotentiale
- Nødvendig skovrejsning

Kritiske problemer

- Videregående behandling
- Ingen mulighed for behandling
- Væsentlig påvirkning af naturbeskyttelsesområder
- Anlæggelse i Natura2000-område



Tabel 3.1. Farvekoder til vurdering

Kriterie \ Zoner	1	2	3	4	5	6	7
Natura2000	Grøn	Grøn	Grøn	Rød	Grøn	Grøn	Grøn
Andet naturbeskyttelse	Rød	Rød	Rød	Rød	Rød	Rød	Grøn
Grundvandskvalitet	Grøn	Rød	Rød	Gul	Rød	Gul	Grå
Indvindingspotentiale	Gul	Grøn	Grøn	Gul	Gul	Grøn	Gul
Anlægsomkostninger	Grøn	Gul	Gul	Grøn	Grøn	Gul	Gul

Tabel 3.2. Vurderingstabell for zoner i projektområdet.

3.5 Konklusion

Ud fra tabel 3.2 konkluderes det, at Sønderholm Plantage er den mest optimale placering for en ny kildeplads. Det vigtigste af fældepunkterne er den lave mængde af naturbeskyttelse i området. Derudover har Sønderholm Plantage en væsentlig bedre grundvandskvalitet end resten af zonerne. Indvindingspotentialet kunne være bedre, men dette er muligt at tage forbehold for. Hvormed der ikke er flere kritiske punkter for Sønderholm Plantage ud fra undersøgelsen.

Selvom Sønderholm Plantage er det mest optimale sted at opføre nye kildepladser, arbejdes der i projektet videre med Volsted Plantage. Mængden af data til rådighed fra Volsted Plantage er større end fra Sønderholm Plantage og udgør et bedre grundlag for en grundvandsmodellering. Grundvandsmodellering, etablering af vandværk og vandforsyning ville have været den samme disciplin for Sønderholm Plantage, såfremt der havde været tilstrækkeligt med data.

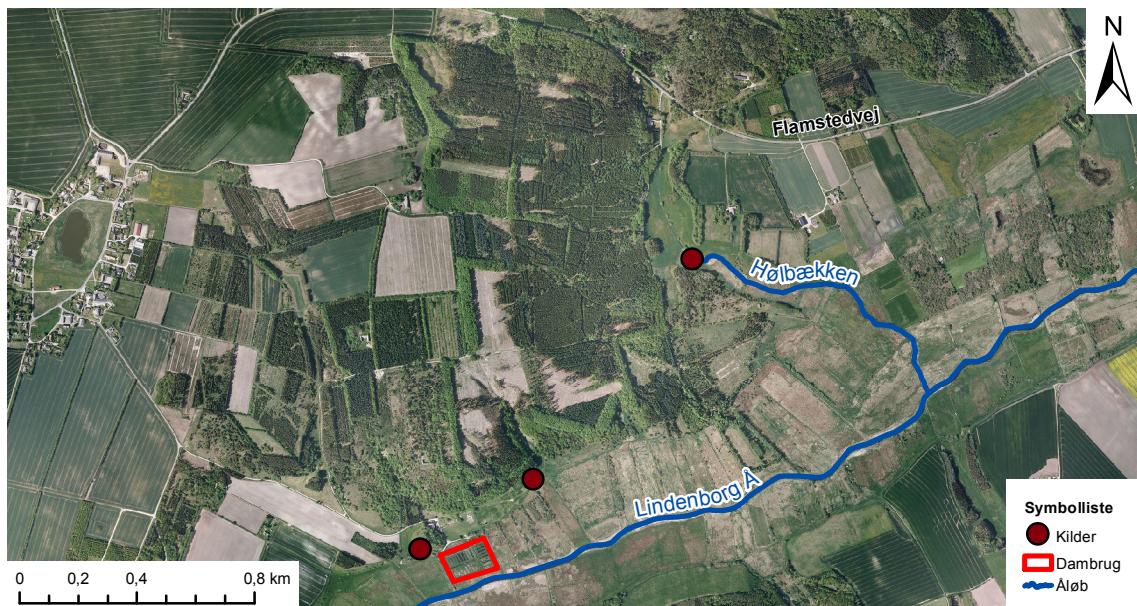
Kildepladsundersøgelse i Volsted Plantage

4

Der søges en vandindvinding på 1 000 000 m³/r i Volsted Plantage. Inden kildepladsen placeres i Volsted Plantage, bør det undersøges, hvorvidt en vandindvinding er i konflikt med gældende planer og om der på baggrund af dette er behov for en reduktion i vandindvindingsmængde.

Der undersøges derfor, i hvilket omfang en kildeplads i Volsted Plantage påvirker beskyttede naturområder, vandløb og Natura2000 i modstrid med gældende love og planer, herunder vandplan for Limfjord-distriket, Naturbeskyttelsesloven og Natura2000-plan for området omkring Volsted Plantage.

Volsted Plantage ses på figur 4.1, hvor kilderne, dambruget og åløbene er angivet. Kilden vest for dambruget medtages ikke i grundvandsmodellen. Grunden til, at kilden ikke er medtaget, er, at projektgruppens først fik kendskab til kilden efter modelleringsforløbet. Dette betyder ikke, at modellens datagrundlag eller forudsætninger er forkert, men at det tilgængelige data for projektområdet ikke er udnyttet fuldt. Det vurderes, at kilden har en lav vandføring og er tæt på modellens rand, hvorfor den formodentlig ikke kan modelleres nøjagtigt.



Figur 4.1. Volsted Plantage.

4.1 Planer i konflikt med vandindvinding

Volsted Plantage samt de to åløb, Lindenborg Å og Hølbækken, er omfattet af Vandplan 1.2 Limfjorden. Vandplanen udtrykker miljømål for vandløb, sører, kystvande og grundvand. Grundvandets kvantitative tilstand må ikke være så påvirket, at:

- Tilknyttede vandområder ikke kan opnå deres miljømål.
- Der kan ske en forringelse af tilstanden på disse vandområder.
- Der kan ske en signifikant skade på terrestiske naturtyper, der er direkte afhængige af grundvandsforekomsten.

[Naturstyrelsen, 2011, rev. 2014]

En vandindvinding må som udgangspunkt ikke medføre *en reduktion af vandløbenes vandføring på over 5% hhv. 10-25% af medianminimum, hvor miljømålene for vandløbet er høj økologisk tilstand hhv. god økologisk tilstand*. Den nærmere fastsættelse af den tilladelige reduktion sker dog på baggrund af en konkret vurdering af den enkelte vandløbsstrækning. Den del af Lindenborg Å, der ligger syd for Volsted Plantage, er kategoriseret som god økologisk tilstand. [Naturstyrelsen, 2011, rev. 2014]

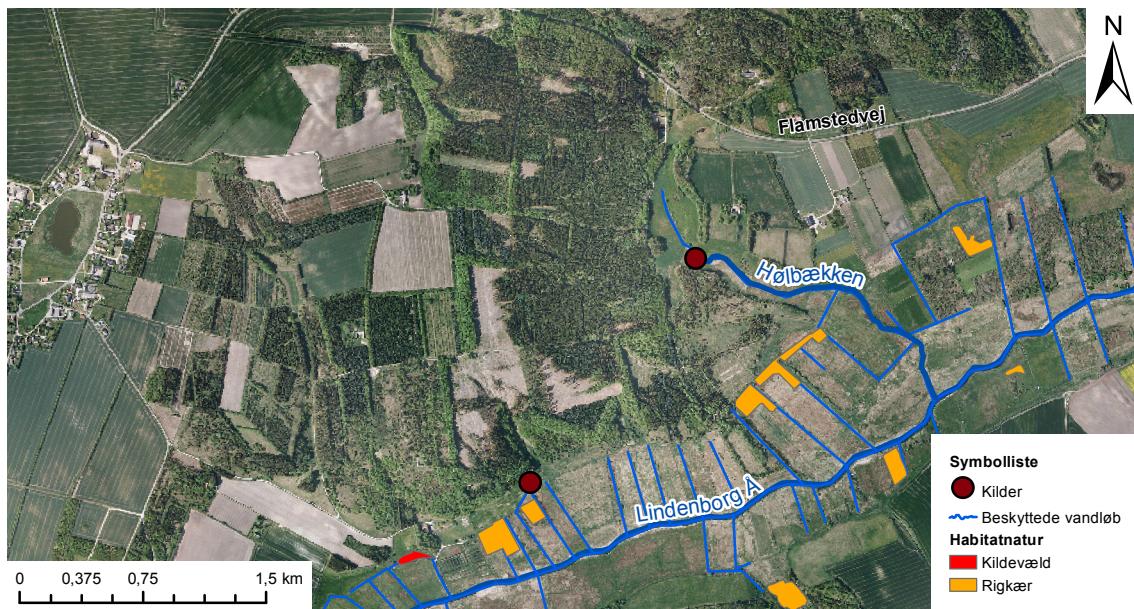
Vandplan 1.2 angiver den tilladelige reduktion af Hølbækken på 10% og den tilladelige reduktion af Lindenborg Å syd for Volsted Plantage på 15%.

Idet der søges en vandind vindingsmængde på 1 000 000 m³/r, dvs. ca. 32 l/s, er dette den teoretisk maksimale reduktion i åløbenes vandføring. Hølbækkens vandføring er ca. 26 l/s, hvorfor reduktionen i åløbet kan overskride 10%. Årsmiddelvandføringen i Lindenborg Å i år 2005 er 2071 l/s øst for Volsted Plantage, hvorfor en maksimal reduktion på 32 l/s medfører en reduktion i vandføring på 2%.

Det vurderes derfor at være usandsynligt, at en vandindvinding vil have væsentlig påvirkning på Lindenborg Å, grundet Lindenborg Ås store hydrologiske opland, hvorfor den enkelte indvinding vil have lille effekt. Der bør dog stadig undersøges for de kumulative effekter på Lindenborg Å, men behandles ikke i dette projekt.

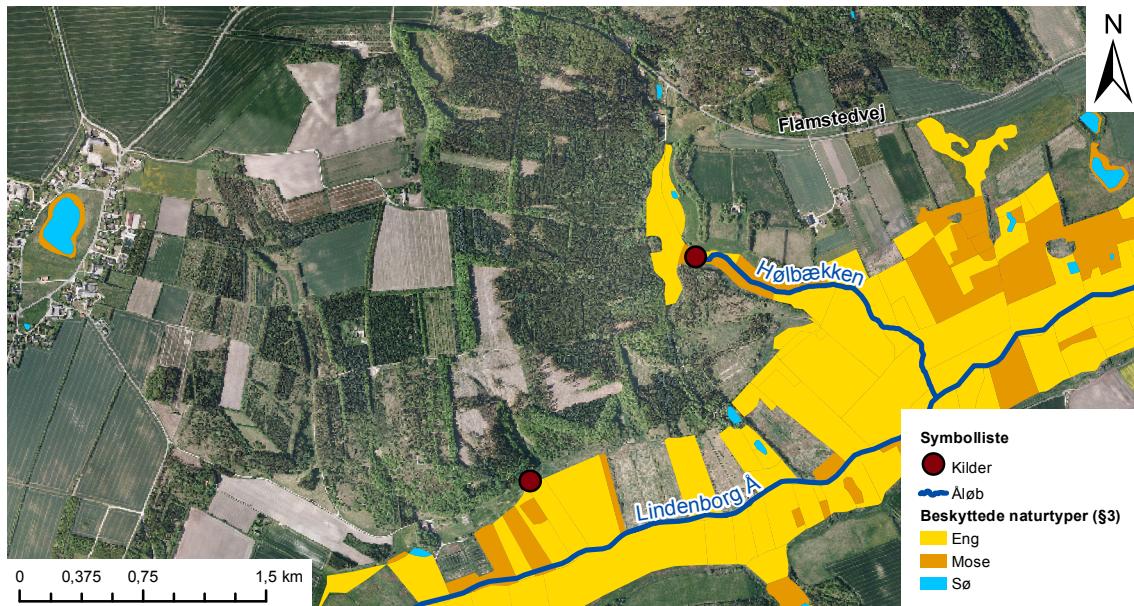
I og nær Volsted Plantage er der områder omfattet af Natura2000-plan 18 Rold Skov, Lindenborg Ådal og Madum Sø.

Beskyttede vandløb og potentielt grundvandsafhængig habitatnatur ses på figur 4.2.



Figur 4.2. Habitatnatur og beskyttede vandløb. Indenfor områdets habitatnatur er der også tør hede, kalkoverdrev og surt overdrev, som ikke er vist, idet typerne ikke påvirkes af grundvandsstanden i området. Data fra Miljøportal [2014]

I og nær Volsted Plantage er der også områder omfattet af Naturbeskyttelseslovens §3, som vurderes at være afhængige af grundvand. Områderne ses på figur 4.3. Der må som udgangspunkt ikke foretages ændringer i tilstanden af områder omfattet af §3, [Miljøministeriet, 2013a].



Figur 4.3. Områder omfattet af Naturbeskyttelseslovens §3. Indenfor området er der også hede og overdrev, som ikke er vist, idet typerne ikke påvirkes af grundvandsstanden i området. Data fra Miljøportal [2014]

På baggrund af det fornævnte opstilles formålet med grundvandsmodellen. Grundvandsmodellen bør kunne forudse langtidseffekterne af en vandindvinding, dvs. indvindingens påvirkning, når der er indtruffet forholdsvis stationære forhold. Den bør kunne danne til-

strækkelig grundlag for vurdering af grundvandssænkning og reduceret vandføring i åløb og kilder. Samtidig anvendes modellen som baggrund for bestemmelse af Boringsnært Beskyttelsesområdet (BNBO).

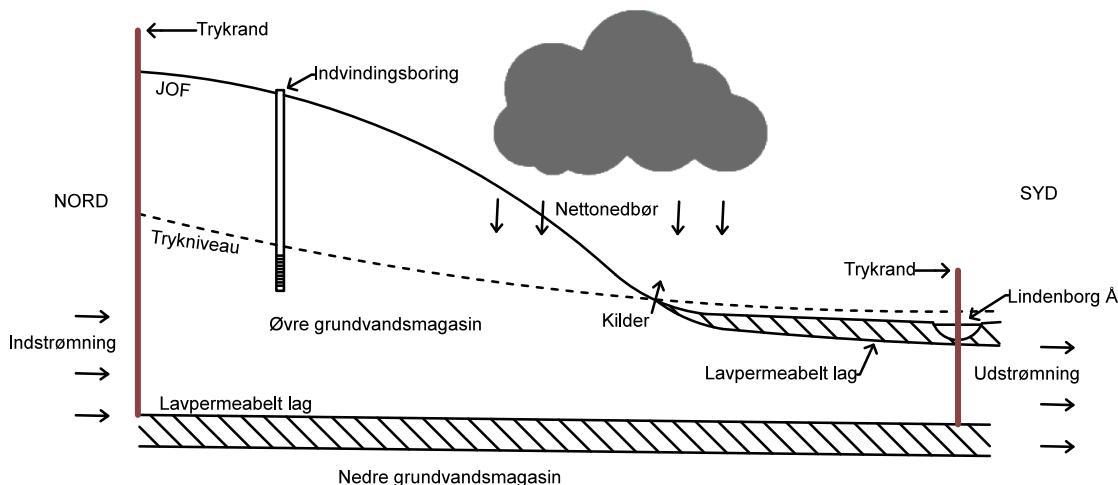
Idet kun langtidseffekterne ønskes undersøgt, vurderes det, at en stationær model for området er tilstrækkelig. Grundvandsmagasinet er primært et ensartet kalkmagasin, som derfor ikke indeholder forskellige lag, hvorfor en 2D-model vil kunne give en acceptabel beskrivelse af påvirkningerne på vandløb og kilder. Rrigkær og våde enge i den sydlige del af området kan dog ikke simuleres tilstrækkeligt med en 2D-model grundet et lavpermeabelt lag, da en sænkning i trykkoten i magasinet under laget ikke er ækvivalent med en reel grundvandssænkning ved jordoverfladen. Sænkningen i områderne vil i virkeligheden være mindre end sænkningerne i modellen. Sænkningen i modellen kan betragtes som en øvre grænse for, hvor meget sænkningen i områderne bliver, med forbehold for modelusikkerheder.

Som nævnt vil en vandindvinding i Volsted Plantage ikke påvirke Lindenborg Å kritisk, hvor de kumulative effekter af vandindvinding er vigtigere. Den nordlige kilde forsyner størstedelen af Hølbækken med vand. Det er derfor den nordlige kilde, som vandindvindingernes indflydelse bør undersøges for. Idet Hølbækken vurderes at tilhøre god økologisk tilstand, accepteres der derfor ikke en reduktion i den nordlige kilde på over 10 %.

4.2 Grundvandsmodellering

Grundvandsmodelleringen udføres med en numerisk løsning af en differentialligning. Der anvendes pejlinger i og omkring Volsted Plantage for at kortlægge grundvandspotentialet. På baggrund af grundvandspotentialekortet samt forudsætninger om Lindenborg Å og Hølbækken opstilles randbetingelser. Grundvandsmodellen modellerer området afgrænset af randbetingelserne, hvor den anvender parametre bestemt på baggrund af undersøgelser. De parametre, der skal bestemmes, er magasintykke, grundvandsdannelse og hydraulisk ledningsevne i området, som er bestemt på baggrund af hhv. boringer, vandføringsmåling i Lindenborg Å og pumpeforsøg i plantagen. Modellen kalibreres, så den stemmer overens med observationerne om vandføring i kilderne i området, for slutligt at finde den bedste placering af én eller flere indvindingsboringer og vurdere dets påvirkning på udløbene. Processen for grundvandsmodelleringen ses som flowchart i bilag A. Rød farve markerer første trin, blå farve markerer sidste trin, og gul farve markerer de valgte kalibreringsparametre.

Der ses på figur 4.4, hvordan Volsted Plantage betragtes. Det øvre grundvandsmagasin modelleres med trykrandbettinger nord, øst og vest for plantagen og igennem Lindenborg Å. Magasinet er afgrænset af et nedre lavpermeabelt lag ca. 90 m under jordoverfladen. Der er endnu et lavpermeabelt lag lige under terræn i den sydlige del af området, som forårsager, at trykkoten i det øvre grundvandsmagasin er højere end i Lindenborg Å. Samtidig som følge af trykniveauets hældning er der indstrømning i den nordlige trykrandbettingelse og udstrømning i den sydlige trykrandbettingelse. Samtidig er der grundvandsdannelse som følge af nettonedbør i hele området.



Figur 4.4. Koncepttegning over, hvordan Volsted Plantage betragtes i henhold til grundvandsmodellen

Der er en række uoverensstemmelser med modellen i forhold til virkeligheden. I den sydlige del af området er det sandsynligt, at nettonedbøren strømmer direkte til Lindenborg Å igennem overfladeafstrømning, hvilket ikke er medtaget i modellen. Indstrømningen igennem den nordlige trykrand og udstrømningen igennem den sydlige trykrand er også en usikkerhedskilde. Idet indstrømningen og udstrømningen i modellen er direkte proportional med den hydrauliske ledningsevne, påvirker den hydrauliske ledningsevne modellens vandbalance. Det er af samme grund, at der kalibreres efter vandføring i kilder.

Differentialligningen, som danner grundlag for modellen, beskrives.

4.2.1 Styrende differentialligning

For 2D-grundvandsstrømninger gælder Boussinesqs ligning. Differentialligningen danner grundlag for grundvandsmodelleringen og er følgende:

$$\frac{\delta}{\delta x} (K_x \cdot h \frac{\delta h}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (K_y \cdot h \frac{\delta h}{\delta y}) = S \frac{\delta h}{\delta t} \quad (4.1)$$

Hvor:

h	Tykkelse af magasin [m]
x	Første horisontale akse [m]
y	Anden horisontale akse [m]
K_x	Hydraulisk ledningsevne i x-retning [m/s]
K_y	Hydraulisk ledningsevne i y-retning [m/s]
S	Magasintal [-]
t	Tid [s]

Idet langtidseffekterne efter vandindvinding ønskes modelleret, er det rimeligt at antage stationære grundvandsstrømninger. For stationære grundvandsstrømninger, dvs. ingen opmagasinering, kan ligning (4.1) omskrives til følgende:

$$\frac{\delta}{\delta x} (K_x \cdot h \frac{\delta h}{\delta x}) + \frac{\delta}{\delta y} (K_y \cdot h \frac{\delta h}{\delta y}) = 0 \quad (4.2)$$

Forudsættes der en magasintykkelse, h , som er ens over hele magasinet, angivet med B , samt en hydraulisk ledningsevne, K , som er ens i alle retninger, kan differentialligningen i formel (4.2) yderligere reduceres:

$$T \cdot \left(\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} \right) = 0 \quad (4.3)$$

Hvor:

$$T = K \cdot B \quad (4.4)$$

For en grundvandsmodel over det primære, frie magasin i Volsted Plantage bør der samtidig tages hensyn til infiltration af nedbør samt indvindingen, hvis indvindingens indflydelse ønskes at modelleres. Derfor bliver differentialligningen følgende:

$$T \cdot \left(\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} \right) + R - Q = 0 \quad (4.5)$$

Hvor:

R	Infiltration fra nedbør [m/s]
Q	Indvinding [m/s]

Følgende bør antages for et grundvandsmagasin, for at ligning (4.5) er gældende:

- Sænkninger er små i forhold til magasintykkelsen
- Isotrop magasin
- Homogent magasin
- Ens magasintykkelse
- Vertikal strømning kan negligeres

Ved finite-difference-metoden sættes differentialene lig forskellen i trykkote over en fast distance, altså $\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} = \frac{\Delta^2 h}{\Delta x^2}$.

4.2.2 Parameterbestemmelse

Parametrene nødvendigt for at danne grundvandsmodellen bestemmes. Parametrene, der indgår i ligning (4.5), er følgende:

- Grundvandsdannelse, R
- Magasintykkelse, B
- Transmissivitet, T

Parametrene bestemmes i de følgende afsnit.

Grundvandsdannelse

Grundvandsdannelse sker som en del af vandbalancen for et område. I vandbalancen indgår nedbør, overfladeafstrømning, evapotranspiration, grundvandsdannelse og evt. vandindvinding. Vandbalancen ses på figur 1.1, s. 3. Vandbalancen kan også udtrykkes som ligning (4.6):

$$N = EP + Q_{\text{Overfladeafstrømning}} + Q_{\text{Grundvandsdannelse}} + Q_{\text{Indvinding}} \quad (4.6)$$

Hvor:

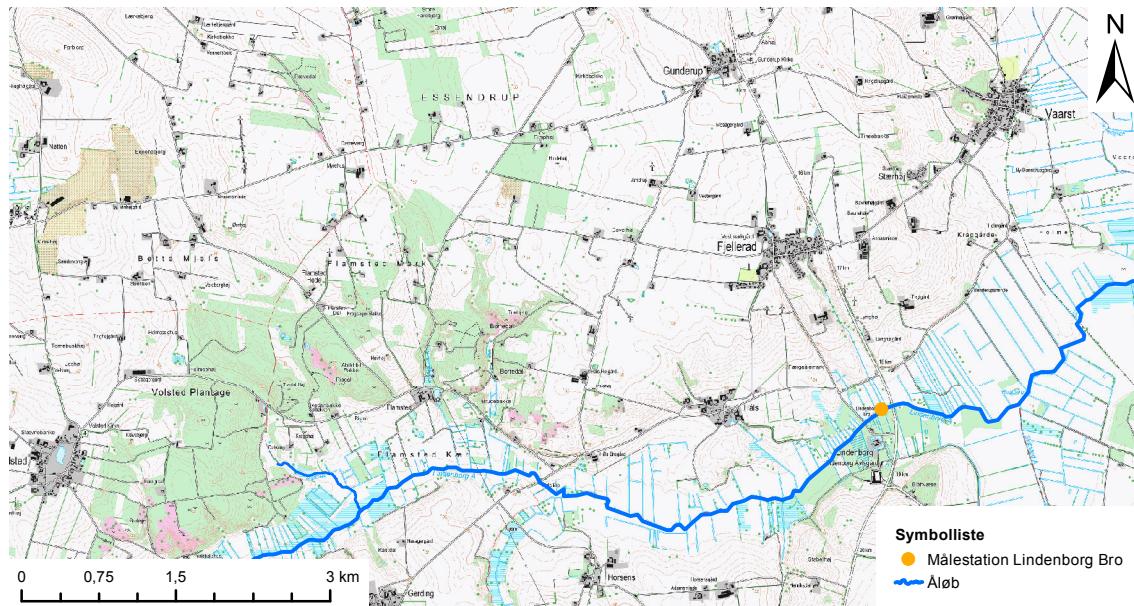
N	Nedbør [mm/r]
EP	Evapotransporation [mm/r]
$Q_{\text{Overfladeafstrømning}}$	Overfladeafstrømning [mm/r]
$Q_{\text{Grundvandsdannelse}}$	Grundvandsdannelse [mm/r]
$Q_{\text{Indvinding}}$	Mængde af grundvandet, der indvindes [mm/r]

For at estimere grundvandsdannelsen i Volsted Plantage forudsættes det, at grundvandsdannelsen er nedbør efter evapotransporation, dvs.:

$$Q_{\text{Grundvandsdannelse}} = N - EP \quad (4.7)$$

Grundvandsdannelsen kan beregnes for et område, hvis det hydrologiske opland til et åløb og middelafstrømningen for dette åløb er beregnet. Lindenborg Å løber forbi Volsted Plantage jvf. figur 4.5. Afstanden mellem målestasjonen ved Lindenborg Bro og Volsted Plantage jvf. figur 4.5 er ca. 5 km i luftlinje, hvorfor det med rimelighed kan antages, at nettonedbøren vil være ens. Desuden ses det på figur 4.6 og 4.7, at både nedbøren og den potentielle fordampning i området er ækvivalente, hvorfor nettonedbøren også må være det.

Middelafstrømningen for dette åløb i perioden 1971-2000 er beregnet til $10,81/\text{s km}^2$ i målestasjonen ved Lindenborg Bro, [Nordjyllands Amt, 2006, s. 36].

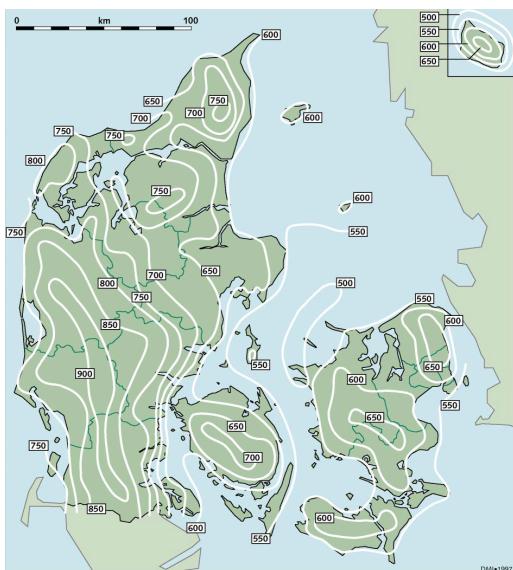


Figur 4.5. Placering af afstrømningsstationer ved Lindenborg Å.

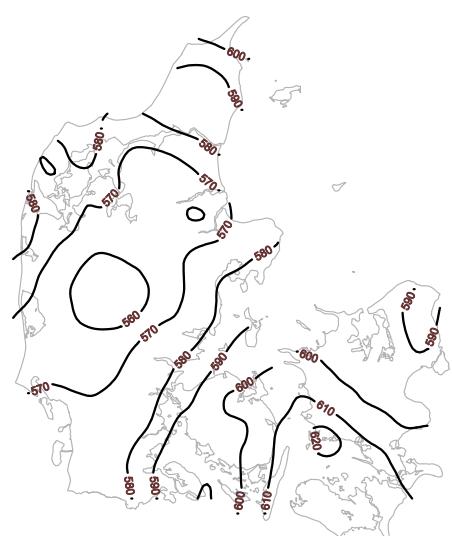
Da det topografiske opland til årsmiddelafstrømning er 214 km^2 , [Nordjyllands Amt, 2006, s. 36], kan grundvandsdannelsen beregnes, såfremt det antages at det topografiske opland til målestasjonen er lig det hydrologiske opland. Grundvandsdannelsen i hele det hydrologiske opland beregnes da til $340,6 \text{ mm/r}$ i perioden 1971-2000.

Det kan udmærket antages, at det topografiske opland er det samme som det hydrologiske opland, idet 214 km^2 er et stort opland og lokale afvigelser er negligerbare.

Idet datagrundlaget, der danner grundlag for grundvandsdannelse, er fra perioden 1971-2000, er der en række usikkerheder, der medføres til grundvandsdannelsen. Pejlingerne fra Volsted Plantage er ikke fra år 1971-2000, men foretaget senere, og mange af pejlingerne udenfor Volsted Plantage er foretaget før og efter perioden. Samtidig som følge af klimaforandringer er dataet forældet.



Figur 4.6. Årlig middel nedbør i fra 1961-1990. [DMI, 1997, s. 7]



Figur 4.7. Potentiel fordampning i mm årsmeddel 1990-2000, beregnet med Makkins formel. [DMI, 2001, s. 8]

Magasintykkelse

I Volsted Plantage er der et lavpermeabelt mergellag, der adskiller kalkundergrunden. Der er således to magasiner med hver sin grundvandsstrømning.

Det nedre magasin forventes at være bedre beskyttet mod forureningskilder såsom nitrat grundet det lavpermeable mergellag. Der er en øget risiko for højt kloridindhold i det nedre magasin, grundet dets dybde. Jvf. figur 3.6, s. 23 forventes der ikke høje nitratmålinger i Volsted Plantage, og et højt kloridindhold kan betyde behov for videregående behandling, som indebærer en omkostningsrig løsning, der ikke hidtil er anvendt i Danmark. Derfor vurderes det, at der bør indvindes fra det øvre magasin.

Der er foretaget tre borer i Volsted Plantage, hvis resistivitets- og induktionslogning er foretaget således, at mergellaget tydeligt ses. Boringsloggene ses på [Bilags-CD, Kote for mergellag]. Mergellagets startkote er bestemt ud fra de tre logs og ses på figur 4.8.



Figur 4.8. Boringer i Volsted Plantage, hvor koten for starten af mergellaget er vist. Data fra GEUS [2014b]

Det ses, at de to boringer syd for Flamstedvej angiver koten for starten af mergellaget på henholdsvis -45 m og -46 m , hvor den enkelte boring nord for Flamstedvej angiver -38 m . Det forudsættes derfor, at koten for starten af mergellaget er ca. -45 m for plantagen.

Idet magasintykkelsen ønskes bestemt for beregningspunkterne i beregningsnettet, der ses på figur 4.15, s. 53, må magasintykkelsen være forskellen mellem koten for starten af mergellaget og til vandstandskoten. Det forudsættes, at magasinet er frit, hvorfor vandstandskoten er lig trykkoten. Trykkoten for beregningspunkterne er gennemsnitligt 6 m for modellering. Magasintykkelsen kan derfor beregnes:

$$B = 6\text{ m} - (-45\text{ m}) = 51\text{ m} \quad (4.8)$$

Der forudsættes derfor, at magasintykkelsen er ens i hele magasinet. Koten for både bunden og toppen af magasinet varierer jvf. figur 4.8 og figur 4.13, s. 51, hvorfor dette ikke er helt korrekt. Der vurderes dog ikke at være stor usikkerhed på den bestemte magasintykkelse.

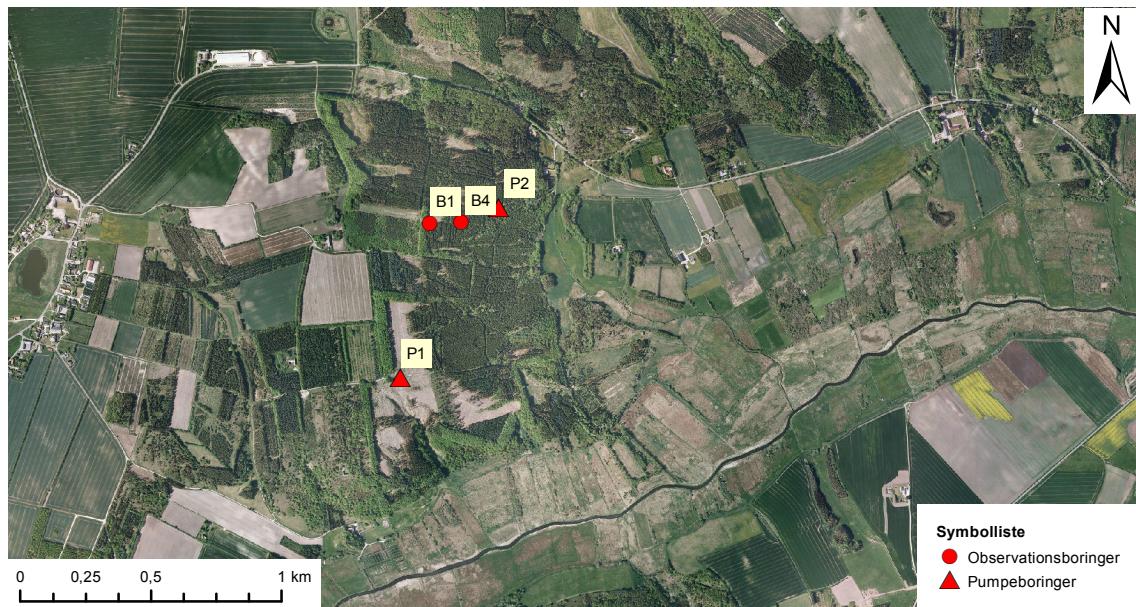
Transmissivitet

Kalkmagasinet i Volsted Plantage er sprækket daniel-kalk, [GEUS, 2014a]. Der er stor spredning på den hydrauliske ledningsevne i kalk-magasiner, hvor Karlby og Sørensen [2014] angiver et interval for den hydrauliske ledningsevne på 10^{-5} til 10^{-3} m/s .

Der er derfor foretaget prøvepumpningsforsøg i Volsted Plantage. Forsøget indebærer, at der pumpes vand fra det øvre magasin, hvor grundvandssænkningen derefter observeres i både pumpeboringen og to observationsboringer. Grundvandssænkningen som følge af pumpeboringen danner grundlag for bestemmelse af det vandførende lags hydrologiske egenskaber, heriblandt den eftersøgte parameter T .

Der er foretaget tre prøvepumpeforsøg i Volsted Plantage i sammenlagt to boringer. Der tages her udgangspunkt i målinger fra observationsboringerne B1 og B4 på figur 4.9

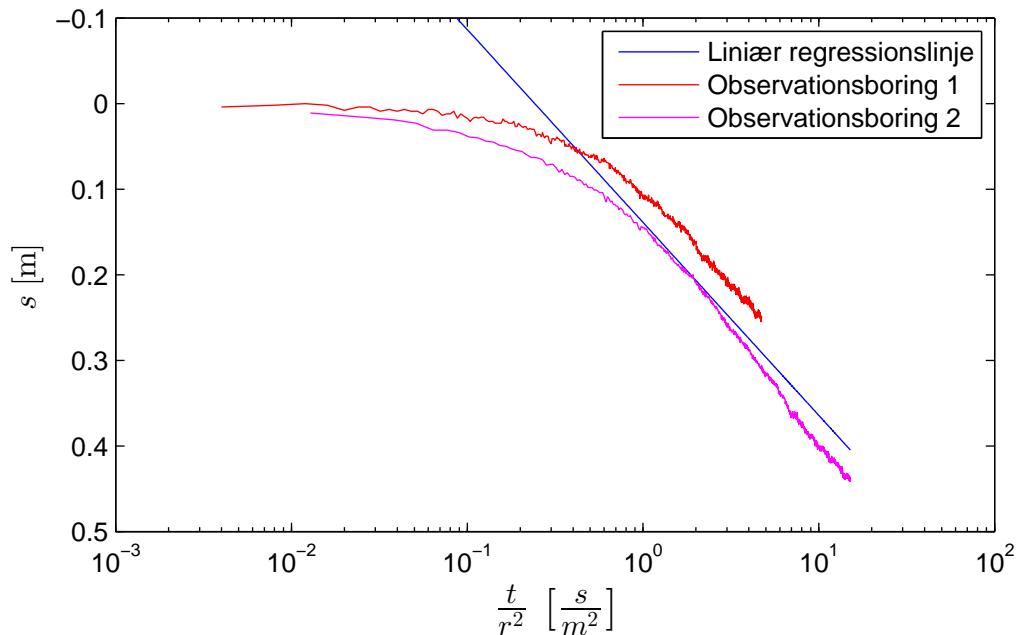
under den anden prøvepumpning. Det optimale er at anvende alle målinger, der overholder gyldighedskriteriet for metoden, hvorfor der ikke er anvendt det fulde datagrundlag, hvilket øger usikkerheden på den bestemte parameter. Samtidig bør pumpeboringens målinger for sænkningen medtages, men data for prøvepumpningen er ikke tilgængelig.



Figur 4.9. Observations- og pumpeboringerne.

Cooper-Jacob's retlinje-metode benyttes til at bestemme transmissivitet for det øvre magasin. Metoden er en matematisk model, der udspringer fra Theis-ligningen, hvorfor der bør forudsættes følgende for magasinet:

- Et homogent og isotrop lag, konstant tykkelse og uendelig udstrækning.
- Konstant pumpeydelse.
- Horizontal strømning i magasinet og at pumpeboringen er filtersat, svarende til lagets tykkelse.
- Vand fra laget afgives momentant, så det er i overensstemmelse med afsænkningen.



Figur 4.10. Plot af data fra prøvepumpning med logaritmisk første koordinatakse.

Figur 4.10 viser sænkningen af vandspejlet mod tid og afstand fra måling af grundvandssænkning og pumpeboringen efter følgende udtryk: $\frac{t}{r^2}$. Der er dannet en liniær regressionslinje med logaritmisk første koordinatakse. Parameter T bestemmes hermed udfra retlinje-metoden:

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \quad (4.9)$$

Hvor:

T Q Δs	Transmissiviteten [m^2/s] Pumpeydelse [m^3/s] Dekadehældning [-]
--------------------------	--

Pumpeydelsen er $0,014 \text{ m}^3/\text{s}$ og dekadehældningen er bestemt ud fra figur 4.10 og er $0,22$, som begge sættes ind i formel (4.9), hvor T udregnes:

$$T = \frac{2,3 \cdot 0,014 \text{ m}^3/\text{s}}{4\pi \cdot 0,22} = 0,012 \text{ m}^2/\text{s} \quad (4.10)$$

Hydraulisk ledningsevne

Resultatet fra formel (4.10) kan endvidere benyttes til at bestemme den hydrauliske ledningsevne, jvf. formel (4.4). Tykkelsen af grundvandsmagasin er, jvf. afsnit 4.2.2, bestemt til 51 m , hvilket indsættes i formel (4.4), og der isoleres for K :

$$K = \frac{T}{B} = \frac{0,012 \text{ m}^2/\text{s}}{51 \text{ m}} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \quad (4.11)$$

Det ses, at den hydrauliske ledningsevne for kalken ligger indenfor intervallet angivet af Karlby og Sørensen [2014]. Beregninger ikke foretaget af projektgruppen for hydraulisk

ledningsevne i Volsted Plantage på baggrund af programmet AquiferTest Software og Warren Root-metoden angiver en hydraulisk ledningsevne på $2,6 \cdot 10^{-4}$ m/s samt en maksimal-værdi og minimumværdi på hhv. $3,9 \cdot 10^{-4}$ m/s og $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/s [Johansen et al., 2011]. Det vurderes derfor, at der er stor usikkerhed på den hydrauliske ledningsevne.

Gyldighed

Til retlinjemetoden gælder et gyldighedskriterie, som er:

$$u < 0,1, \text{ hvor:}$$

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} \quad (4.12)$$

Hvor:

u	Værdi for kriterie [-]
r	Afstand mellem prøvepumpning og observationsboring [m]
S	Specifik magasintal [-]
T	Transmissiviteten [m^2/s]
t	Tiden efter start af prøvepumpning [s]

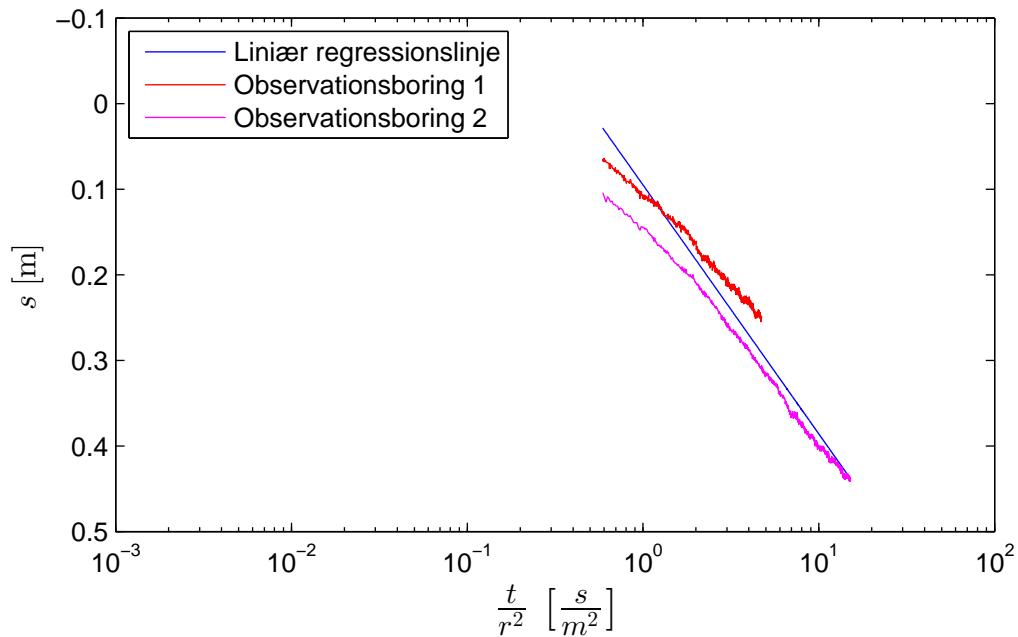
Magasintallet udregnes med følgende formel:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} \quad (4.13)$$

Hvor:

$$t_0 \mid \text{Tiden, hvor sænkningen er lig } 0 \text{ [s]}$$

Kriteriet kontrolleres for hver enkelt måling. De målinger, der overholder kriteriet, ses på figur 4.11.



Figur 4.11. Plot af data fra prøvepumpning med logaritmisk første koordinatakse, som overholder gyldighedskriteriet.

Transmissiviteten for målingerne, der overholder gyldighedskriteriet, er $T = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, hvilket betyder en hydraulisk ledningsevne på $K = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Idet transmissiviteten og derfor magasintallet er ændret, bør gyldighedskriteriet kontrolleres igen. Dette bliver dog ikke udført.

Der regnes videre med en hydraulisk ledningsevne bestemt på baggrund af målingerne uden forbehold for gyldighedskriteriet formel (4.12), idet gyldighedskriteriet blev undersøgt efter udførslen af grundvandsmodellen. Idet den hydrauliske ledningsevne senere kalibreres, har dette ingen indflydelse på modellens resultater.

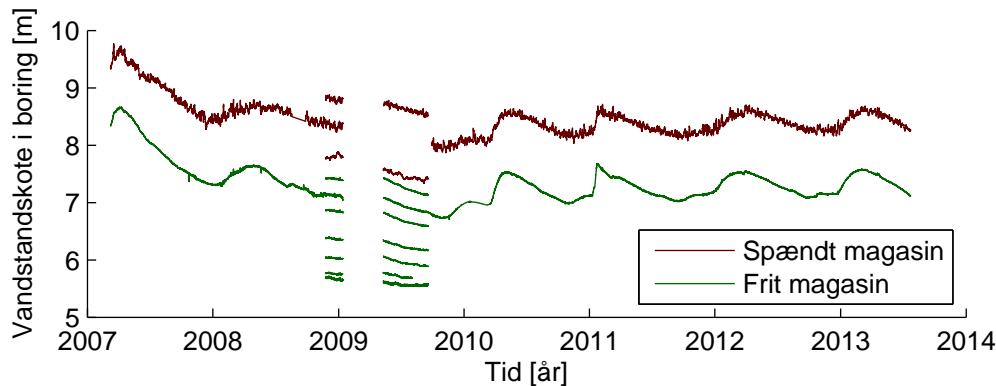
4.2.3 Kortlægning af grundvandspotentiale

Grundvandspotentialet kortlægges for at bestemme trykniveauet i det øvre grundvandsmagasin i randbetingelserne. Kortlægningen af grundvandspotentialet udføres med pejlinger fra JUPITER-databasen [GEUS, 2014b], vandstandstidserie fra borer i Volsted Plantage, forudsætning om trykniveauet i kilderne samt forudsætninger om grundvandspotentialet i magasinet under de nærliggende åløb.

For pejlingerne fra GEUS [2014b] er der fjernet de borer, hvor vandstandskoten ikke lader til at passe ind med de nærliggende borer. De frasorterede pejlinger er bl.a. målinger fra et dybere, spændt magasin og fejlpejlinger. Den ældste boring medtaget er fra år 2000.

Vandstandsmålingerne foretaget i Volsted Plantage ses på figur 4.12. Målingerne er foretaget i borerne angivet som grønne trekantede marker på figur 4.13, s. 51. Det ses, at de røde kurver varierer mere samt angiver højere vandstandskote, idet de er målinger fra det dybere, spændte magasin og derfor ikke anvendes som grundlag for kortlægning af

grundvandspotentiale. Diskontinuiteten i starten af år 2009 er grundet en prøvepumpning, som også er frasorteret.



Figur 4.12. Vandstandskote i boringerne i Volsted Plantage.

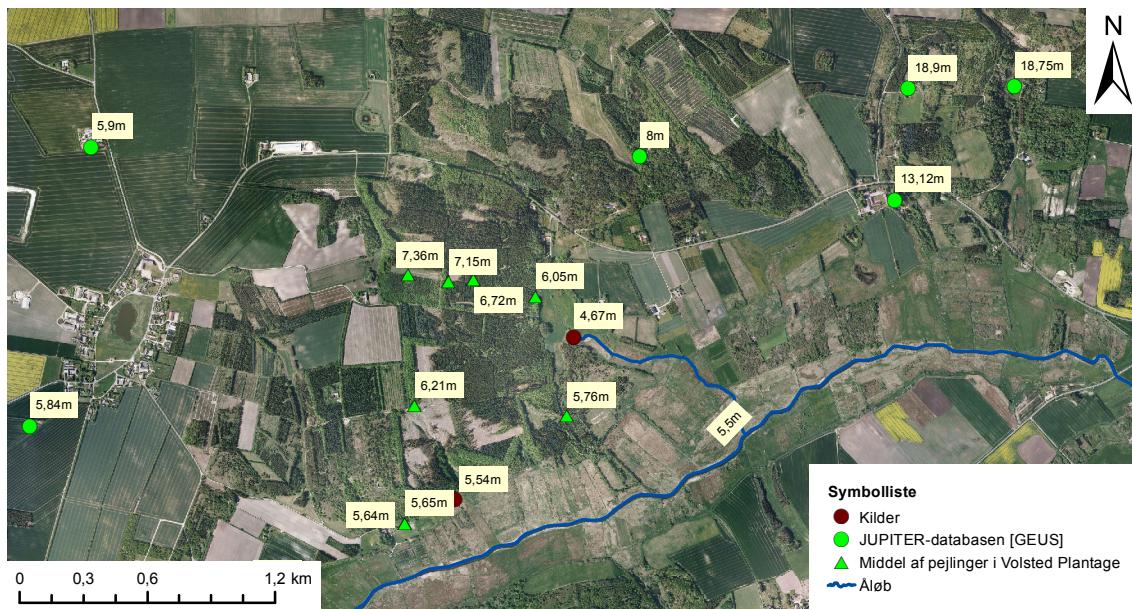
Der er umiddelbart ingen kendskab til trykniveauet i magasinet under åen syd for Volsted Plantage, Lindenborg Å. Der er et lavpermeabelt lag under åen, hvorfør der forudsættes, at trykniveauet i grundvandsmagasinet under åen er højere end terrænniveau. Der forudsættes en trykniveauskote på 5,5 m i hele åens forløb.

Kilderne i Volsted Plantage er opstået der, hvor grundvandsmagasinetets trykkote er over terræn uden lavpermeable lag, hvilket ses på figur 4.4, s. 41. Der forudsættes det, at vandstandskoten i kilderne er ækvivalent med trykniveauksen i det øvre grundvandsmagasin.

Pejlingerne, kilderne og åløb omkring Volsted Plantage ses på figur 4.13. Der anvendes også pejlinger udenfor afgrænsningen af figur 4.13, som ikke er vist.

I Lindenborg Å er der indført støttepunkter med indbyrdes afstand på 100 m med vandstand på 5,5 m, idet ArcGIS-kriging ikke kan tage forbehold for linjer.

Der er indført støttepunkter i den nordlige del af Hølbækken i samme trykkote som kilden, dvs. 4,67 m. Der er valgt ikke at indføre støttepunkter eller randbetingelser i den sydlige del af Hølbækken, idet der formodentlig ligger et lavpermeabelt lag under åen, som medfører, at vandstanden i åen ikke er lig trykkoten i magasinet. Der kan indføres støttepunkter i den sydlige del af åen, såfremt dette også kalibreres, men udføres ikke i dette projekt. Et resumé af de anvendte målinger og deres datagrundlag ses i tabel 4.1.

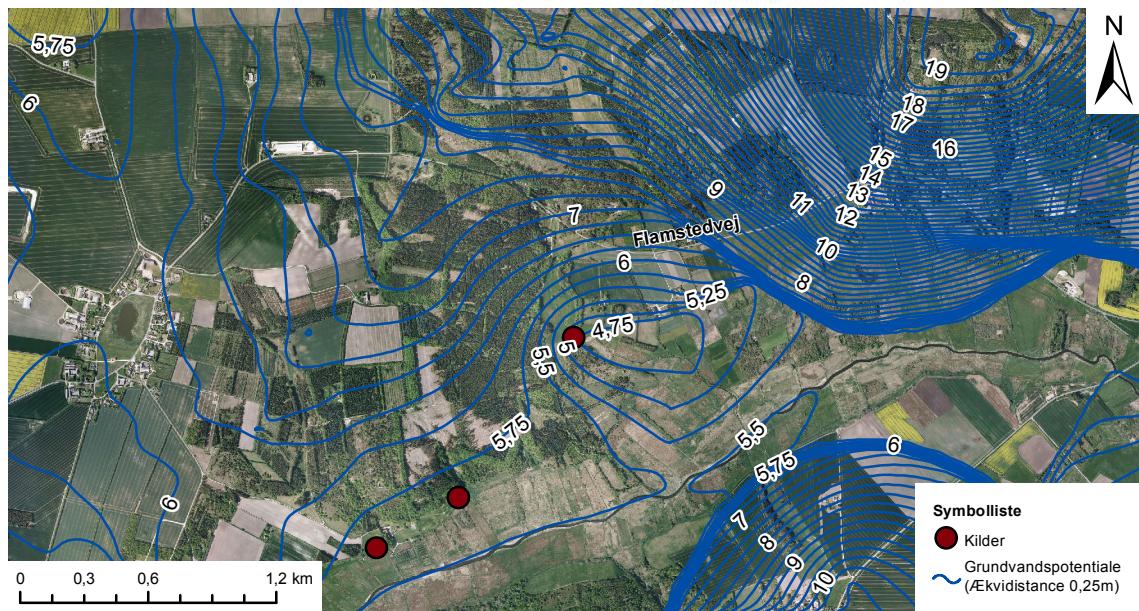


Figur 4.13. Vandstandsmålingerne, der danner grundlag for grundvandspotentialekortlægningen.

Måling	Datagrundlag
Pejlinger indenfor Volsted Plantage	Vandstandstidsserier fra år 2006-2013; gennemsnit
Pejlinger udenfor Volsted Plantage	Pejlinger fra 2000-2014; gennemsnit
Nordlige og sydlige kilde	Målt fra terrænkort fra år 2007
Nordlige del af Hølbækken	Ækvivalent med nordlige kilde
Trykkote under Lindenborg Å	Gæt på 5,5m

Tabel 4.1. De anvendte målinger til kortlægning af grundvandspotentiale og deres datagrundlag

Ud fra vandstandskoterne anvendes interpolations-metoden kriging igennem ArcGIS med en cellestørrelse på 50 m for at danne grundvandspotentialekortet. Der anvendes sfærisk kriging, hvor parametrene *Major range*, *Partial sill* og *Nugget* bestemmes automatisk af ArcGIS. Kortet ses på figur 4.14.



Figur 4.14. Grundvandspotentialekort over området omkring Volsted - Alle mål er i meter.

4.2.4 Opsætning af grundvandsmodel

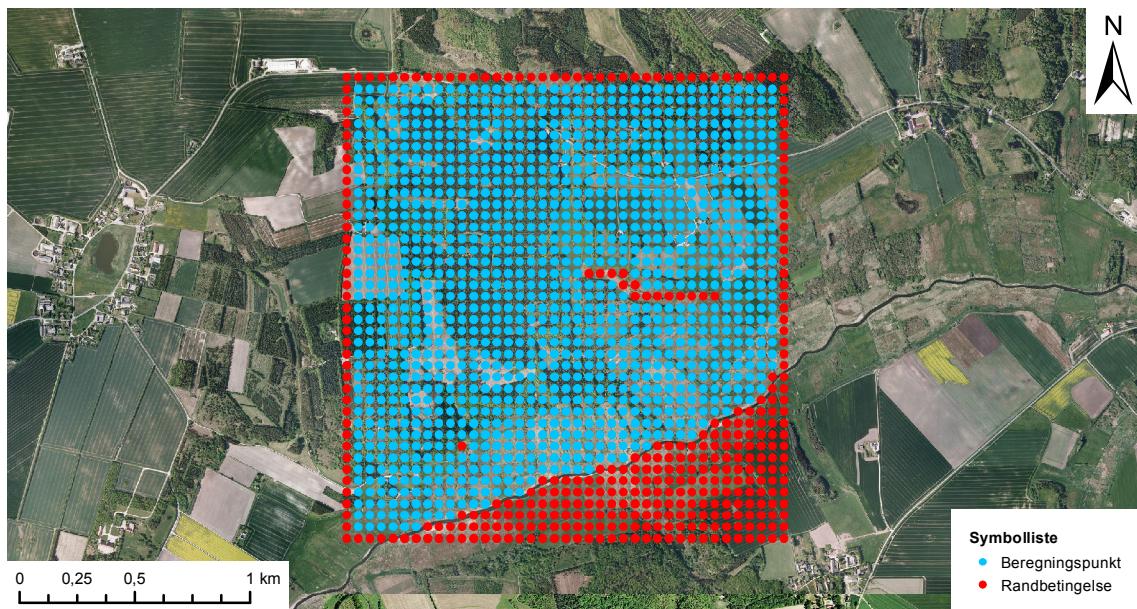
Der udføres en stationær grundvandsmodellering af Volsted Plantage.

Grundvandsmodellen regnes som et net af punkter med randbetingelser, som så løses med en numerisk løsning af en stationær grundvandsmodel. Trykniveauet i randbetingelserne bestemmes ud fra kortlægningen af grundvandspotentialet over området på figur 4.14.

Grundvandsmagasinet modelleres med differentialligning (4.5). Differentialligningen løses implicit med finite-difference-metoden.

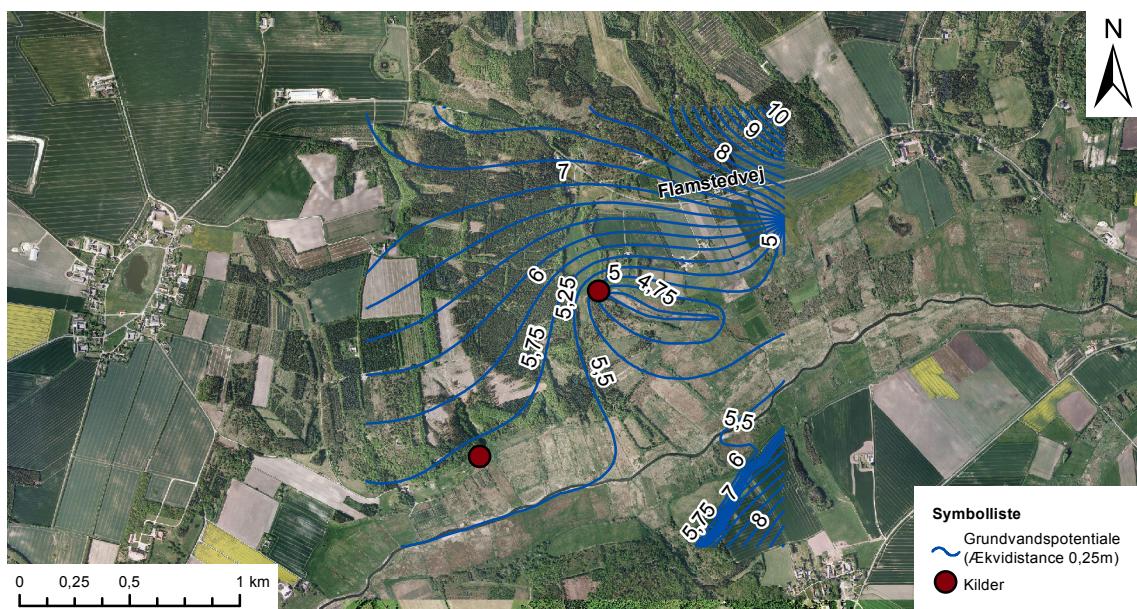
Der opstilles et net i Volsted Plantage, der indeholder Lindenborg Å, Hølbækken, de to kilder samt hele plantagen. Grundvandsmagasinetets udløb, dvs. ålbene og kilderne, betragtes som randbetingelser. Kanterne af nettet betragtes også som randbetingelser, hvor trykniveauet er kendt.

Nettet ses på figur 4.15. Modellen har en diskretisering på 50 m.



Figur 4.15. Det anvendte beregningsnet.

Der anvendes parametrene bestemt i afsnit 4.2.2. Trykniveauet i Volsted Plantage uden indvinding beregnet med grundvandsmodellen ses på figur 4.16.



Figur 4.16. Resultatet af grundvandsmodellen før kalibrering.

Modellen kalibreres for at opnå mere virkelighedsnære resultater. Idet modellen er opstillet med en trykrandbetingelse er der risiko for, at vandbalancen i modellen rammer langt ved siden af virkeligheden, idet der er væsentlig usikkerhed om den hydrauliske ledningsevne. Der kalibreres derfor efter vandføringen i kilderne frem for trykkoter for at sikre en virkelighedsnær vandbalance i systemet.

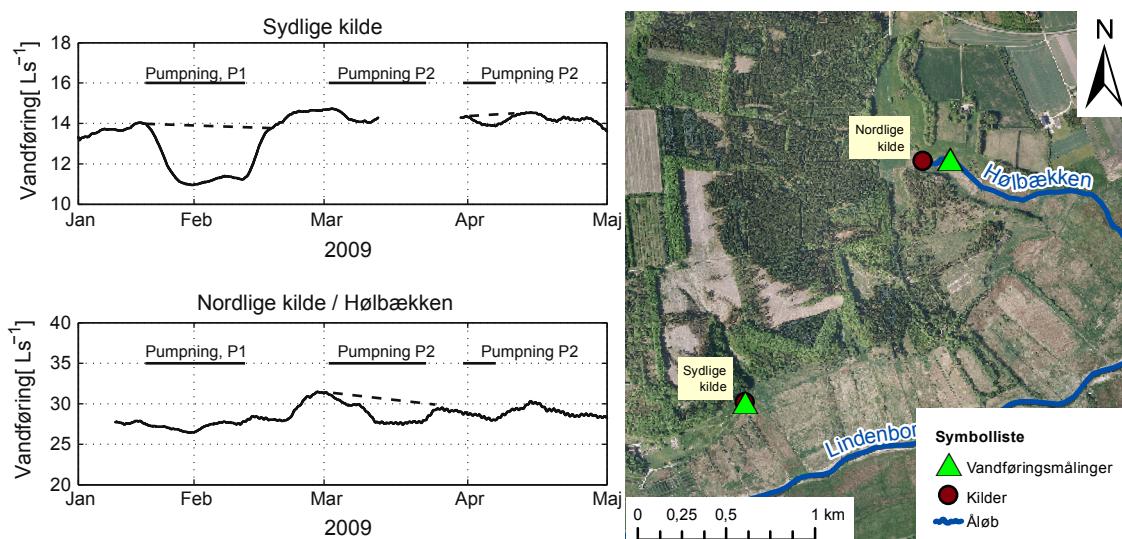
Modellen kalibreres ved at ændre parametrene således, at vandføringen i de to kilder ifølge grundvandsmodellen afviger mindst muligt med vandføringsmålinger i kilderne. Det vurderes, at en 15% afvigelse i kildernes vandføring er acceptabelt, hvorfor at opnå dette

er formålet med kalibreringen.

Trykkoterne i modellen og pejlingerne i Volsted Plantage sammenlignes også før og efter kalibrering, men danner ikke baggrund for selve kalibreringen. De sammenlignes ved at tage den absolutte afvigelse mellem pejlingerne og modellens trykkoter og summere dem. Værdien vil efterfølgende blot blive angivet som "RMS-værdien" (for Root-Mean-Square).

Vandføringen i kilderne er målt i sammenhæng med en række pumpeforsøg i Volsted Plantage. Resultaterne for vandføringsmålingerne ses på figur 4.17. Ud fra resultaterne aflæses der en vandføring i den sydlige kilde på ca. 141/s og i den nordlige kilde ca. 271/s. Grundvandsmodellen kalibreres dermed således, at resultaterne svarer til målingerne.

Idet der accepteres en 15 % afvigelse, betyder det, at modellen må angive en vandføring i kilderne, der afviger med $(141/\text{s} + 271/\text{s}) \cdot 0,15 = 61/\text{s}$. Højere nøjagtighed vurderes at være unødvendigt, idet årstidsvariationer jvf. figur 4.17 er op til 71/s. Da modellen er stationær og datagrundlaget er tilnærmelsesvis årsmiddeldata, er en højere nøjagtighed unødvendigt. Samtidig formodes det, at en procentvis afvigelse i kildernes vandføring ikke medfører samme procentvise afvigelse i reduktionen i kildernes vandføring, hvilket også bekræftes i usikkerhedsanalysen afsnit 4.4, s. 64.



Figur 4.17. Vandføringsmålinger i de to kilder. Vandføringen i kilderne under og umiddelbart efter pumpning bør ikke medtages i vurderingen af den eksisterende vandføring i kilderne. Datamanglen i den sydlige kilde skyldes problemer med strømforsyning. [Johansen et al., 2011, Red.]

Vandføringen i kilderne ud fra grundvandsmodellen beregnes med brug af Darcys lov for volumenstrømninger:

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\delta h}{\delta l} \quad (4.14)$$

Hvor:

Q	Vandføring [m^3/s]
K	Hydraulisk ledningsevne [m/s]
A	Areal af strømning [m^2]
$\frac{\delta h}{\delta l}$	Tryklinjegradien [m/m]

Trykkoten i kilderne sættes i henhold til de fire tilstødende beregningerpunkter i modellen. Der bør tillægges grundvandsdannelsen indenfor kildens afgræsning, så der opnås den fulde vandføring i kilden. Arealet af vandstrømningen er beregningscellestørrelsen multipliceret med tykkelsen af magasinet, dvs. $A = B \cdot dx$. Det fulde udtryk for beregning af vandføring i kilderne er dermed:

$$Q = \frac{\left(\sum_{i=1}^4 h_i - 4 \cdot h_{kilde} \right)}{dx} \cdot K \cdot B \cdot dx + R \cdot dx^2 \quad (4.15)$$

Hvor:

h_i	Trykkote i tilstødende punkt, i [m]
h_{kilde}	Trykkote i kilde [m]
B	Tykkelse af magasin [m]
dx	Bredde af beregningscelle [m]
R	Grundvandsdannelse [m/s]

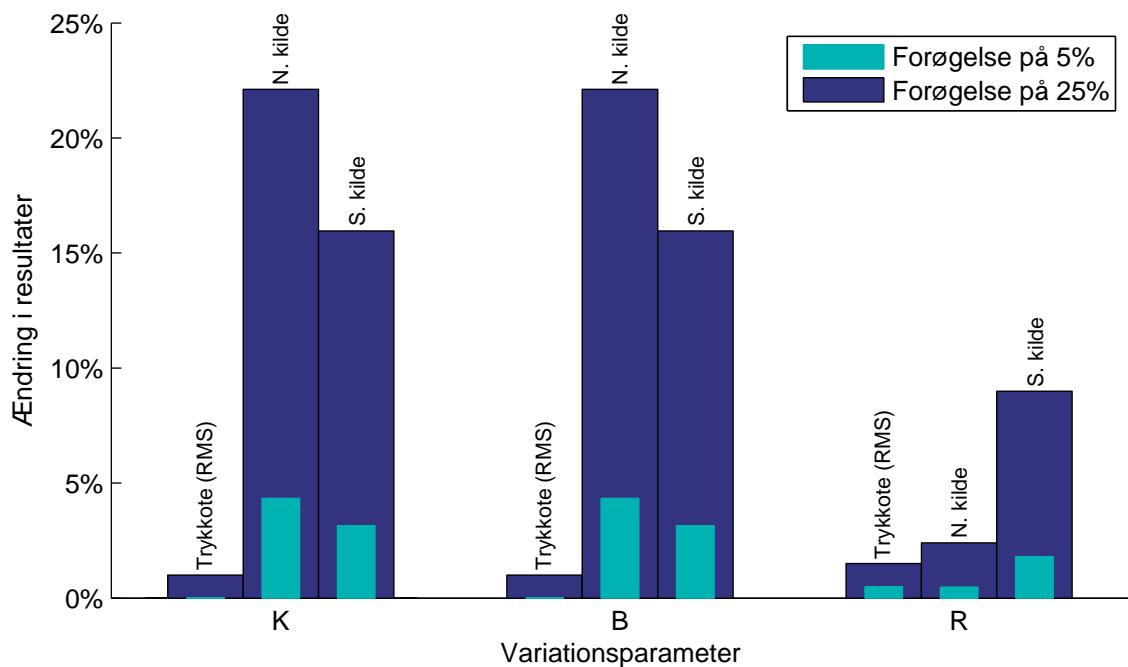
4.2.5 Følsomhedsanalyse

Før kalibreringen udføres en følsomhedsanalyse for at vurdere de enkelte parametres indflydelse på modellens resultater. Følgende parametre påvirker resultaterne af grundvandsmodellen:

- Hydraulisk ledningsevne
- Tykkelse af magasin
- Grundvandsdannelse

Hver af parametrene ændres enkeltvis, hvorefter ændringen i modellens resultater observeres. Grundvandsmodellens resultater sammenlignes med boringerne i Volsted Plantage samt sammenlignes de observerede vandføringer i kilderne med grundvandsmodellens beregnede vandføring i kilderne.

Parametrene forøges enkeltvis med 5 % og 25 %. Resultatet ved variation af parametrene ses på figur 4.18. Alle ændringer angives i absolutte værdier, dvs. der tages ikke forbehold for fortegn.

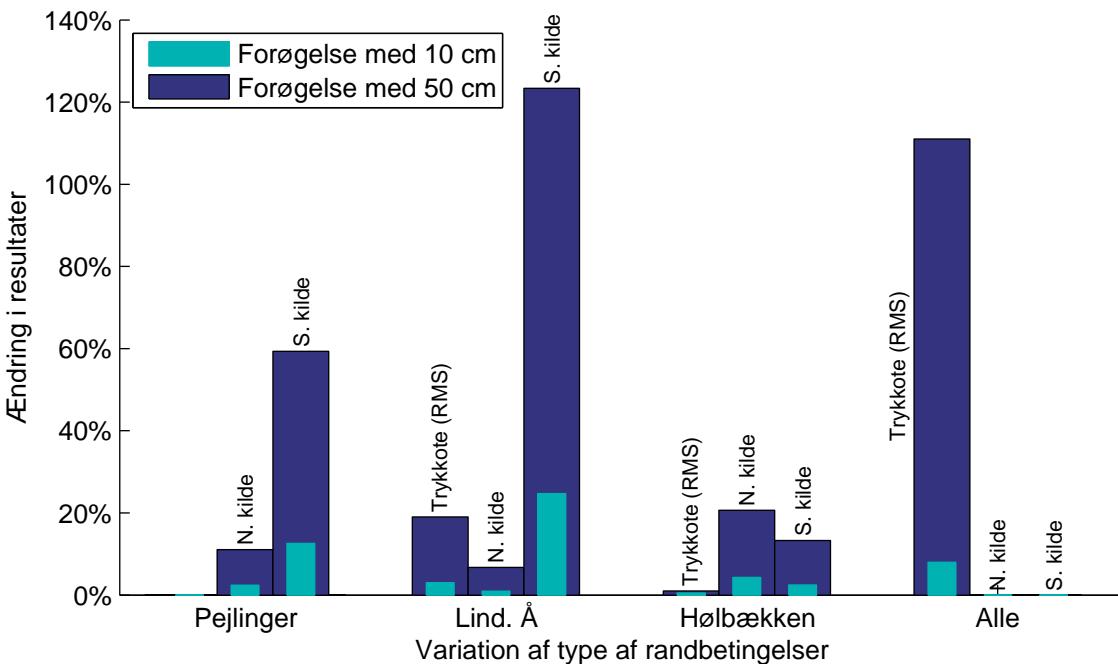


Figur 4.18. Følsomhedsanalyse på de tre parametre. De venstre kolloner er ændring i RMS-værdi, de midterste er ændring i ydelse i kilden ved Hølbækken, og de højre er ændring i ydelse i den sydlige kilde.

Det ses, at der ved variation af parametrene K og B opnås samme resultater. Dette skyldes, at de to parametre indgår sammen i grundvandsmodellen som $T = K \cdot B$, hvorfor en variation af den ene parameter er ækvivalent med variation af den anden parameter. Det ses samtidig, at forøgelse af parametrene K og B ændrer vandføringerne i kilderne væsentligt ift. R.

At ændre parametrene i grundvandsmodellen er én måde at påvirke resultaterne på. Der kan alternativt varieres på randbetingelserne i modellen. For at danne randbetingelserne for modellen er der jvf. afsnit 4.2.3 anvendt kendskab til de to kilder, de to åløb samt vandstandspejlinger i og udenfor Volsted Plantage. Randbetingelserne varieres derfor både ved at forøge alle randbetingelserne samt enkeltvis forøge de observationer, der ligger til grund for randbetingelserne (dog varieres alle pejlinger samtidigt). Variationen af randbetingelserne følger samme disciplin som variation af parametrene. Resultaterne ses på figur 4.19.

Randbetingelserne hæves med hhv. 10 cm og 50 cm. Dette er valgt på baggrund af en vurdering af den sandsynlige variation af pejlinger grundet årstidsvariation.



Figur 4.19. Følsomhedsanalyse for variation af randbetingelser. De venstre kolloner er ændring i RMS-værdi, de midterste er ændring i ydelse i kilden ved Hølbækken, og de højre er ændring i ydelse i den sydlige kilde.

Det ses, at en forøgelse af randbetingelserne medfører en væsentlig større variation i modellens resultater. Det bemærkes også, at forøgelse af trykkoten under Lindenborg Å medfører væsentlige ændringer i den sydlige kilde i forhold til den nordlige kilde, hvilket er forventeligt grundet den korte afstand imellem åen og kilden.

4.2.6 Kalibrering

Vandføringen i kilderne er beregnet før kalibrering og sammenlignet med de observerede vandføringer i kilderne. Sammenligningen ses i tabel 4.2.

	Før kalibrering		
	Observation [l/s]	Værdi fra model [l/s]	Afvigelse i %
Vandføring i nordlige kilde	24	20,8	-13 %
Vandføring i sydlige kilde	14	4,45	-68 %
Kildernes ydelse summeret	38	25,2	-33,7 %

Tabel 4.2. Vandføringer i kilderne, hhv. observerede og beregnet på baggrund af model.

Det ses, at vandføringen i begge kilder er under de observerede værdier. Der bemærkes samtidig, at den sydlige kildes vandføring er væsentlig under den observerede i forhold til den nordlige kilde. Modellen bør derfor kalibreres således, at vandføringen i den sydlige kilde forøges mere end den nordlige kilde.

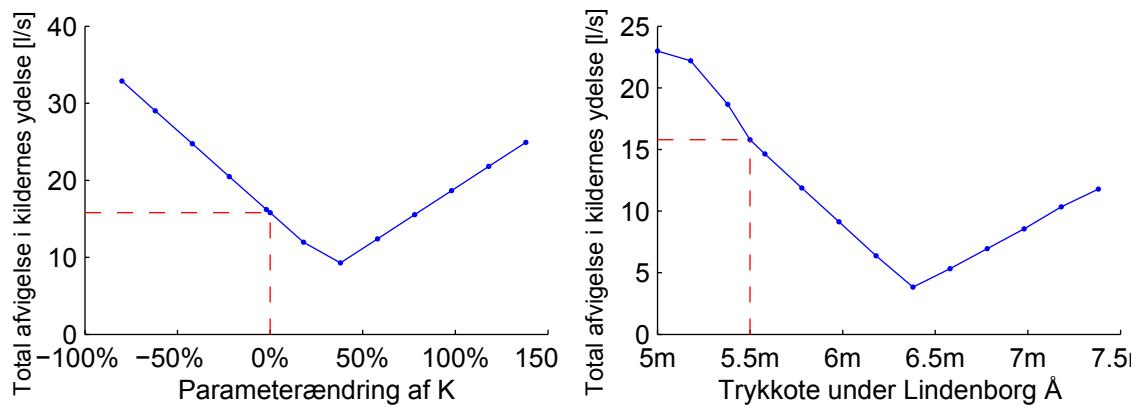
Det vurderes, at trykkoten under Lindenborg Å bør kalibreres, idet dette jvf. afsnit 4.2.5 medfører større ændringer i den sydlige kilde i forhold til den nordlige kilde. Grundlaget for, at trykkoten under Lindenborg Å kan være flere meter over vandstandskoten i selve

åen, er som fornævnt, at der eksisterer et lavpermeabelt lag under åen, som kan medføre et tryktab op til åen.

Der vælges samtidigt at kalibrere ét af de tre parametre, K, B og R. Det vurderes, at der er størst usikkerhed for parameter K, som kan variere væsentligt i kalkmagasiner og er beregnet på baggrund af en metode, hvor der bør forudsættes flere forskellige egenskaber for magasinet. Der kalibreres derfor på hydraulisk ledningsevne samt trykkote i Lindenborg Å.

Kalibrering enkeltvis

Parametrene varieres enkeltvis, dvs. kalibrering af den enkelte parameter tager baggrund i værdierne før kalibreringen. Kalibreringen af begge parametre ses på figur 4.20 og 4.21. Resultaterne af de enkelte kalibreringer ses i tabel 4.3 og 4.4.



Figur 4.20. Variation af hydraulisk konduktivitet, K . Stiplede linjer markerer værdier før kalibrering.

Figur 4.21. Variation af trykkote under Lindenborg Å. Stiplede linjer markerer værdier før kalibrering.

Kalibrering af K

	Før kalibrering	Efter kalibrering	Ændring
K	$2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$3,10 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	+34 %
Vandstand i Lindenborg Å	5,50 m	5,50 m	+0 m
Vandføring i nordlige kilde	20,8 l/s	27,1 l/s	
Vandføring i sydlige kilde	4,45 l/s	5,41 l/s	
Total afvigelse i kildernes ydelse	15,8 l/s	8,64 l/s	-45 %
Afvigelse i trykkote	0,200 m	0,203 m	+2 %

Tabel 4.3. Parameter før og efter kalibrering af K og resultater før og efter kalibrering. Det ses, at der opnås mindre afigelser i kildernes vandføring med kalibrering af trykkote under Lindenborg Å i forhold til kalibrering af hydraulisk ledningsevne. Modsat opnås større afigelser mellem modellens trykkoter og pejlingerne i Volsted Plantage ved kalibrering af Lindenborg Å end ved kalibrering af hydraulisk ledningsevne.

Kalibrering af begge samtidigt

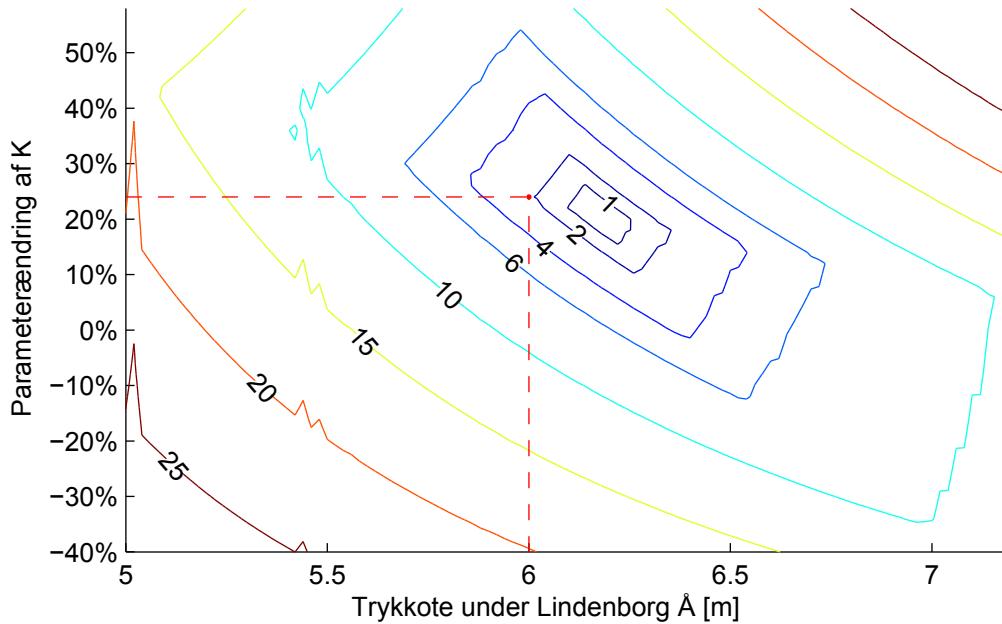
Som alternativ til kalibrering enkeltvis foretages der en kalibrering, hvor trykkoten under Lindenborg Å og den hydrauliske ledningsevne ændres samtidigt med det formål at finde

Kalibrering af trykkote under Lindenborg Å

	Før kalibrering	Efter kalibrering	Ændring
K	$2,31 \cdot 10^{-4}$ m/s	$2,31 \cdot 10^{-4}$ m/s	+0 %
Vandstand i Lindenborg Å	5,50 m	6,38 m	+0,88 m
Vandføring i nordlige kilde	20,81/l/s	23,31/l/s	
Vandføring i sydlige kilde	4,45 l/s	14,11 l/s	
Totale afvigelse i kildernes ydelse	15,81/l/s	3,71 l/s	-77 %
Afvigelse i trykkote	0,200 m	0,298 m	+49 %

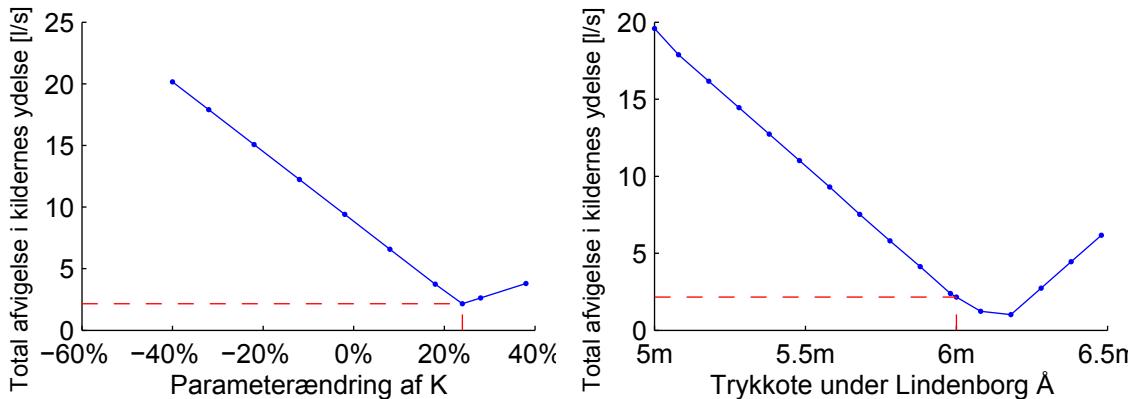
Tabel 4.4. Parameter før og efter kalibrering af trykkote under Lindenborg Å og resultater før og efter kalibrering.

den bedste kombination af begge. Resultatet af kalibreringen ses på figur 4.22. En tabel over kalibreringen ses i tabel 4.5. Der er ikke valgt den kombination af trykkoten under åen og den hydrauliske ledningsevne, som resulterer i den mindste afvigelse med de observerede vandføringer i kilderne. Det vurderes, at en trykkote under Lindenborg Å på over 6,0 m er usandsynlig, og idet der jvf. tabel 4.5 er opnået den ønskede afvigelse mellem kildernes observerede ydelse og grundvandsmodellens beregnede ydelse, kalibreres modellen ikke yderligere.



Figur 4.22. Konturlinjer for kalibrering af begge parameter. Konturlinjerne angiver den totale afvigelse i l/s. De stiplede linjer angiver punktet, som anvendes til grundvandsmodellen.

Der er samtidig varieret de enkelte parametre med udgangspunkt i værdierne efter kalibrering. Dette ses på figur 4.23 og 4.24. De to figurer er efter snit i de stiplede linjer på figur 4.22.



Figur 4.23. Variation af hydraulisk konduktivitet, K . **Figur 4.24.** Variation af vandstand i Lindenborg Å.

	Før kalibrering	Efter kalibrering	Ændring
K	0,012 m/s	0,015 m/s	+24 %
Vandstand i Lindenborg Å	5,50 m	6,00 m	+0,5 m
Vandføring i nordlige kilde	20,8 l/s	27,0 l/s	
Vandføring i sydlige kilde	4,45 l/s	11,9 l/s	
Totale afvigelse i kildernes ydelse	24,8 l/s	2,08 l/s	-92 %

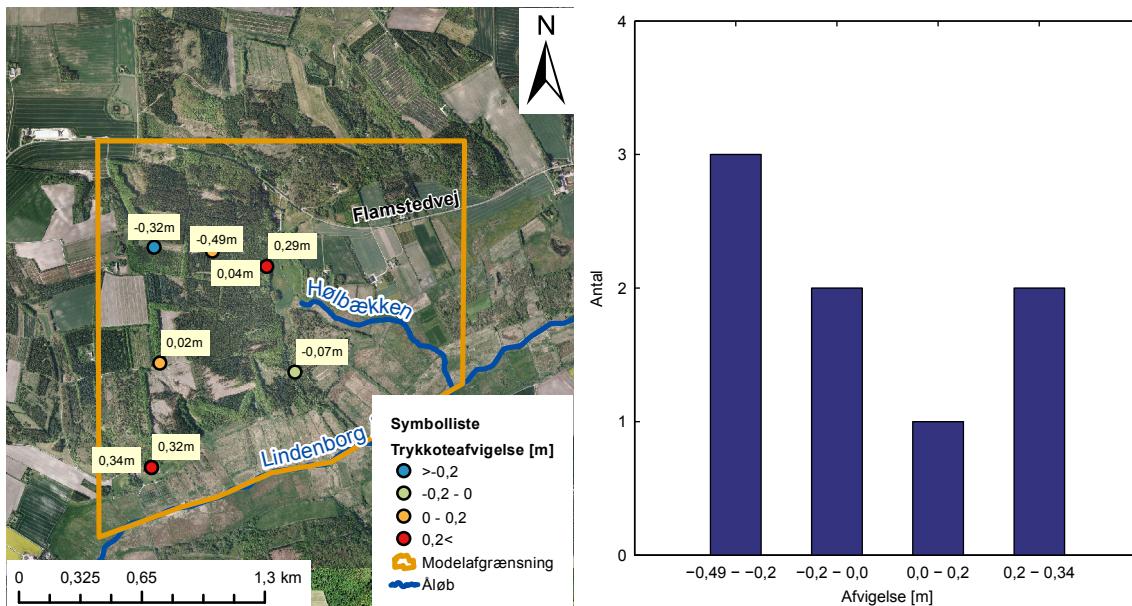
Tabel 4.5. Parameter før og efter kalibrering og resultater før og efter kalibrering.
Det ses, at der opnås betydeligt bedre resultater med kalibrering af Lindenborg Å og hydraulisk ledningsevne samtidigt.

4.2.7 Validering

Den kalibrede model valideres. I opsætning af grundvandsmodel og i kalibreringsprocessen er målet at gøre en model i stand til at reproducere bestemte observationer, i dette tilfælde trykkotepejlinger i Volsted Plantage og vandføringsmålinger i kilderne. Det er ofte tilfældet, specielt i tilfælde af overparametrisering, at en model opsættes og kalibreres således, at den opnår lille afvigelse med de observationer, der ligger til grund for modelleringen, men ikke tilstrækkeligt stemmer overens med observationer, der ikke ligger til grund for modelleringen.

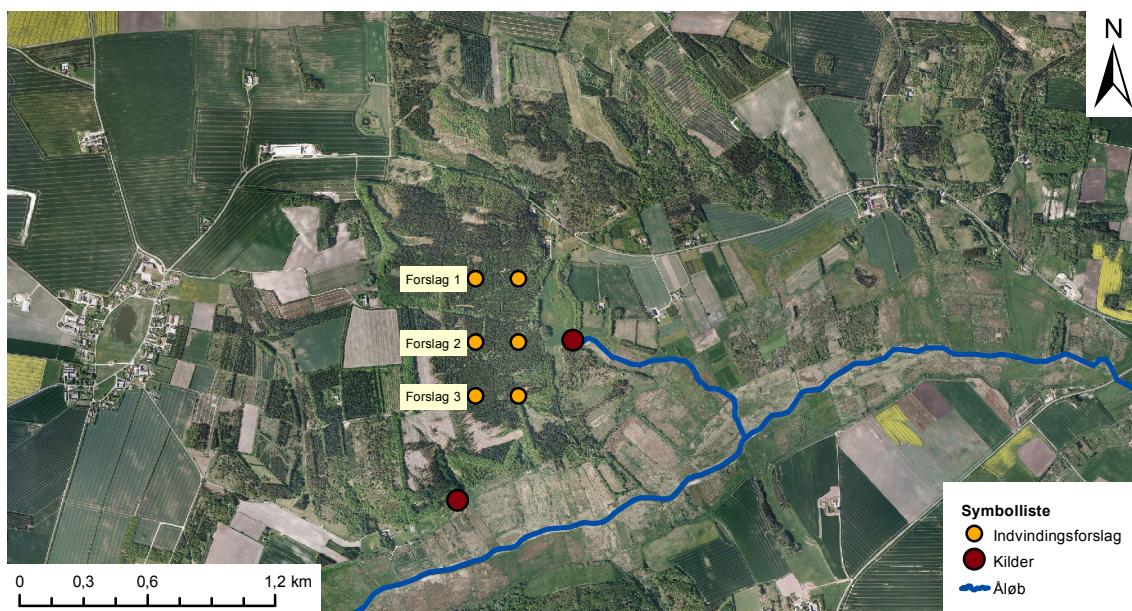
Ved større modeller anvendes ofte kun en del af alle trykkotepejlinger til opsætning og kalibrering, hvorefter modellen testes med de observationer, der ikke er anvendt. Alle trykkotepejlingerne er anvendt til opsætning af modellen, men er undladt for kalibreringen, hvorfor modellen valideres ud fra dette.

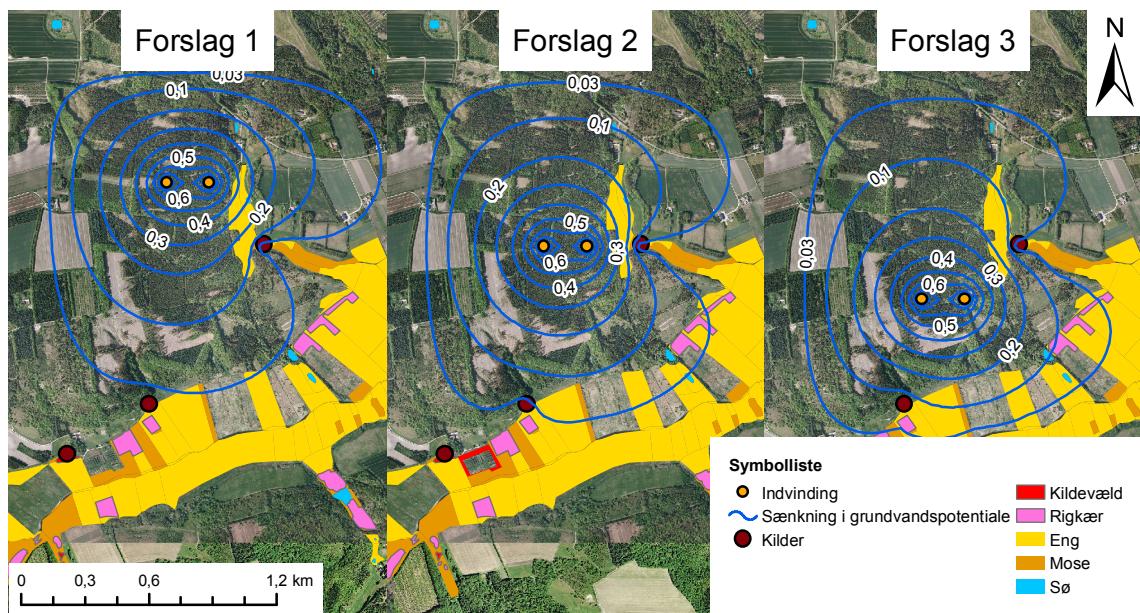
Pejlingerne, som ligger indenfor modelafgrænsningen, samt modellens afvigelse med pejlingerne ses på figur 4.25. Det ses, at modellen generelt angiver en trykkote, der er lavere end pejlingerne i det totale område. I den nordlige del af området angiver modellen samtidig en trykkote, der er lavere end pejlingerne, og modellen angiver en trykkote, der er højere end pejlingerne i den sydlige del af området. Afigelserne i den sydlige del af området er sandsynligvis pga. forøgelsen af trykkoten under Lindenborg Å som følge af kalibreringen. Den samlede RMS-afvigelse er 0,235 m.

**Figur 4.25.** Afvigelserne med observeringspunkterne.

4.3 Undersøgelse af indvindinger

Der undersøges nu, hvor indvindingerne bør placeres og hvor meget, der kan indvindes, når der tages forbehold for planerne beskrevet i afsnit 4.1. Der undersøges tre forskellige forslag til vandindvindinger, som ses på figur 4.26. Idet der søges en vandindvindingsmængde på $1\,000\,000\text{ m}^3/\text{r}$, sammenlignes de tre forslag på baggrund af dette. Alle tre forslag er to indvindinger placeret med 200 m afstand. Dette skaber bedre forsyningssikkerhed, idet der stadig kan indvindes vand fra plantagen, når en indvinding skal lukkes pga. vedligeholdelse af indvinding, forurening m.v.

**Figur 4.26.** De tre indvindingsforslag.



Figur 4.27. Grundvandssænkningen som følge af indvinding i de tre forslag med $1\,000\,000\text{ m}^3/\text{r}$.
Alle sænkninger er i meter. Natura2000 og §3 fra Miljøportalen [2014].

De tre forslag er placeret således, at en stor del af deres indvindingsoplund ligger indenfor skovområdet. Idet indvindingsoplundet ikke modelleres med grundvandsmodellen grundet modellens størrelse, er der forsøgt at placere kilderne i den sydlige del af Volsted Plantage, idet grundvandspotentialet hælder mod syd. Indvindingerne bør også have stor afstand til kilderne, så denne påvirkning reduceres, hvorfor forslag 1 er placeret i den nordlige del af plantagen.

De tre forslag undersøges mht. deres påvirkning på kilderne, da det vurderes, at en 2D-grundvandsmodel ikke kan undersøge indvindingernes påvirkning på de sydlige rigkær og våde enge tilstrækkeligt.

Indvindingen modelleres med den kalibrerede grundvandsmodel, hvorefter kildernes reducerede vandføring observeres. De tre forslags påvirkninger på kilderne ses i tabel 4.6. Det ses, at forslag 1 opnår den mindste reduktion på kildernes vandføring. Kilden er placeret i den nordlige del af Volsted Plantage, hvorfor der kan forventes højest forureningsrisiko her. Grundvandssænkningen i Volsted Plantage som følge af indvinding i de tre forslag ses på figur 4.26. Det ses, at forslag 1 påvirker de sydlige beskyttede arealer med ca. 3 cm, hvor forslag 2 og 3 påvirker med ca. 10 cm eller mere. Det vurderes derfor, at forslag 1 er den mest fordelagtige kildeplacering.

	Ingen indvinding	Forslag 1	Forslag 2	Forslag 3
Nordlige kildes vandføring	27,01/s	22,51/s	20,41/s	22,21/s
Reduktion		17 %	25 %	17 %
Sydlige kildes vandføring	11,91/s	11,31/s	10,41/s	8,931/s
Reduktion		5 %	13 %	25 %

Tabel 4.6. Forslagenes påvirkning på kilderne, når der indvindes $1\,000\,000\text{ m}^3/\text{r}$.

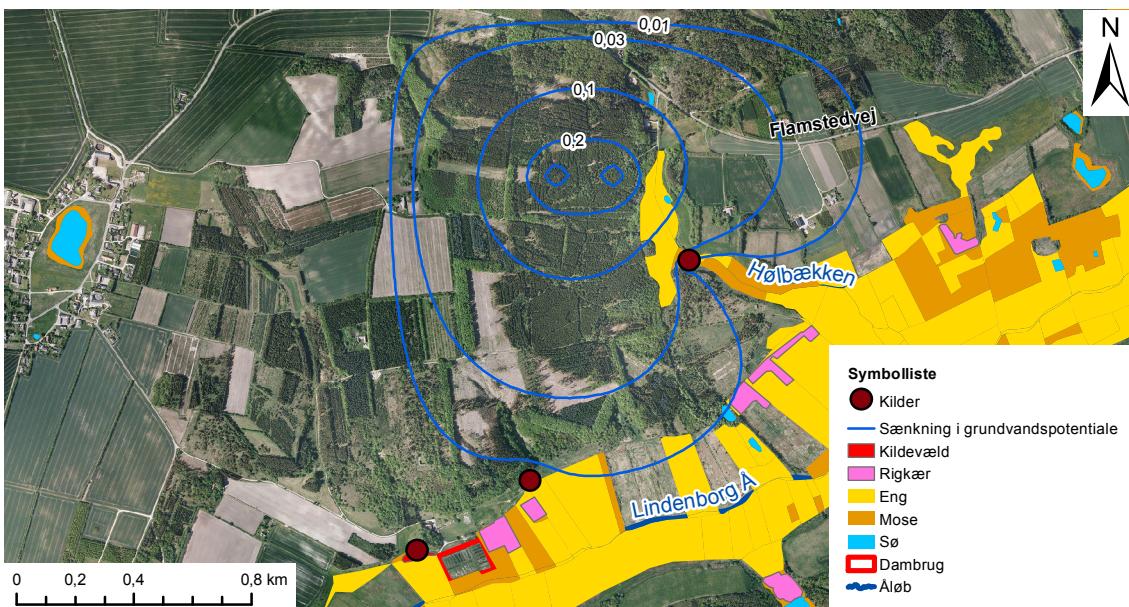
Ud fra tabel 4.6 ses det, at forslag 1 ikke overholder målsætningerne for vandindvinding,

idet den nordlige kildes vandføring reduceres med 17 %. Indvindingsmængden reduceres derfor til $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$, da dette overholder målsætningerne jvf. tabel 4.7.

	Ingen indvinding	Forslag 1
Nordlige kildes vandføring	27,01/s	25,21/s
Reduktion		7 %
Sydlige kildes vandføring	11,91/s	11,71/s
Reduktion		2 %

Tabel 4.7. Forslag 1s påvirkning på kilderne, når der indvindes $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$.

Sænkningen i grundvandspotentialet i forslag 1 ved den valgte indvinding på $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$ ses på figur 4.28. Det ses, at rigkær og enge bliver sænket med ca. 1 cm, som vurderes at være en øvre grænse for den reelle sænkning. Idet der ikke er specifikke grænser for påvirkning af de grundvandsafhængige områder, bør det vurderes, om en 1 cm sænkning er tilstrækkelig til at ændre tilstanden. Der bør derfor undersøges, hvorvidt en 1 cm grundvandssænkning påvirker den grundvandsafhængige natur og dyrearter. Dette emne berøres ikke i dette projekt.



Figur 4.28. Sænkningen i grundvandspotentiale i forslag 1 ved en indvinding på $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$. Alle sænkninger er i meter. Natura2000 og §3 fra Miljøportalen [2014].

Det konkluderes derfor, at der kan indvindes $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$ delt mellem to indvindinger i Volsted Plantage. Det fremgår af næste afsnit, at der er usikkerheder på modellens egenskaber til at beskrive en indvindings påvirkning på natur og åløb. Derfor vurderes det, at der bør foretages målinger og observationer efter vandindvinding for at sikre, at natur og åløb ikke bliver påvirket væsentligt. Det kan også vise sig, at vandindvindingens indflydelse på natur og åløb er mindre end bestemt her, hvorfor der kan overvejes at øge vandindvindingen. Derfor dimensioneres vandforsyningsanlægget til at have en kapacitet svarende til $1\,000\,000 \text{ m}^3/\text{r}$.

4.4 Usikkerhedsanalyse

Der udføres en usikkerhedsanalyse for at vurdere forskellige usikkerheders påvirkning på modelresultaterne. Følgende usikkerheders indflydelse undersøges:

- Tidsperiode for modellering
- Usikkerhed på pejlinger
- Modelstørrelse
- Diskretisering

Usikkerhedsanalysen anvendes for den kalibrede model. Følgende usikkerheders påvirkning analyseres ikke:

- Hydraulisk ledningsevne
- Magasintykkelse
- Grundvandsdannelse

Der undersøges ikke for de værste scenarier eller værste kombination af usikkerheder. Retttere er formålet med usikkerhedsanalysen at undersøge alternative datafortolkninger og modelforudsætningers påvirkning på modelresultaterne. Det er derfor formelt set tættere på en følsomhedsanalyse end en usikkerhedsanalyse, hvor forskellen med den første følsomhedsanalyse er, at denne analyse tager henhold i dokumenterede usikkerheder og undersøger deres indflydelse på modelresultaterne.

4.4.1 Tidsperiode for modellering

Grundvandsdannelsen i sommerperioden er mindre end i vinterperioden samt gennemsnittet over hele året [Nordjyllands Amt, 2006]. Idet datagrundlaget for grundvandsmodellen er usorteret, således at det inkluderer data fra hele året og mange år tilbage, er der en usikkerhed i forbindelse med årstider og klimaforhold. Denne usikkerhed undersøges ved at danne en model, hvor datagrundlaget er fra en sommerperiode, hvor der anvendes nyest tilgængelig data, hvorefter den sammenlignes med den primære grundvandsmodel. Sommerperioden defineres som månederne maj, juni, juli og august.

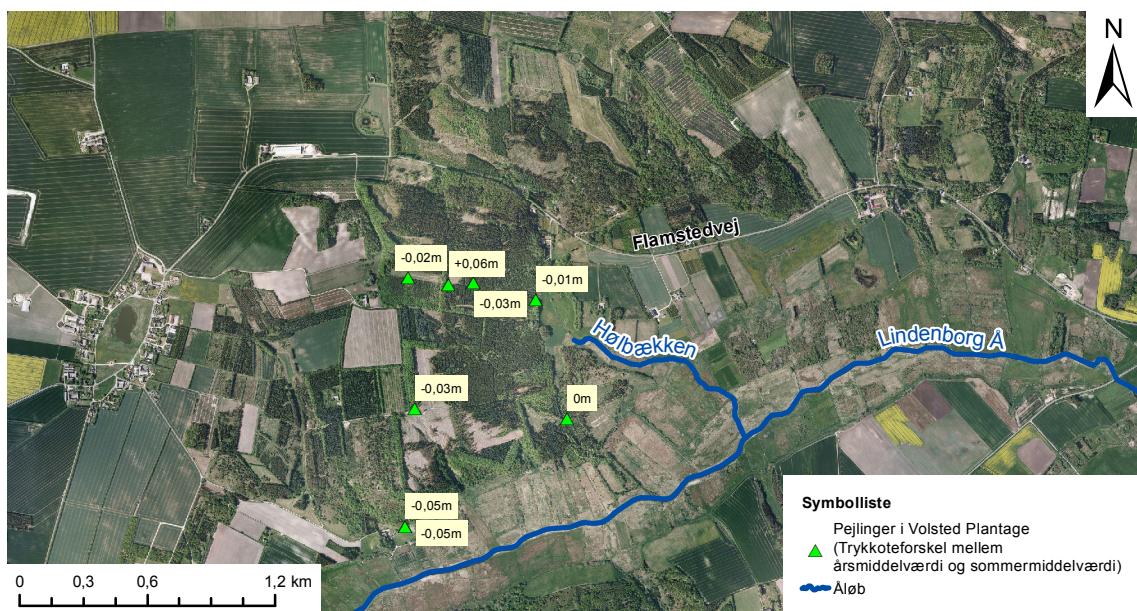
Den hydrauliske ledningsevne er ikke påvirket af årstider. Tykkelsen af det øvre magasin varierer over året, idet grundvandsstanden ændrer sig som følge af lavere grundvandsdannelse, men det forudsættes, at ændringen er negligerbar. Grundvandsdannelsen er som fornævnt påvirket af årstider og klima. Der anvendes derfor i denne model data fra år 2005 i sommerperioden, idet det er det nyeste tilgængelige data.

Middelfstrømningen i 2005 i sommerperioden er 2071 l/s [Nordjyllands Amt, 2006, bilag 3, s. 95], og det topografiske opland er 214 km², som forudsættes at være lig det hydrologiske opland. Afstrømningen i Lindenborg Å forudsættes at være lig nettonedbøren indenfor grundvandsmodellens område. Grundvandsdannelsen for sommerperioden 2005 regnes derfor til:

$$R = \frac{Q_{afstrømning}}{A_{oplund}} = \frac{2071 \text{ l/s}}{214 \text{ km}^2} = 305 \text{ mm/r} \quad (4.16)$$

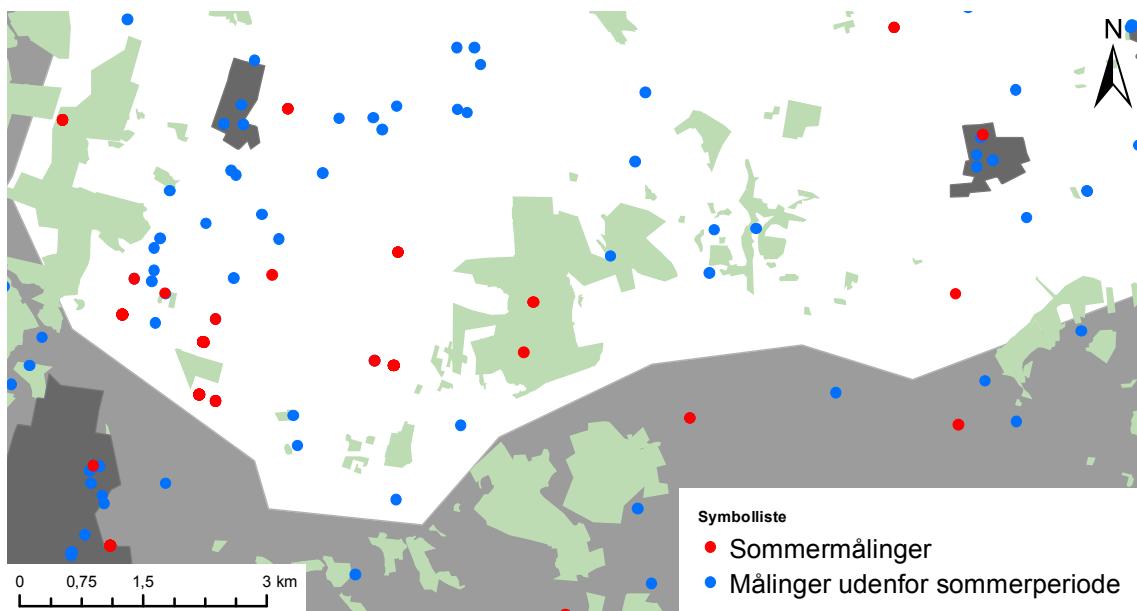
For pejlingerne illustreret på figur 4.12, s. 50 anvendes middelvandstanden i sommerperioden. Forskellen mellem middelværdien for sommerperioden og årsmiddel ses på figur 4.29.

For kilderne, hvis vandstandskote forudsættes at være lig trykkoten i magasinet, hvor vandstandskoten er aflæst på et terrænkort, er der ingen tilgængelig data for sommerperioden, idet Danmarks Højdemodels undersøgelser foretages om foråret og efteråret.



Figur 4.29. Forskel i pejling mellem sommerperiode og års middel.

Pejlingerne fra Jupiter-databasen ses på figur 4.30. Det ses, at de tilgængelige pejlinger foretaget i sommerperioden er væsentlig færre end pejlingerne udenfor sommerperioden. Det vurderes derfor, at fra pejlingerne udenfor Volsted Plantage anvendes pejlinger fra alle måneder, idet der ikke er tilstrækkelig tilgængelig data fra sommerperioden. Et resumé af ændringerne i sommermodellen ses i tabel 4.8.



Figur 4.30. Tilgængelige pejlinger foretaget i sommerperiode i forhold til pejlinger udenfor sommerperiode.

	Primær model	Sommermodel
Grundvandsdannelse	Data fra år 1971-2000	Data fra sommerperiode år 2005
Pejlinger i Volsted Plantage	Data fra år 2006-2013	Data fra sommerperiode fra år 2006-2013

Tabel 4.8. Ændringerne i datagrundlaget for den nye model.

Tabel 4.9 angiver modelresultaterne for modellen, der anvender middeldata fra sommerperioden sat i forhold til den primære grundvandsmodel før og efter indvinding på $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$. Det ses, at kildernes vandføring er lavere, hvilket er at forvente, idet grundvandsdannelsen og pejlingerne i Volsted Plantage er mindre i sommerperioden i forhold til årsmiddel. Det ses samtidig, at der ikke er betydelig ændring af reduktionen i kildernes vandføring med sommermodellen i forhold til den primære grundvandsmodel.

	Primær model		Sommermodel	
	U. indvinding	M. indvinding	U. indvinding	M. indvinding
N. kildes vandføring	27,01/s	25,21/s	26,61/s	24,81/s
Reduktion		7 %		7 %
S. kildes vandføring	11,91/s	11,71/s	11,61/s	11,31/s
Reduktion		2 %		3 %

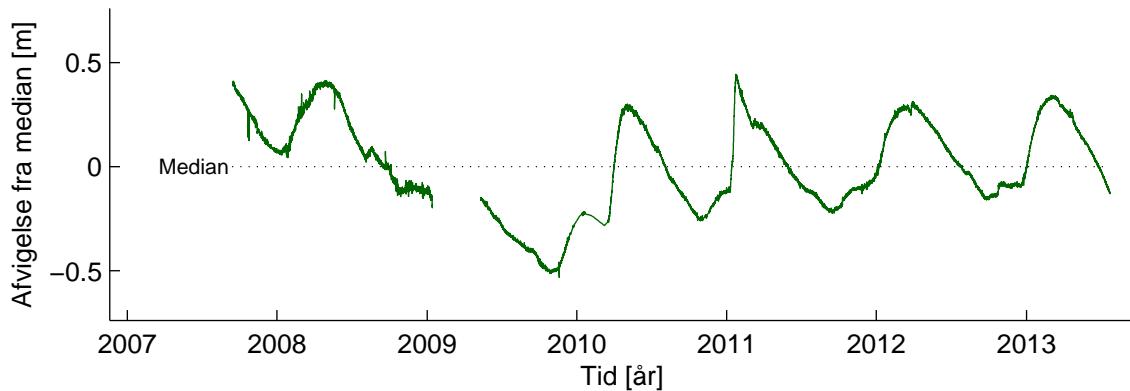
Tabel 4.9. Modellen, der anvender middeldata fra sommerperioden, i forhold til den primære grundvandsmodel, når der indvindes $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$.

4.4.2 Usikkerhed på pejlinger

Grundvandsdannelsen og dermed grundvandsstanden er påvirket af årstider, nedbør, temperatur og klimaforandringer m.v., hvorfor grundvandsmagasinets forhold er konstant ændrende eller dynamisk.

Datagrundlaget for modellen strækker sig over mange år og er ikke pejlet/vurderet under samme forhold. Der undersøges derfor usikkerheden på pejlingerne og dets indflydelse på kildernes vandføring. Forskellen med denne analyse i forhold til analysen af tidsperioden er, at den tidligere analyse angiver usikkerheden grundet årstider og klimaforandringer, hvor denne analyse angiver usikkerheden som følge af usikkerheden på pejlingerne.

På figur 4.12, s. 50 ses tidsserierne for vandstandspejlingerne i Volsted Plantage. Der er en enkel pejling, der strækker over $6,5\text{ r}$, som er fra det øvre magasin. Der forudsættes, at variationen af denne pejling i forhold til dets median er repræsentativ for alle pejlinger, der er medtaget. Hver af målingerne, der ligger til grund for kortlægningen af grundvandspotentialekortet og er fra vilkårlige tidspunkter, tildeles afvigelsen fra medianen for en tilfældig måling fra tidsserien. Den forudsatte usikkerhed ses på figur 4.31. Der kriges derefter igen for at bestemme de nye randbetingelser, hvorefter kildernes vandføring udregnes. Dette eksikveres 100 gange, hvor der hver gang tildeles en tilfældig måling fra tidsserien til målingerne. Der tildeles altså en tilfældig kombination af afvigelser på pejlingerne.



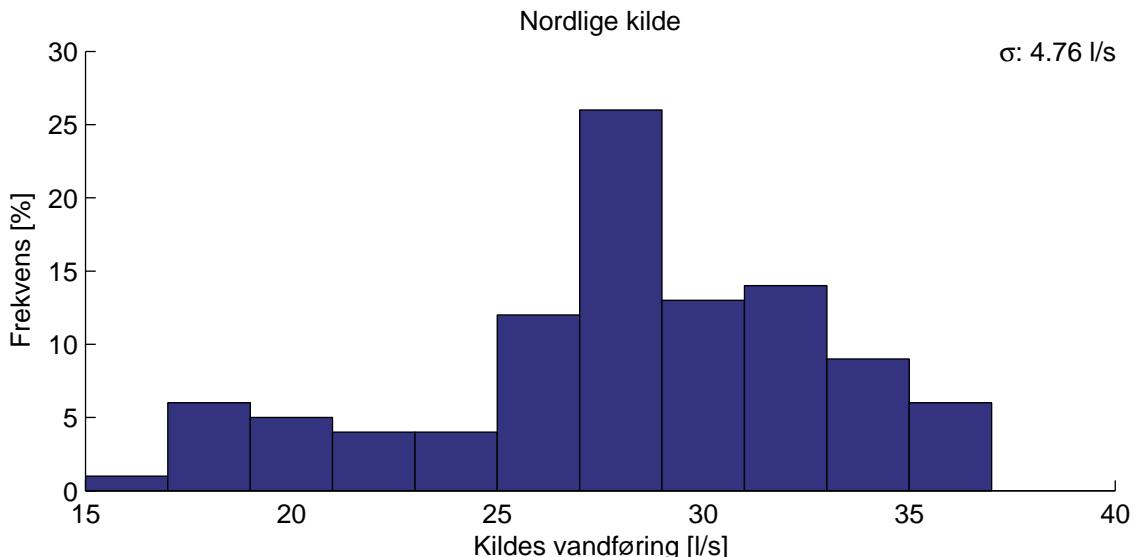
Figur 4.31. Den forudsatte usikkerhed for alle pejlinger på baggrund af tidsserie over pejling i Volsted Plantage.

Lindensborg Ås vandstand ændres ikke, da dette ikke blev vurderet på baggrund af målinger og er kalibreret. For målingerne indenfor Volsted Plantage tages ikke forbehold for afvigelsen her, idet der er tilstrækkelig datagrundlag for at anvende middelværdien. Et resumé af ændringerne i den nye model ses i tabel 4.10.

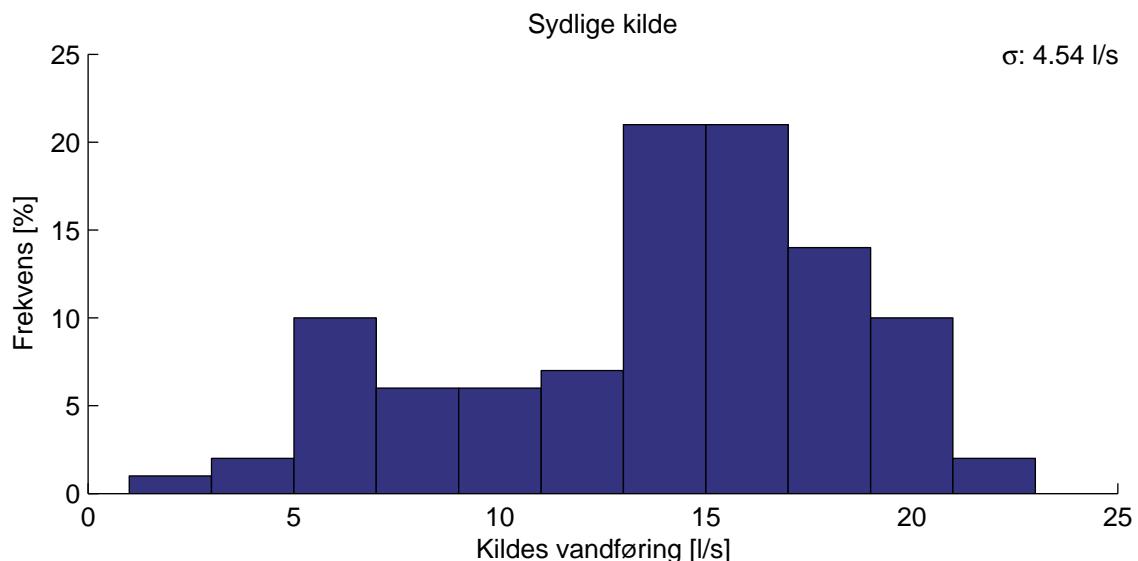
Primær model		Variation af trykkoter
Nordlige og sydlige kilde	Målt fra terrænkort	Målt fra terrænkort tillagt variation
Nordlige del af Hølbækken	Ækvivalent med nordlige kilde	Ækvivalent med nordlige kilde (m. dets tillagte variation)
Pejlinger udenfor Volsted Plantage	Pejlinger fra GEUS	Pejlinger fra GEUS tillagt variation

Tabel 4.10. Ændringerne i datagrundlaget for den nye model.

Histogrammer over vandføringen igennem de 100 tests ses på figur 4.32 og 4.33. Det ses ud fra histogrammerne, at en usikkerhed på pejlingerne forårsager store ændringer på kildernes vandføring.

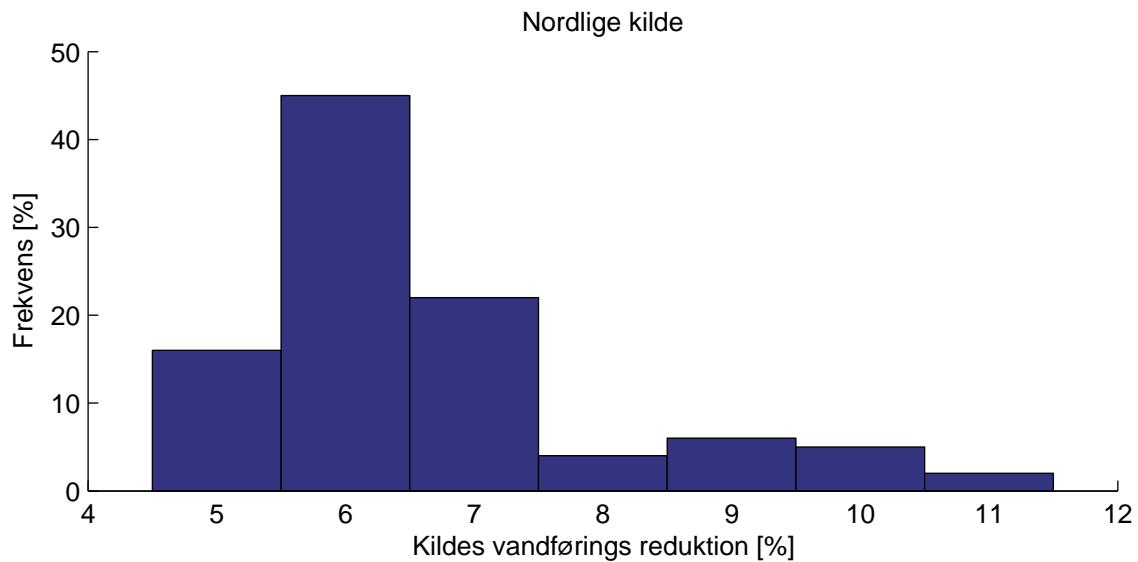


Figur 4.32. Histogram over nordlige kildes vandføring før indvinding.

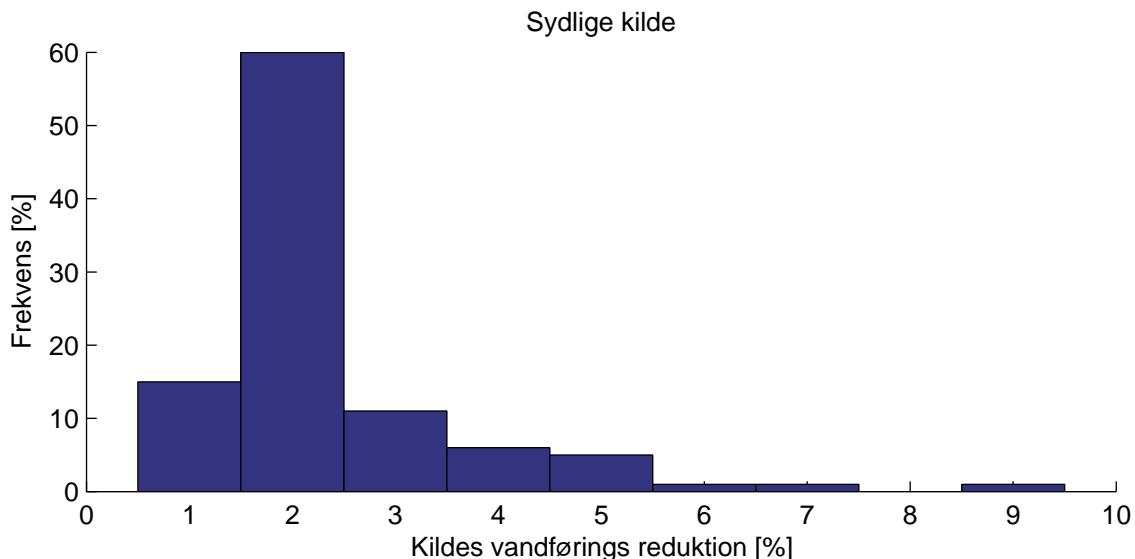


Figur 4.33. Histogram over sydlige kildes vandføring før indvinding.

Den store usikkerhed på kildernes ydelse betyder ikke nødvendigvis, at der er stor usikkerhed på, om kilderne opnår utilstrækkelige påvirkninger. Reduktionen er undersøgt, hvor kildernes vandføring beregnet uden indvinding sættes i forhold til kildernes vandføring med indvinding. Reduktionen i % ses på figur 4.34 og 4.35. Det ses, at den nordlige kilde i 7 % af tilfældende opnår påvirkninger over 10 %. Dette betyder, at usikkerheden på pejlingerne udenfor Volsted Plantage, samt trykkotene i kilderne og Hølbækken er tilstrækkelig stor, til at det ikke entydigt kan konkluderes, at kilderne ikke påvirkes uacceptabelt.



Figur 4.34. Histogram over nordlige kildes vandførings reduktion som følge af vandindvinding.



Figur 4.35. Histogram over sydlige kildes vandførings reduktion som følge af vandindvinding.

Idet pejlingen, hvis afvigelse danner baggrund for afvigelsen for alle pejlinger, kun strækker over 6,5 r, angiver analysen ikke usikkerheden som følge af, at pejlingerne er målt ud fra forskellige klimaforhold, dvs. der tages ikke forbehold for klimaforandringer. Analysen tager heller ikke forbehold for usikkerhed på pejlinger som følge af målingsudstyr eller målefejl.

4.4.3 Modelstørrelse

Grundvandsmodellen er afgrænset af randbetingelser nord, vest og øst for Volsted Plantage, hvis trykkote er fastholdt. Randbetingelserne er derfor upåvirket af modellen. I virkeligheden er punkterne påvirket af en vandindvinding. Såfremt vandindvindingen er tilstrækkelig tæt på randbetingelserne, kan dette have væsentlig betydning for modelresultaterne.

Der undersøges derfor, om en større grundvandsmodel opnår anderledes modelresultater. Modellen ses på figur 4.36.



Figur 4.36. Den større grundvandsmodel.

Fordelen ved den større grundvandsmodel er, at randbetingelserne har mindre betydning for indvindingens påvirkning på grundvandsmodellen. Ulempen er, at pejlingerne indenfor Volsted Plantage får mindre indflydelse på modellen, idet de ligger fjernt fra randbetingelserne. Datagrundlaget for pejlingerne i Volsted Plantage er bedre end pejlingerne udenfor, hvorfor datagrundlaget for den større grundvandsmodel er dårligere. Samtidig kan der forventes større afvigelse mellem pejlingerne og trykkoterne beregnet i grundvandsmodellen. Da den større grundvandsmodel beskriver et større område, er der større usikkerhed på magasintykkelsen og den hydrauliske ledningsevne.

Kildernes vandføring før og efter indvinding for den primære grundvandsmodel og den større grundvandsmodel ses i tabel 4.11. Der anvendes indvindingen valgt i afsnit 4.3 med indvindingsmængde på $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$. Det ses, at vandføringen i kilderne i den store grundvandsmodel er væsentlig større end den primære grundvandsmodel. Der er umiddelbart to forklaringer på dette. Den ene er, at høje pejlinger udenfor Volsted Plantage tidligere har haft mindre påvirkning på randbetingelserne, hvor de ved den større grundvandsmodel har større påvirkning. Randbetingelserne er derfor højere. Den anden forklaring er, at den større model er påvirket mere af grundvandsdannelse i forhold til flow over randbetingelser. RMS-afvigelsen mellem pejlinger og trykkote i den større grundvandsmodel er $0,318\text{ m}$, hvor den i den primære grundvandsmodel er $0,235\text{ m}$.

Det ses, at reduktionen i den sydlige kildes vandføring næsten fordobles, men der er ingen ændring i reduktionen for den nordlige kilde.

	Primær model		Større model	
	U. indvinding	M. indvinding	U. indvinding	M. indvinding
N. kildes vandføring	27,01/s	25,21/s	33,51/s	31,11/s
Reduktion		7 %		7 %
S. kildes vandføring	11,91/s	11,71/s	14,01/s	13,41/s
Reduktion		2 %		4 %

Tabel 4.11. Den større models modelresultater i forhold til den primære grundvandsmodel, når der indvindes $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$.

4.4.4 Diskretisering

Den primære grundvandsmodels diskretisering er 50 m. Det undersøges derfor, hvorvidt en grundvandsmodel med finere diskretisering opnår andre modelresultater. Diskretiseringen for den nye grundvandsmodel er 10 m. Resultaterne for den nye model i forhold til den primære model ses i tabel 4.12. Det ses, at der angives en betydelig lavere vandføring i kilderne med modellen med finere diskretisering. Endvidere ses det, at reduktionen i kildernes vandføring efter indvinding ikke ændres væsentligt, og at vandindvindingerne overholder målsætningen om reduktion i kildernes ydelse.

	Primær model		Model m. finere diskretisering	
	U. indvinding	M. indvinding	U. indvinding	M. indvinding
N. kildes vandføring	27,01/s	25,21/s	20,11/s	18,81/s
Reduktion		7 %		7 %
S. kildes vandføring	11,91/s	11,71/s	8,41/s	8,191/s
Reduktion		2 %		2 %

Tabel 4.12. Modellen med diskretisering på 10 m i forhold til den primære grundvandsmodel med en diskretisering på 50 m.

En af ulemperne ved en model med finere diskretisering er, at beregningerne, der udgør grundvandsmodellen, bliver tidskrævende. I den primære grundvandsmodel løses ligningssystemet $A \cdot h = c$, hvor A og c er hhv. en 1240×1240 -matrix og en vektor af 1240 værdier. I modellen med finere diskretisering er A og c hhv. en 34367×34367 -matrix og en vektor af 34367 værdier. Beregningstiden for grundvandsmodellerne ses i tabel 4.13. Modelkoderne kan evt. opdateres således, at de er hurtigere ved større modeller, og problemerne med hukommelse i modelleringen i Matlab er som følge af, at modelkoden ikke er optimeret til at behandle større mængde data.

Beregningstiden		
Primær model	Model m. finere diskretisering	
Matlab	10s	*
Python	15s	173s

Tabel 4.13. Beregningstiden for modellen med diskretisering på 10 m i forhold til den primære grundvandsmodel med en diskretisering på 50 m. *: Der er ikke tilstrækkelig hukommelse (8 GB) til at beregne grundvandsmodellen.

4.4.5 Konklusion af usikkerhedsanalyse

Det er ikke alle usikkerheder, hvis indflydelse på modelresultaterne er undersøgt. Der er heller ikke undersøgt alle usikkerhedernes samtidige påvirkning på modelresultaterne, og modellen anvender værdierne, der er kalibreret, frem for at kalibrere værdierne igen. Det ses, at det generelt gælder, at kildernes vandføring kan ændres meget som følge af usikkerhederne, men reduktionen i kildernes vandføring ændres minimalt. Idet det kun er reduktionen af vandføringen i kilderne, som ønskes bestemt, stiller dette lavere krav til grundvandsmodellens nøjagtighed.

Det ses generelt, at indvindingsmængden er større end den reducerede vandføring i kilderne. Der indvindes $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$ eller ca. 13 l/s, men reduktionen i vandføring udgør ca. 21/s jvf. figur 4.7. Der er derfor en forskel på 11 l/s. Den tilførte vandmængde igennem grundvandsdannelse ændres ikke som følge af vandindvinding, så det forventes, at indvindingsmængden fører til en reduktion i vandføring i udløb af tilnærmedesvis samme størrelse. Udløb til Lindenborg Å samt den sydlige del af Hølbækken er ikke modelleret og udgør sandsynligvis en del af den manglende reduktion. Mere sandsynligt er det dog måske, at indvindingen medfører en større indstrømning over trykrandene.

I den større model har de nordlige, vestlige og østlige trykrande større afstand til kilderne, hvilket betyder, at indstrømning over trykrandene derfor er mindre påvirket af vandindvinding. Dette ses, jvf. tabel 4.11, at medføre en større reduktion i vandføring i kilderne, hvor reduktionen når op på 31/s. Indstrømningen over trykrandene kan evt. modelleres, men udføres ikke i dette projekt. Det vurderes derfor, at ændringen i flow over trykrandene som følge af indvinding udgør en del af forskellen mellem indvinding og reduktion i udløb. Modellen kan alternativt opsættes med flowrande eller have en stor nok størrelse, at den er afgrænset af Limfjorden, Lindenborg Å m.v., hvilket medfører, at randene ikke længere påvirkes af indvinding.

På grund af usikkerheden ved pejlingerne kan det konkluderes, at der er risiko for, at en indvindingsmængde på $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$ påvirker Hølbækken vandføring med over 10 %. Det er dog ikke nødvendigt at nedsætte indvindingsmængden, idet yderligere overvågning af åløbets vandføring efter vandindvinding vurderes at være tilstrækkeligt.

4.5 Fastsættelse af boringsnært beskyttelsesområde

I sammenhæng med planlægning af de nødvendige indsatser for vandindvindinger planlægges boringsnært beskyttelsesområde (BNBO). BNBO-arealet fastlægges på baggrund af grundvandsmodellen.

Idet formålet med BNBO er at beskytte vandindvindingen mod forurening, bør BNBO-arealet dække området rundt om boringen, hvor der er risiko for, at forurening får kontakt med indvindingsboringen. Udgangspunktet for fastlæggelsen er organiske mikroforurenninger.

Der skal udføres kontrol efter organiske mikroforurenninger på vandforsyningsanlæg og i de tilhørende indvindingsboringer, hvor kontrolhyppigheden er afhængig af indvindingsmængden, [Miljøministeriet, 2014]. For indvindingsmængder mellem $350\,000\text{ m}^3/\text{r}$ og $1\,500\,000\text{ m}^3/\text{r}$ skal der kontrolleres to gange om året, men for at være på den sikre side fastlægges BNBO-

arealet på baggrund af kontrolhyppigheden for indvindingsmængder mellem $35\ 000\ m^3/r$ og $350\ 000\ m^3/r$, hvor der skal kontrolleres én gang om året.

BNBO-arealet bør derfor være det areal, hvor strømningstiden for organiske mikroforureninger til indvindingsboringen varer under ét år. Arealet fastlægges ud fra grundvandspotentialet efter indvinding. Der tages forbehold for den mættede zones effektive porøsitet, idet det er partikelhastigheden, der ønskes bestemt. Porøsiteten anslås at være 0,14. Hastigheden er derfor lig:

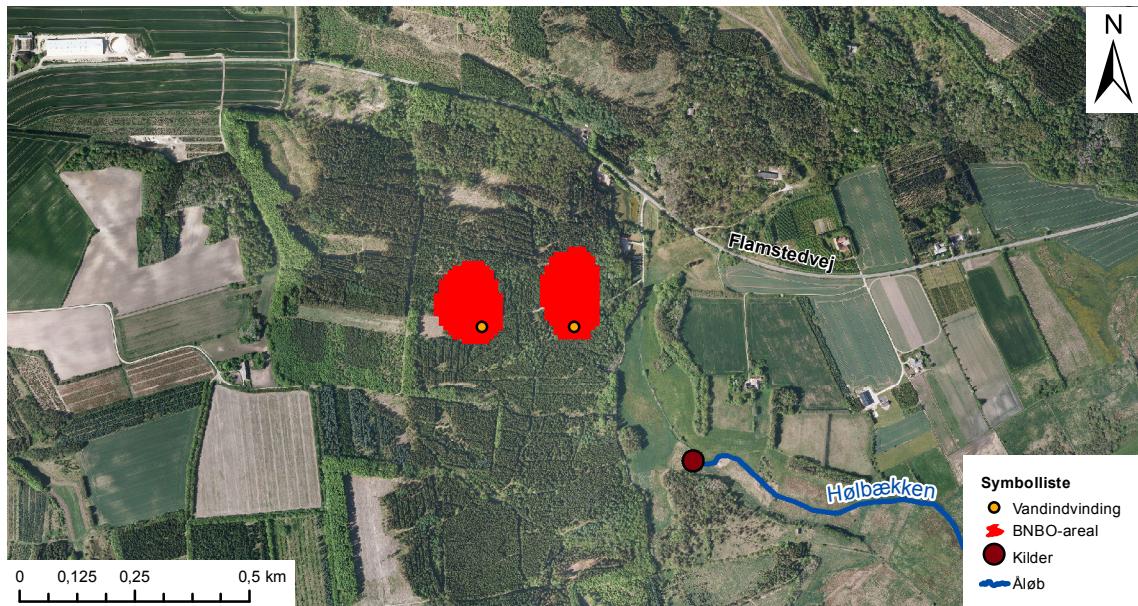
$$v_i = K \cdot \frac{\delta h}{\delta x} \cdot \frac{1}{n_{eff}} \quad (4.17)$$

Hvor:

v_i	Partikelhastigheden [m/s]
h	Trykhoved [m]
x	Strømningslinje [m]
K	Hydraulisk ledningsevne [m/s]
n_{eff}	Effektiv porøsitet [-]

Der anvendes finite-difference-metoden. I simuleringen indsættes partikler i alle celler i modellen, hvorefter partiklernes strømning simuleres i tidsskridt af fem dage. Det registreres derefter, hvorvidt et punkt har nået de to vandindvindinger. Ud fra punkterne, der har nået indvindingen, kan BNBO-arealet tegnes og ses på figur 4.37.

I vejledning om boringsnære beskyttelsesområder [Miljøministeriet, 2007] anbefales en diskretisering for grundvandsmodellen på 10 m. Der afklares dog ikke i vejledningen, hvorfor en så fin diskretisering er nødvendig. BNBO-arealet beregnet på baggrund af grundvandsmodellen ses på figur 4.37. Arealet af BNBO-arealet er $43\ 300\ m^2$.



Figur 4.37. BNBO-areal for vandindvindingerne.

Der er stor usikkerhed på den effektive porøsitet. Den effektive porøsitet i kalkmagasiner ligger indenfor intervallet ≈ 0 til $0,36$ og har en middelværdi på $0,14$ ifølge Environmental

Science Division [n.d.] eller intervallet 0,01 til 0,24 ifølge [Miljøministeriet, 2007]. Idet hastigheden for partiklerne er direkte proportionel med den effektive porositet, kan størrelsen af BNBO-arealet tilnærmelsesvis antage vilkårlige størrelser. Der bør derfor såvidt muligt anvendes data fra området til bestemmelse af parameteren.

Der kan alternativt anvendes en simplificeret beregningsmetode. Det forudsættes, at det indvindede volumen i boringen oppumpes fra en cylindrisk volumen omkring boringen. Der gælder derfor følgende ligning:

$$\underbrace{Q \cdot t}_{\text{Indvindingsvolumen}} = \underbrace{\pi \cdot R^2 \cdot H \cdot n_{eff}}_{\text{BNBO-volumen}} \quad (4.18)$$

Hvor:

Q	Indvindingsmængde [m^3/r]
t	Tilstrømningstid [r]
R	Radius for cylinder [m]
H	Højde af cylinder → Tykkelse af magasin [m]
n_{eff}	Effektiv porositet [-]

Der isoleres for radius R , som bestemmes:

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot H \cdot n_{eff}}} = \sqrt{\frac{400\,000 \text{ m}^3/\text{r} \cdot 1 \text{ r}}{\pi \cdot 51 \text{ m} \cdot 0,2}} = 112 \text{ m} \quad (4.19)$$

Arealet af BNBO er derfor:

$$A = R^2 \cdot \pi = (112 \text{ m})^2 \cdot \pi = 39\,220 \text{ m}^2 \quad (4.20)$$

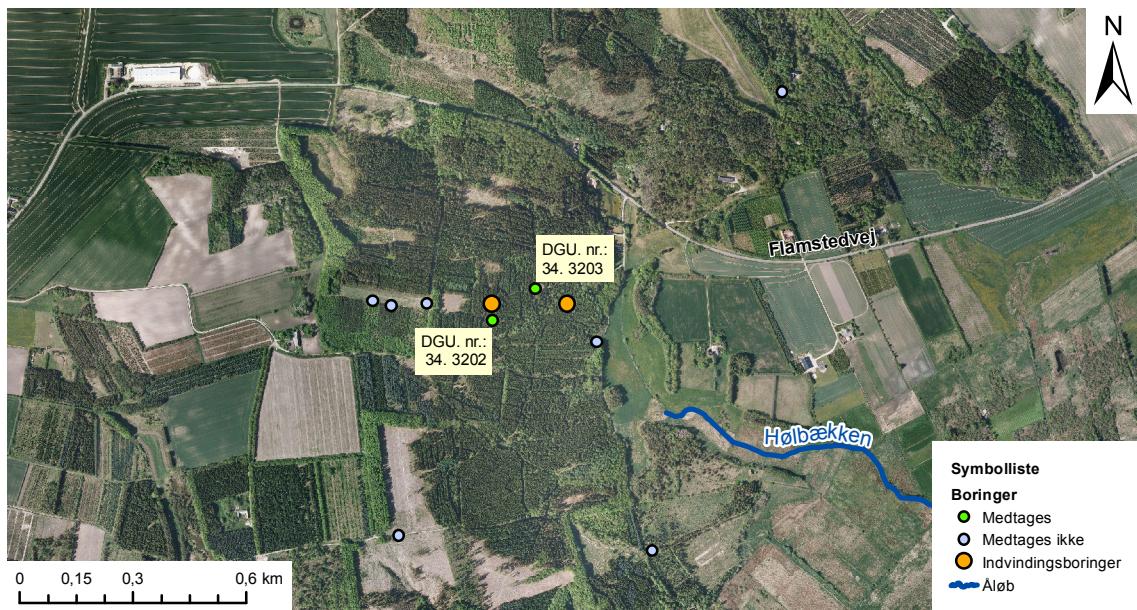
Arealet ved den simplificerede beregningsmetode er altså mindre end beregningerne på baggrund af modellen. Den simplificerede beregningsmetode tager dog ikke hensyn til grundvandspotentialets udformning, hvorfor der er større tillid til resultaterne på baggrund af modelberegningerne. Det vurderes derfor, at det er arealet vist på figur 4.37, der ønskes beskyttet. Det vurderes samtidigt ikke, at det er nødvendigt at udvide BNBO-arealet som følge af usikkerheder på beregninger, idet arealet allerede er fastlagt på en tilstrømningstid, der er over den nødvendige tilstrømningstid som følge af indvindingsmængden.

Nyt vandværk i Volsted 5

Der udvikles et forslag for et nyt vandværk i Volsted Plantage til at behandle råvandet fra indvindingsboringerne.

Drikkevandet skal overholde kvalitetskravene for drikkevand fra Miljøministeriet [2014]. Såfremt et stof eller parameter overskridt kvalitetskravene, skal vandet behandles, således at stofkoncentrationen eller parametret overholder grænseværdien. Er det ikke muligt at overholde grænseværdierne, kan der dispenseres derfra i 3 år. Såfremt det ikke er muligt at forbedre tilstanden efter 3 år, bør kildepladsen lukkes. Dette kræver, at der er anden vandforsyning til rådighed, ellers må der i særlige tilfælde blot gives en ny dispensation for yderligere 3 år. [Miljøministeriet, 2014, §16-19]

Stofkoncentrationerne og vandets parametre for kildepladsen i Volsted Plantage vurderes ud fra de mest nærliggende boringer, der indeholder analyser af grundvandskemi. Boringerne, der er medtaget, samt deres placering i forhold til indvindingsboringerne ses på figur 5.1. De grundvanskemiske analyser findes på [Bilags-CD, Grundvanskemiske analyser]. I de kommende tabeller forekommer den mest kritiske stofkoncentration af begge målinger.



Figur 5.1. Boringer, hvis grundvanskemiske analyser forudsættes at være repræsentative for grundvanskemien i indvindingsboringerne.

Stoffer og parametre, der ikke indgår i de kommende tabeller er udladt, idet de ikke er undersøgt i den grundvanskemiske analyse jvf. [GEUS, 2014b].

Koncentrationen af vandets hovedbestanddele og de tilhørende grænseværdier er angivet i tabel 5.1. Kvalitetskravene er angivet, som ved afgang fra vandværk.

Stof		Stofkoncentration [mg/l]	Grænseværdi [mg/l]
NVOC	(C)	0,82	4
Inddampningsrest		541	1500
Calcium	(Ca)	138	200
Magnesium	(Mg)	7	50
Natrium	(Na)	12	175
Kalium	(K)	1,5	10
Ammonium	(NH ₄ ⁺)	0,029	0,05
Jern	(Fe)	0,04	0,1
Mangan	(Mn)	0,014	0,02
Bikarbonat	(HCO ₃ ⁻)	227	Mere end 100
Klorid	(Cl ⁻)	150	250
Sulfat	(SO ₄ ²⁻)	12	250
Nitrat	(NO ₃ ⁻)	9,09	50
Nitrit	(NO ₂ ⁻)	0,032	0,01
Totalt fosforindhold	(P)	0,027	0,15
Fluorid	(F ⁻)	0,29	1,5
Ilt	(O ₂)	2,3	Mere end 5*
Aggressiv kuldioxid	(CO ₂)	< 2	2
Methan	(CH ₄)	< 0,01	0,01

Tabel 5.1. Koncentration og kvalitetskrav til vandets hovedbestanddele.

*: Krav ved indgang til ejendom. Iltindholdet reduceres i rentvandsledningen, hvorfor der bør tilføres ekstra ilt for at overholde kravet. [GEUS, 2014b]

Koncentrationen af vandets sporstoffer og de tilhørende grænseværdier er angivet i tabel 5.2. Kvalitetskravene er ved indgang til ejendom, idet der ikke er angivet grænseværdi ved afgang fra vandværk. Der bør derfor tages forbehold for sporstoffer, der tilføres vandet igennem rentvandsledningen.

Stof		Stofkoncentration [g/l]	Grænseværdi [g/l]
Arsen	(As)	1,3	5
Barium	(As)	11	700
Bor	(B)	10	1000
Nikkel	(Ni)	4,7	20

Tabel 5.2. Koncentration og kvalitetskrav til vandets sporstoffer. [GEUS, 2014b]

Koncentrationen af vandets uorganiske mikroforurening og de tilhørende grænseværdier er angivet i tabel 5.3. Kvalitetskravene er ved afgang fra vandværk.

Stof		Stofkoncentration [g/l]	Grænseværdi [g/l]
Klorfenoler		< 0,01	0,1

Tabel 5.3. Koncentration og kvalitetskrav til vandets mikroforurenninger. [GEUS, 2014b]

Koncentrationen af pesticider og den tilhørende grænseværdi er angivet i tabel 5.4.

Kvalitetskravene er ved afgang fra vandværk og gælder for summen af alle pesticider.

Stof	Stofkoncentration [g/l]	Grænseværdi [g/l]
Pesticider	< 0,44	0,5

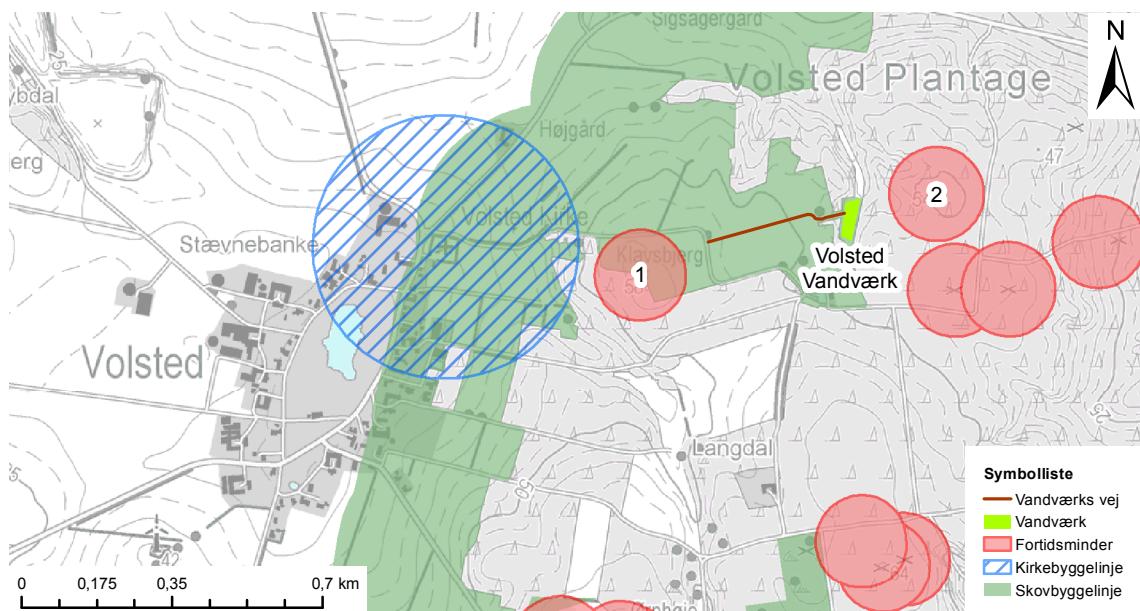
Tabel 5.4. Koncentration og kvalitetskrav til pesticider. [GEUS, 2014b]

Det ses ud fra tabel 5.1, at grænseværdien for nitrit overskrider grænseværdien som det eneste stof. Normalbehandling er derfor tilstrækkelig, men der bør sikres, at nitrit omdannes til nitrat på vandværket, hvorfor der bør anvendes nitrifikation.

5.1 Vandværket

Da det indvunde vand skal behandles, placeres et vandværk i Volsted Plantage. Vandværkets opgave, udover at behandle vandet, vil også være at sende vandet afsted mod Aalborg og Volsted by.

Vandværket bliver på trods af den dokumenterede indvinding i kapitel 4 dimensioneret til en vandføring på 1 mio. m³/d, da vandføringen kan stige til det i fremtiden. Det er hensigtsmæssigt at placere et vandværk tæt på indvindingsboringerne, hvormed driftsomkostningerne mindskes. Ydermere bør anlæggelsen af vandværket ikke være i konflikt med beskyttelseslinjer og fredninger. Derudover bør vandværket placeres lavt i terrænet, så det undgår at dominere landskabet. På figur 5.2 ses vandværkets placering i Volsted Plantage.



Figur 5.2. Vandværkets placering i forhold til beskyttelseslinjer og fredninger. [Miljøportalen, 2014]

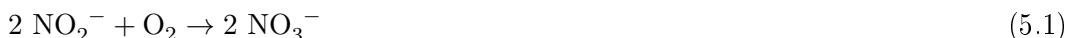
Det ses, at vandværket er placeret i skovbyggelinjen. Derfor skal der ved kommuneafgørelse dispenseres herfra [Miljøministeriet, 2013a]. Det antages dog, at et vandværk fra Aalborg Forsyning gør, at kommunen er villig til at give dispensation. Markeringerne 1 og 2 viser

to fredede gravhøje. De ligger hver især på højdepunkter i terrænet, og når vandværket placeres mellem dem, ligger det i en lavning, som gør, at det ikke kan ses fra Volsted by.

I det følgende dimensioneres Volsted Vandværk, med standard betingelserne for normalbehandling. Derfor dimensioneres en iltningstrappe på baggrund af iltningsbehovet, sandfilter og rentvandsbeholder.

5.2 Iltningsbehov

Iltningsbehovet for, at nitrit ikke overskridt grænseværdien, bestemmes. Nitrit omdannes til nitrat vha. nitrifikation og følger følgende reaktionsligning:



Den molare masse for nitrit og ilt er henholdsvis 46 g/mol og 32 g/mol. Enheds-iltbehovet regnes hermed:

$$\frac{1 \text{ mol} \cdot 32 \text{ g/mol}}{2 \text{ mol} \cdot 46 \text{ g/mol}} = 0,35 \text{ gO}_2/\text{gstof} \quad (5.2)$$

Ud fra enheds-iltbehovet beregnes det nødvendige iltbehov til vandrensning. Iltbehovet ses i tabel 5.5.

Stof	Konc. over grænseværdi [mg/l]	Enheds-iltbehov [mg O ₂ /mg stof]	Iltbehov [mg O ₂ /l]
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,022	0,35	0,008

Tabel 5.5. Iltbehovet for at behandle nitrit i råvandet.

Der er samtidig krav til, at vandet indeholder 5 mgO₂/l ved indgang til ejendom [Miljøministeriet, 2014], som bør tillægges iltbehovet for rensning af nitrit. Det ses i tabel 5.1, at råvandet indeholder 2,3 mgO₂/l. Der tilsættes derfor 2,7 mgO₂/l samt ekstra 0,5 mgO₂/l for at sikre, at kravet overholdes. Det samlede iltningsbehov for råvandet er derfor:

$$2,3 \text{ mgO}_2/\text{l} + 0,008 \text{ mgO}_2/\text{l} + 2,7 \text{ mgO}_2/\text{l} + 0,5 \text{ mgO}_2/\text{l} = 5,51 \text{ mgO}_2/\text{l} \quad (5.3)$$

Idet nitrit bliver omdannet til nitrat, kontrolleres nitratindholdet for råvandet igen. Nitrats molare masse er 62 g/mol, så mængden af tilført nitrat efter rensning er derfor:

$$\frac{\text{mg NO}_2^-}{M_{\text{NO}_2^-}} \cdot M_{\text{NO}_3^-} = \frac{0,022 \text{ mg}}{46 \cdot 10^3 \text{ mg/mol}} \cdot 62 \cdot 10^3 \text{ mg/mol} = 0,03 \text{ mg} \quad (5.4)$$

Den tilførte koncentration tillægges koncentrationen af nitrat i råvandet angivet i tabel 5.1:

$$9,09 \text{ mg/l} + 0,03 \text{ mg/l} = 9,12 \text{ mg/l} \quad (5.5)$$

Det ses, at nitrat overholder grænseværdien på 50 mg/l.

5.3 Iltningstrappe

Til iltning af råvandet benyttes en iltningstrappe, da der kan iltes omrent 11 mg/L under gode forhold.

Den årlige indvindingsmængde er dimensionsgivende for iltningstrappen, idet kantbelastningen ikke må overskride $50 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. m trappe. Trappens bredde bestemmes ved følgende formel:

$$b = \frac{Q}{50 \text{ m}^3/\text{time pr. m trappe}} \quad (5.6)$$

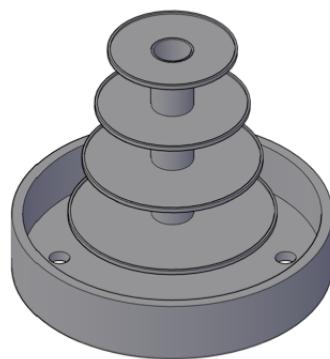
Hvor:

b	Trappens bredde [m]
Q	Ønskede vandindvinding [m^3/time]

Jævnfør afsnit 6.1 er $Q 114,2 \text{ m}^3/\text{time}$, hvorfor den nødvendige trappebredde bliver:

$$b = \frac{114,2 \text{ m}^3/\text{time}}{50 \text{ m}^3/\text{time pr. m trappe}} = 2,3 \text{ m} \quad (5.7)$$

Der bruges almindeligvis 3-4 trin på en iltningstrappe, og udformningen er af æstetiske årsager en cirkulær iltningstrappe. Det vælges, at trappen skal have fire trin, hvormed at 4 gange 2,3 m fordeles på de fire cirkulære trin, som på figur 5.3. [Karlby og Sørensen, 2014, s. 441]



Figur 5.3. Principskitse af en cirkulær iltningstrappe.

Trinenes radier stiger nedefter, så råvandet kan falde ud over kanten til næste trin. Faldet mellem hvert trin er 0,3 m, da dette er inden for intervallet på 0,3 m-0,5 m, hvor iltoptagelsen er maksimal, [Karlby og Sørensen, 2014, s. 441].

5.4 Filtrering

Når råvandet er iltet, skal det filtreres, hvorved det er nødvendigt at beslutte, hvilket filter, der skal bruges, samt hvilke dimensioner filtret bør have. I filtret afsættes de udfældede eller denitrifikerede stoffer efter iltningstrappen. Disse stoffer er blandt andet jern, mangan.

Kendskabet til stofkoncentrationerne af jern, mangan og ammonium i råvandet jvf. afsnit 5.2, benyttes til at vælge filtreringsmetode jvf. figur 17.27 [Karlby og Sørensen, 2014, s. 457]. Det vælges at bruge enkelt kvartsfiltrering, hvorved det fastslås, at filterhastigheden skal være mellem 3 og 5 m/h jvf. figur 17.28 [Karlby og Sørensen, 2014, s. 458].

Med en daglig indvinding på 114,2 m³/time, kan overfladearealet af filteret beregnes med formel (5.8).

$$Q = v \cdot A \Leftrightarrow A = \frac{Q}{v} \quad (5.8)$$

Hvor:

Q	Vandindvinding [m ³ /time]
v	Filterhastigheden [m/time]
A	Overfladeareal af filteret [m ²]

Filterhsatigheden tages som gennemsnit af højeste og laveste filterhastighed, hvormed filterhastigheden er 4 m/time. Overfladearealet beregnes:

$$A = \frac{114,2 \text{ m}^3/\text{time}}{4 \text{ m}/\text{time}} = 28,55 \text{ m}^2 \quad (5.9)$$

I driftsituationen afsættes jern, mangan og ammonium i filtermaterialet, hvilket betyder, at tryktabet henover filtret løbende bliver større. Inden tryktabet bliver for højt, og filtret stoppes helt, skyldes filtret baglæns. Det anslås, at mellem 1-3 % af årsindvindingen benyttes til at skylle filter, [Karlby og Sørensen, 2014, s. 748]. Det svarer til, at mindst 10 000 m³ rent drikkevand i gennemsnit bruges til filterskylningen på årlig basis.

5.5 Dimensionering af rentvandsbeholder

Rentvandsbeholderen er samlingspunkt for produktionen af drikkevand, før det sendes videre til henholdsvis Volsted og højdebeholderen i Flødal. Rentvandsbeholderen skal være tæt og bør kunne indholde omrent en dagsproduktion, mens hele beholdervolumet skal udskiftes gennemsnitligt hver 3. døgn, [Karlby og Sørensen, 2014, s. 638]. Dette for at sikre, at vandet ikke har for lang opholdstid. Ved for lang opholdstid er der fare for, at vandet bliver stillestående, hvorved der er øget risiko for mikroorganismer og bakteriel vækst, [Karlby og Sørensen, 2014, s. 626].

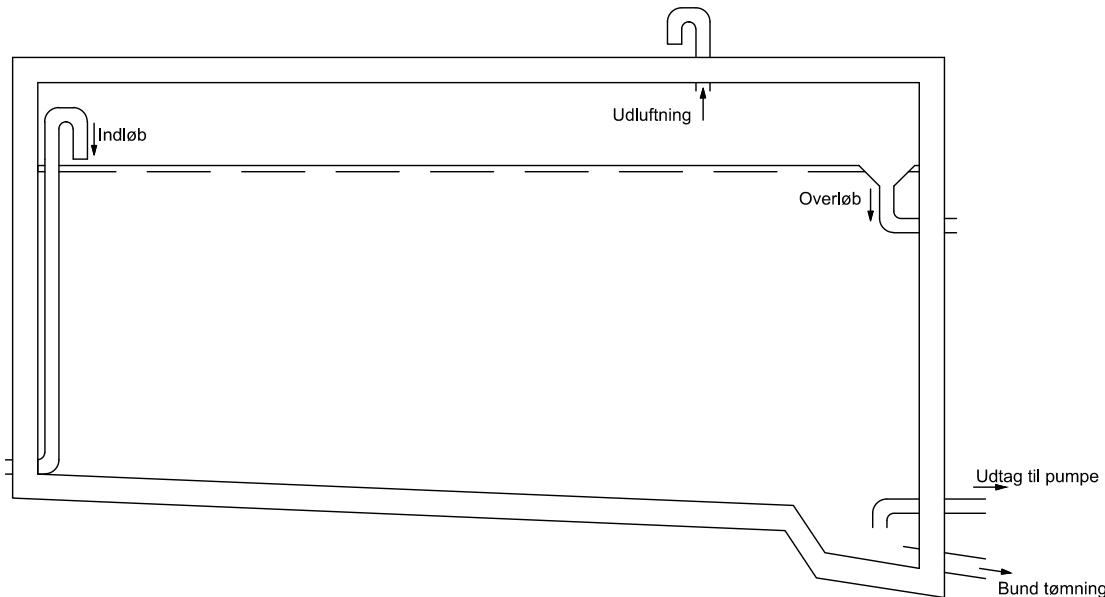
Til dimensionering af rentvandsbeholderen benyttes *tommelfingerreglen* fra Karlby og Sørensen [2014, s. 637]:

$$\begin{aligned} Q_{\text{maks.døgn}} < 1000 \text{ m}^3 & \quad V = 0,35 \cdot Q_{\text{maks.døgn}} \\ 1000 \text{ m}^3 < Q_{\text{maks.døgn}} < 4000 \text{ m}^3 & \quad V = 0,25 \cdot Q_{\text{maks.døgn}} \\ Q_{\text{maks.døgn}} > 4000 \text{ m}^3 & \quad V = 0,20 \cdot Q_{\text{maks.døgn}} \end{aligned}$$

Den maksimale rentvandsproduktion på Volsted vandværk vurderes til at være den gennemsnitlige dagsproduktion. Det er således 1 mio. m³/delt med årets 365 dage:

$$Q_{\text{maks.døgn}} = \frac{1\,000\,000 \text{ m}^3/\text{r}}{365 \text{ dage/r}} = 2740 \text{ m}^3/\text{dgn} \quad (5.10)$$

Dette ligger i intervallet $1000\text{-}4000 \text{ m}^3$, hvorfor det nødvendige beholdervolumen er $0,25 \cdot 2740 \text{ m}^3/\text{dgn} = 685 \text{ m}^3$. Ved at benytte dimensionerne $5 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 14 \text{ m}$ opnås et beholdervolumen på 700 m^3 . På figur 5.4 ses en skitse af en rentvandsbeholder med netop disse mål, blot med 10 m i dybden. Derudover er bunden at rentvandsbeholderen designet, så beholderen kan tømmes helt.

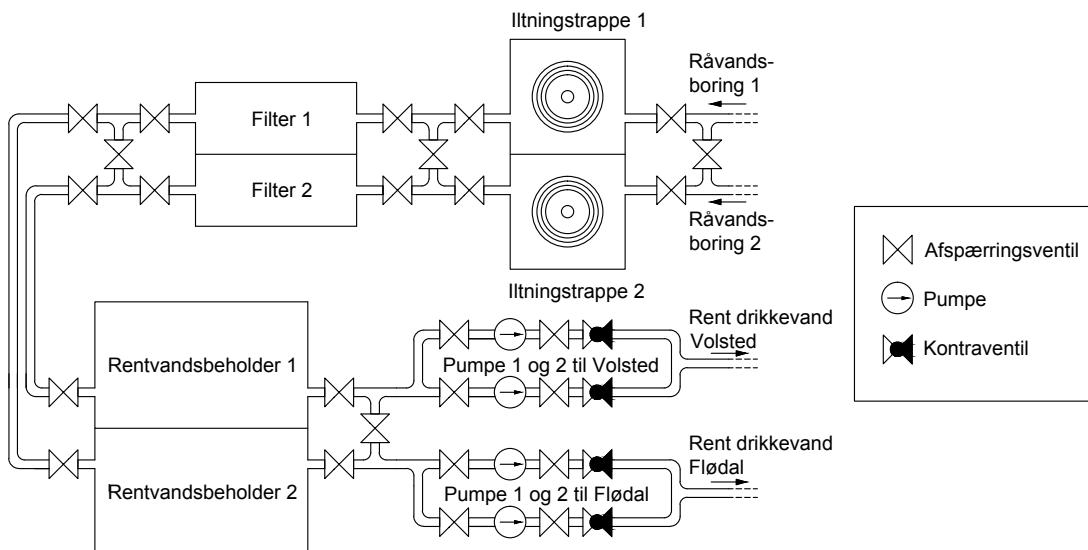


Figur 5.4. Rektangulær rentvandsbeholder. [Karlby og Sørensen, 2014, s. 637, Red.]

Beholderen bør konstrueres, så risikoen for forurening af det netop rensede vand mindskes. Derfor skal indersiden af beholderen have så lav ækvivalent sandruhed, at bakteriel vækst besværliggøres. Derudover benyttes luftfiltre i udluftningskanalerne, så bl.a. stov og insekter ikke kan trænge ind i beholderen. [Karlby og Sørensen, 2014]

5.6 Styring af vandværk

Vandværket i Volsted Plantages opføres som et to-strenget system, da dette skaber forsyningssikkerhed fra vandværket. Samtidig gør dette vedligeholdelse, rengøring og andre driftsituationer lettere. Systemet er opbygget, så der er to af hvert essentielt element på vandværket. Dvs. to iltningstrapper, to sandfiltre, to rentvandsbeholder og to pumper. Systemet fremgår af figur 5.5 og har således dobbelt kapacitet, såfremt dette skulle blive nødvendigt.



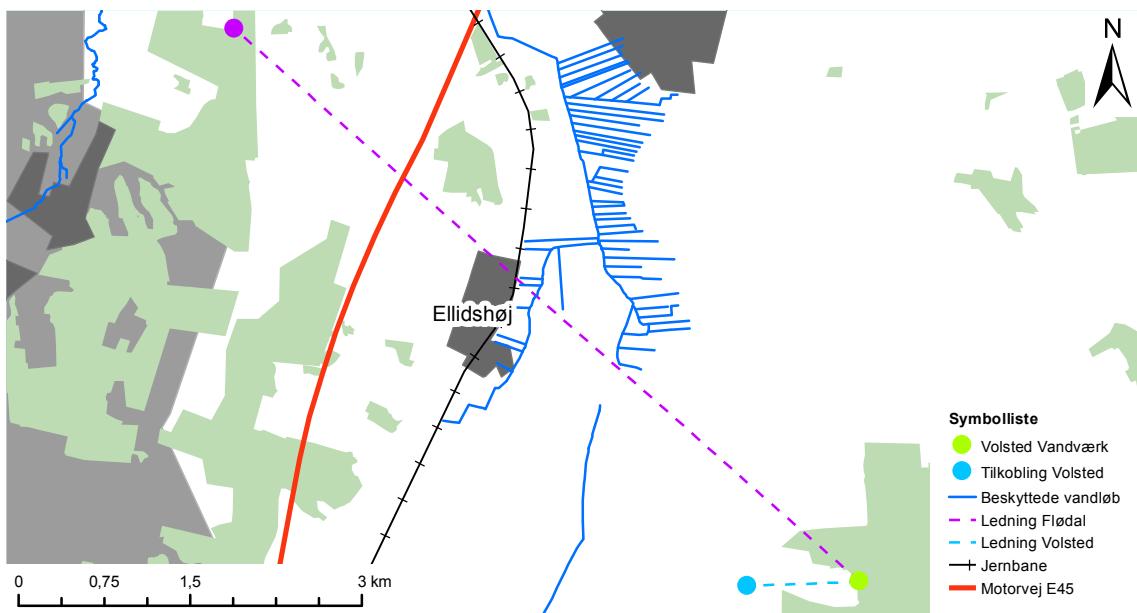
Figur 5.5. Skitse af to-strenget system på Volsted Vandværk.

Ydermere er systemet koblet med ventiler, så produktionen ikke udelukkende behøver at foregå på streng 1. Der kan skiftes mellem strengene uafhængigt, så der er plads til vedligholdelsesopgaver som fx for høj afsætning af okker på iltningstrappen.

Hermed er der dannet et forslag til vandværksopbygning på Volsted Vandværk.

Forsyning af Volsted og Flødal

Med råvandet behandlet skal det ledes til henholdvis Volsted og tilkobles Aalborg vandforsyningensnet. Dette er valgt at gøre med to ledninger. Én, der går til Volsted by, med tilstrækkelig kapacitet til at opfylde Volsteds behov, og en længere ledning, der kobles på en højdebeholder i Flødal. På figur 6.1 ses de forskellige steder, hvor vandet ønskes at føres hen.



Figur 6.1. Placering af distributionsmål for Volsted Vandværk.

Det antages, at højdebeholderen i Flødal har tilstrækkelig kapacitet til at akkommulere den ekstra mængde rentvand, der kommer fra Volsted Vandværk. I forsyningen af Volsted tages højde for trykket og vandforbruget ved forbrugeren. Ved ledningen til Flødal dimensioneres ledningen, så den har tilstrækkelig kapacitet, samt at det sikres, at ledningen kan holde til trykstød.

6.1 Dimensionsgivende vandføring

Den dimensionsgivende vandføring afhænger af stedet i systemet, efter behov og vandbeholdere. Indvindingsboringen, vandværket samt forsyningsledningen til Flødal dimensioneres til en vandføring svarende til den maksimale døgnvandføring, da de alle når en vandbeholder, som har kapacitet til at håndtere maksimale timevandføring.

Den dimensionsgivende vandindvinding i årsmiddel er $1\,000\,000 \text{ m}^3/\text{r}$. For den dimensionsgivende vandføring i indvindingsboring, vandværk og ledning til Flødal bør der tillægges døgnfaktoren, som forudsættes at være lig 1,5 svarende til større samlet bebyggelser med

differentieret byerhverv [Dansk Standard, 1988]:

$$Q_{max} = f_{d,max} \cdot Q_m = 1,5 \cdot 1\,000\,000 \text{ m}^3/\text{r} = 1\,500\,000 \text{ m}^3/\text{r} \approx 47,5 \text{ l/s} \quad (6.1)$$

Hvor:

Q_{max}	Maksimale døgnvandføring [m^3/dgn]
Q_m	Årsmiddelvandføring [m^3/dgn]
$f_{d,max}$	Maksimal døgnfaktor [-]

Idet der kun er dokumenteret, at der kan indvindes $400\,000 \text{ m}^3/\text{r}$, vurderes det, at en ekstra kapacitet på $1\,100\,000 \text{ m}^3/\text{r}$ er uhensigtsmæssig og sandsynligvis aldrig bliver nødvendigt. Der vælges derfor at dimensionere systemet således, at det har en kapacitet svarende til $1\,000\,000 \text{ m}^3/\text{r}$.

Vandføringen i afgangen fra rentvandsbeholderen på vandværket til Volsted by dimensioneres. Det antages, at beboerne i Volsted har et vandforbrug på $0,15 \text{ m}^3/\text{dgn}/\text{person}$. Jvf. [Byrapporten - byer under 200 indbyggere, 2004] bor der 148 mennesker i Volsted, hvorfor døgnforbruget kan beregnes som:

$$Q_m = \text{Forbrug} \cdot \text{Personer} \quad (6.2)$$

$$Q_m = 0,15 \text{ m}^3/\text{dgn}/\text{person} \cdot 148 \text{ personer} = 22,2 \text{ m}^3/\text{dgn} \quad (6.3)$$

Middelforbruget ses ikke at være en sigende parameter, da der skal tages forbehold til forbrugsvariation i løbet af et døgn. Derfor bestemmes den maksimale vandføringen i form af maks. døgn og maks. time ved brug af følgende formler:

$$Q_{max} = f_{d,max} \cdot Q_m \quad (6.4)$$

$$q_{max} = f_{t,max} \cdot \frac{Q_{max}}{24} \quad (6.5)$$

Hvor:

Q_{max}	Maksimale døgnforbrug [m^3/dgn]
q_{max}	Maksimale timeforbrug [m^3/time]
$f_{d,max}$	Maksimal døgnfaktor [-]
$f_{t,max}$	Maksimal timefaktor [-]

Døgn- og timefaktoren bestemmes til at være hhv. 2 og 2,5 [Karlby og Sørensen, 2014, s. 331], idet det antages, at byen kan opfattes som "Mindre samlede bebyggelse med overvejende byerhverv". Ydermere vælges de maksimale værdier for døgn- og timefaktorerne, da Volsted ikke er en særlig stor by, hvorfor det kan antages, at forbrugsvariationen er stor.

De valgte faktorer indsættes i hhv. formel (6.4) og (6.5):

$$Q_{max} = 2 \cdot 22,2 \text{ m}^3/\text{dgn} = 44,4 \text{ m}^3/\text{dgn} \quad (6.6)$$

$$q_{max} = 2,5 \cdot \frac{44,4 \text{ m}^3/\text{dgn}}{24} = 4,6 \text{ m}^3/\text{time} \quad (6.7)$$

6.2 Forsyning af Volsted

Volsted by forsynes med drikkevand og der sikres tilstrækkelig forsyningstryk i alle husstande i byen. Der eksisterer allerede et vandforsyningssnet i Volsted by, men der tages udgangspunkt i et nyt ledningsnet.

6.2.1 Dimensionering af ledningsnet

Distributionen af drikkevandet i Volsted bestemmes ved brug af simuleringsværktøjet EPANET. Der oprettes et nyt ledningsnet for Volsted, som kobles til hovedledningen fra vandværket. De data, der søges bestemt ved brug af EPANET, er trykniveau ved forbruger, vandføring og hastighed i ledningerne.

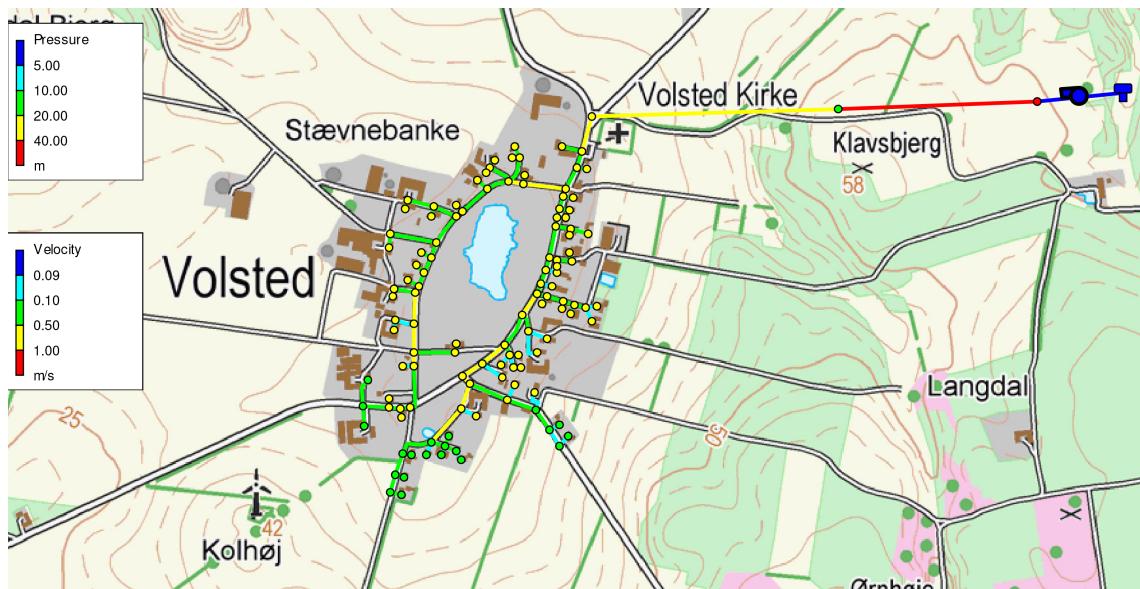
Der opstilles et forsyningssnet, der når alle husstande. Ledningsnettet består af rør af typen PE80 med trykklasser PN12,5. Dvs. rørets brudstyrke efter 50 års drift er 8 MPa, og det maksimalt tilladelige tryk i røret er 12,5 bar. Driftruheden er jvf. producenten opgivet som 0,15 mm [Uponor, 2014], men der forudsættes en ruhed på 0,5 mm for at være på den sikre side.

I toppen af forsyningssnettet placeres en forsyningstank, som ses figur 6.2 i øverste højre hjørne. Forsyningstanken sikrer, at der er tilstrækkelig kapacitet til maksimalt timeforbrug i forsyningssnettet. I kombination med beholderen placeres en pumpe for at sikre tilstrækkelig løftehøjde grundet Volsted bys terrænforhold. Den nødvendige løftehøjde er bestemt efter samme disciplin som ved hovedledningen, se afsnit 6.3.2, og er 62 m. Der benyttes derfor pumpen *CME5-6*, [Grundfos, 2013].

EPANET kan beregne tryktabet i ledningerne på forskellige måder. Den første metode er Hazen-Williams. Denne metode fungerer kun på vand og turbulent strømning. Chezy-Manning metoden er en anden mulighed, men denne er oftere benyttet på åbne vandløb. Den sidste metode er Darcy-Weisbach metoden, som er den mest teoretiske korrekte af de tre og kan bruges på alle væsker og alle strømningsformer. [Rossman, 2000] Derfor vælges det at benytte Darcy-Weisbach metoden, i EPANET modellen.

Der vælges kun at simulere et øjebliksbillede af forsyningssnettet i Volsted, da det er en lille by, hvorfor det antages, at rentvandsbeholderen kan håndtere døgnvariationer. Øjebliksbilledet er således en situation, hvor der forekommer en vandføring, der er lig med den beregnede maksimale timevandføring efter afsnit 6.1.

Vandtrykket ved forbruger skal være mindst 10 mVS, og for at opnå bekvem aftapning bør trykket ikke overstige 50 mVS [Karlby og Sørensen, 2014]. Yderligere bør hastighederne i ledningerne ikke være under 0,1 m/s af hensyn til selvrensning [Karlby og Sørensen, 2014]. Angående tryk ift. brandslukning antages det, at brandvæsenets egne vandtanke rummer nok vand til at kunne slukke en brand. Ellers antages det, at søen i midten af Volsted kan benyttes til brandslukning.



Figur 6.2. Resultater fra EPANET.

Figur 6.2 viser øjebliksbilledet af simuleringen. Det ses af figur 6.2, at kravene for tryk er opfyldt på hele nettet. Dog er der enkelte steder på nettet, hvor hastigheden i ledningen er lav. Det kan derfor være nødvendigt at placere en brandhane på nettet for at kunne skylle ledningerne [Karlby og Sørensen, 2014].

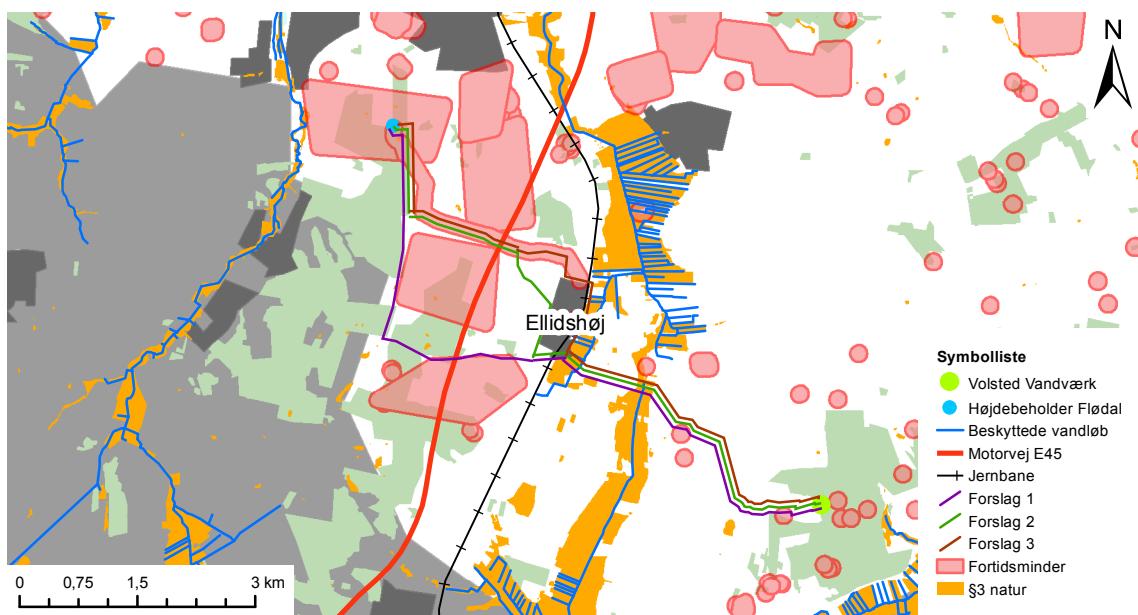
6.3 Forsyning af Aalborg Kommune

I dette afsnit udlægges og dimesioneres den lange ledning fra Volsted Vandværk til Flødal. Ledningens tracé fastlægges, hvorefter ledningen dimensioneres til at have tilstrækkelig kapacitet. Til at transportere vandet til Flødal anvendes en pumpe, som dimensioneres således, at den kan levere den nødvendige mængde vand. Samtidig bør det sikres, at pumpen samt rørledningen ikke lider skade som følge af trykstød.

Figur 6.1 på side 83 viser besværlige krydsninger. Jernbanen, motorvejen og de beskyttede vandløb er særligt vanskelige. Derudover kommer hovedveje og andre veje. Udlægningen af tracé bør tage hensyn til disse og undgå for mange komplikerede krydsninger med andre infrastrukturelle og beskyttede elementer.

6.3.1 Ledningens tracé

Tracéringen af hovedledningen inddeltes i henholdvis linjeføringen og længdeprofilet. Det er valgt at lave mere end ét linjeføringsforslag, som det fremgår af figur 6.3. Alle linjeføringerne tager udgangspunkt i at følge vejes nærhed, så tilkørselforholdene ved anlæggelse, drift og vedligehold er gode.



Figur 6.3. Tre tracéforslag mellem Volsted Vandværk og højdebeholderen i Flødal.

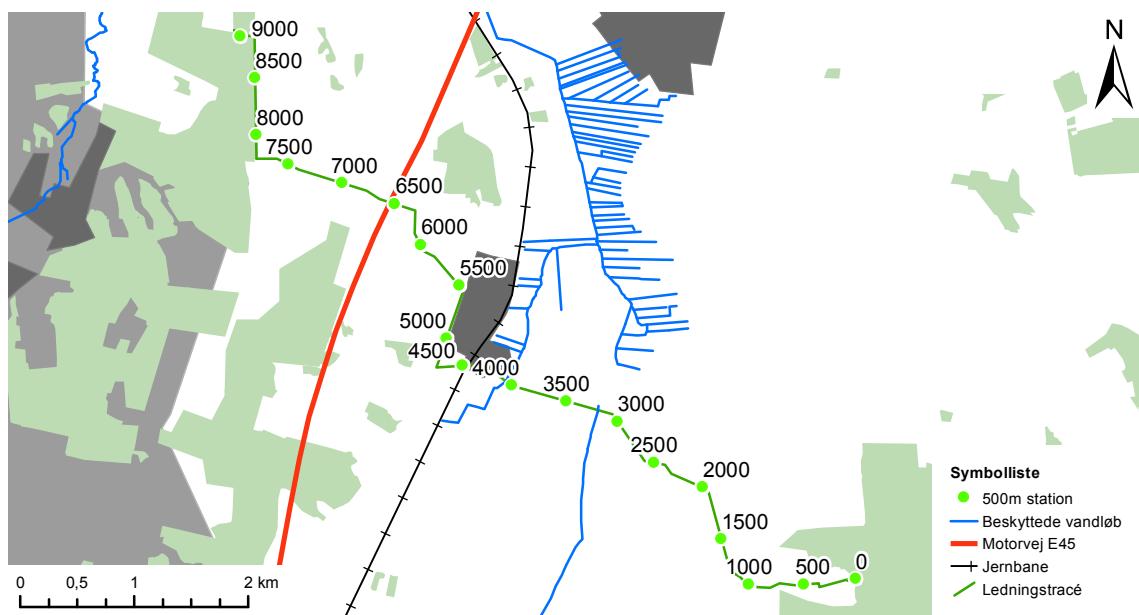
Linjeføringsforslag 1 og 3 på figur 6.3 følger de mest retlinede veje henholdsvis syd og nord omkring Ellidshøj. Forslag 2 krydser den sydlige del af Ellidshøj, men er kortere end både forslag 1 og 3. Linjeføringerne samlede længder fremgår af tabel 6.1. Alle linjeføringer krydser eller går gennem naturbeskyttelse §3 og fredninger af fortidsminder. Store dele af forslag 1 og 2's strækning følger en vej hvoromkring der ligger en fredning af et fortidsminde. Det forudsættes dog, at dette fortidsminde kan dispenseres fra.

Linjeføringsforslag	Længde [km]
1	9,49
2	9,08
3	9,34

Tabel 6.1. Linjeføringers totallængde.

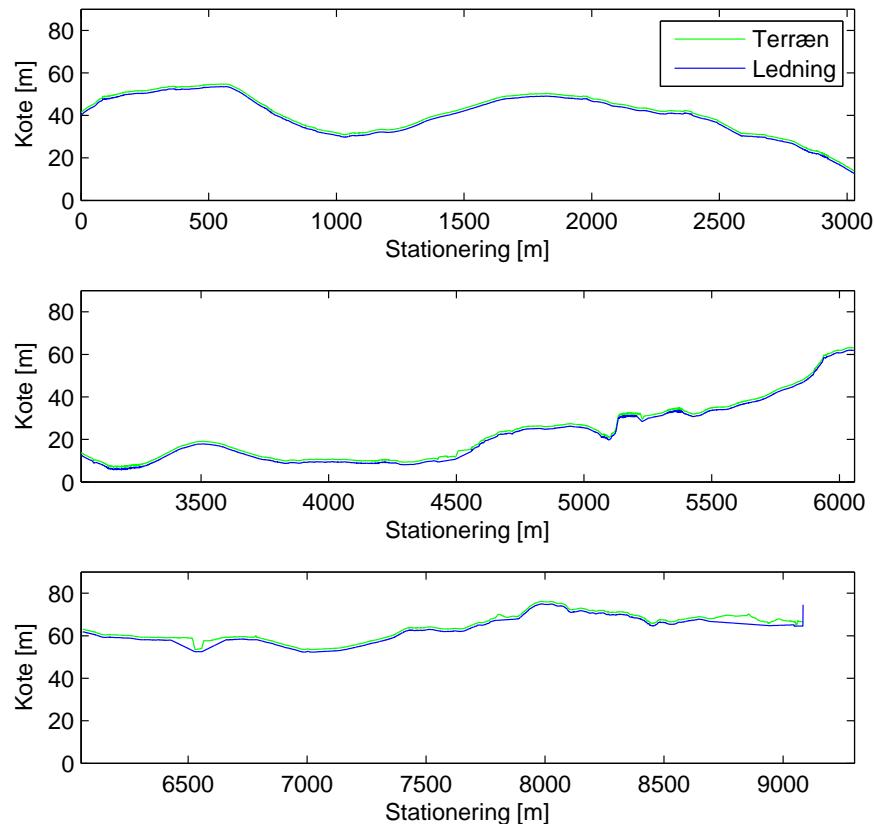
Det ses, at alle forslag krydser henholdsvis motorvejen, jernbanen og minimum ét beskyttet vandløb jvf. figur 6.3. Derfor er der ikke et forslag, som er væsentligt bedre end andre. Dog vælges det at bruge forslag 2, da det vurderes, at den korteste ledning har de laveste drift- og anlægsomkostninger. De lave driftomkostninger tager udgangspunkt i, at en kort ledning har lavere tryktab end en lang ledning. Derudover skal der ved anlæggelsen opgraves mindre og lægges færre rør. Selvom det kun er 0,26 km kortere, så vurderes det at være billigere at grave ind gennem den sydlige del af Ellidshøj, end at lægge 0,26 km ekstra rør.

Forslag 2 ses på figur 6.4 med 500 m stationeringer. Dette for at skabe overblik over, hvorhenne tracéringen krydser henholdsvis motorvejen, jernbanen, fredninger og det beskyttede natur. Ledningen ligges i dybden 1,2 m, da det er frostfri dybde, [Statens Bygeforskningssinstitut, 2014]. Ved krysninger med fx motorvejen stiger dybden, så ledningen kan skydes ind under banen.



Figur 6.4. Udvalgte tracé med stationering pr. 500 m.

Forslag 2's længdeprofil vises på figur 6.5 som delt i tre. Dette øger synligheden af terrænforandringer og tydeliggører ledningens forløb.



Figur 6.5. Længdeprofil for forslag 2.

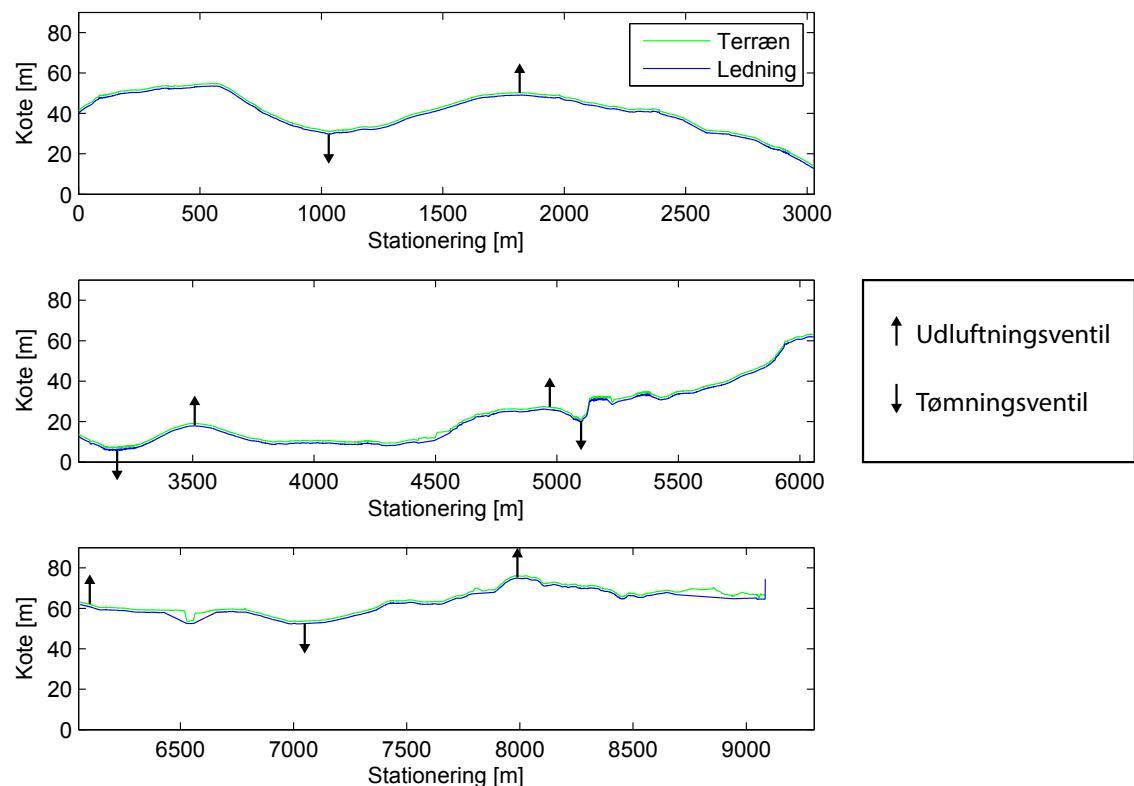
Det ses, at der omkring stationen ved 6500 m er en fordybning i terrænet. Det er her, ledningen krydser motorvejen på figur 6.4, hvorfor det er nødvendigt at grave ledningen dybere ned før krydsningen. Det vurderes, at yderligere nedgravning før krydsningen med det beskyttede vandløb og jernbanen er unødvendigt. Dog er voldsomme terrænændringer undgået for ledningsføringen, hvormed ledningstracéet ligger dybere end de frostfrie 1,2 m på enkelte steder.

Placing af ventiler på ledningen

Det er nødvendigt at placere udluftningsventiler og tømningsventiler på den planlagte ledning.

Udluftningsventilerne placeres på tracéet, for at undgå at luft samler sig i ledningen. Sker dette, kan vandet ikke strømme igennem hele tværsnitsarealet. Dette medfører et energitab, der hæver den nødvendige løftehøjde. Udluftningsventilens opgave er at lukke det luft, der samler sig, ud af ledningen, uden at det medfører vandspild. Udluftningsventilerne placeres i tracéets toppunkter, da det er her, det formodes, at luft vil samle sig.

Ydermere placeres tømningsventiler på tracéet med hensyn til vedligeholde af ledningerne. Ved renovation af et rør ses det at være praktisk, hvis røret bliver tømt for vand inden. Det er derfor tømningsventilens opgave at kunne tømme et specifikt rør for vand. Disse ventiler skal placeres på tracéets lavpunkter. Figur 6.6 viser ventilernes placering.



Figur 6.6. Placing af ventiler på lednings tracé. Udluftningsventiler er markeret med pile, der peger op, og tømningsventiler er markeret med pile, der peger ned.

6.3.2 Pumpedimensionering

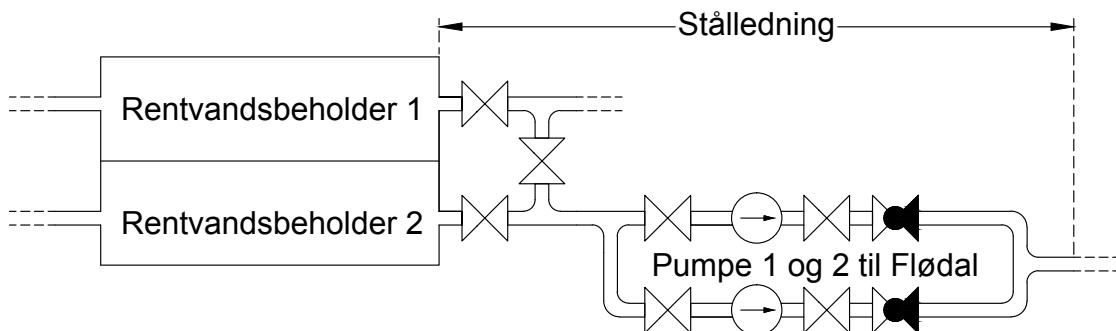
Distributionsledningen til Flødal dimensioneres som en trykledning. Derfor regnes der på tryktabet gennem ledningen for til sidst at kunne vælge en pumpe, som har tilstrækkelig løftehøjde og kapacitet til at transportere drikkevandet fra Volsted Vandværk til højdebeholderen i Flødal. Det samlede tryktab beregnes med følgende formel:

$$H_{AB} = H_{geo} + H_E + H_F \quad (6.8)$$

Hvor:

H_{AB}	Totalt tryktab i ledningen [m]
H_{geo}	Geometrisk løftehøjde [m]
H_E	Enkelttab [m]
H_F	Friktionstab [m]

På vandværket benyttes stålør og i terræn benyttes plastrør. Derfor er det nødvendigt at foretage en tryktabsberegning for henholdsvis ståldelen af ledningen og plastdelen af ledningen. Der vises kun eksempler for plastledningen. Ledningslængden for plastledningen er 9085 m jvf. afsnit 6.3, og længden af stålleddingen på vandværket forudsættes at være 15 m. Stålleddingen går fra rentvandsbeholderen og helt frem til efter kontraventilen. Stålleddingens forløb er fremgår af figur 6.7.



Figur 6.7. Principskitse af stålleddingens forløb fra rentvandsbeholder til afgang fra vandværk.

Materialeparametrene for henholdsvis stålørret og plastrørret, der benyttes, fremgår af tabel 6.2.

Materiale	Type	D_y [m]	e [m]	D_i [m]	k [m]	A [m^2]
Stål	Glat sømløs 245	0,2445	0,0063	0,232	0,0010	0,042
Plast	PE100 PN10	0,2800	0,0165	0,2471	0,0005	0,0479

Tabel 6.2. Materialeparametre for stål- og plastledningen. Henholdsvis jvf. [Larsen, 2000, s. 252] og [Uponor, 2014, s. 385]

Det er valgt at bruge glatte sømløse stålør, da de har den laveste ruhed og dermed medfører det laveste friktionstab i ledningen. For plastdelen af ledningen bruges PE100 PN10, da dette oftest bruges som distributionsrør. PE100 betyder, at røret efter 50 års brug har en brudstyrke på mindst 10 MPa. Derudover betyder PN10 at røret kan holde til vandtryk på 10 bar.

De benyttede diametre for henholdsvis stål- og plastrøret er antagede værdier, da denne justeres efter hvilken hastighed, vandet ønskes at have. Derudover har rørets diameter også stor betydning for tryktabet og dermed også hvad der økonomisk kan betale sig. Såfremt diameteren er lille, bliver vandhastigheden og tryktabet stort, og der skal benyttes en pumpe med stor løftehøjde. Bruges der rør med stor diameter, er tryktabet mindre på ledningen, og der behøves en pumpe med lavere løftehøjde.

Den mest økonomiske strømningshastighed i ledningen er 0,8-1,4 m/s, [Karlby og Sørensen, 2014, s. 705]. Derfor ønskes rør med diameter, der sikrer, at hastigheden ligger inden for dette interval.

Tryktabene, der indgår i formel (6.8), bestemmes.

Geometrisk løftehøjde

Beregning af geometrisk løftehøjde formel (6.9) tager udgangspunkt i tracéringen af ledningen i afsnit 6.3. Alle koter, der er benyttet, er efter DVR90.

$$H_{geo} = \text{makskote} - \text{startkote} \quad (6.9)$$

Hvor:

Makskote	Maksimal kote af trykledningen, DVR90 [m]
Startkote	Starkoten af trykledningen, DVR90 [m]

Den maksimale kote på ledningen ligger i kote 75,0 m, og startkoten for ledningen ligger i kote 40,2 m, hvilket giver en geometrisk løftehøjde på 34,8 m

Enkelttab

På ledningen til Flødal er der indløb, udløb, ventiler, knæk og en pumpe. Summen af disse danner enkelttabene på ledningen:

$$H_E = \sum \left(\zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad (6.10)$$

Hvor:

ζ	Modstandstallet [-]
---------	---------------------

Modstandstallene fremgår af tabel 6.3 og er fra [Karlby og Sørensen, 2014, s. 690].

Element	Modstandtal [-]
Indløb	0,5
Ventil	0,2
90°knæk	0,5
45°knæk	0,43
Udløb	1,1

Tabel 6.3. Modstandtal brugt til beregning af enkelttab.

Strømningshastigheden beregnes med følgende formel:

$$Q = V \cdot A \Leftrightarrow V = \frac{Q}{A} \quad (6.11)$$

Hvor:

Q	Vandføring i ledning [m^3/s]
V	Strømningshastigheden [m/s]
A	Tværsnitsareal af ledning [m^2]

Vandføringen i ledningen beregnes som værende års indvindingen på 1 mio. m^3 minus forbruget i Volsted jvf. afsnit 6.1.

I vandføringen til Flødal tillægges 25 %, så den bliver $0,039 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette gøres som sikkerhed for, at der er forsyningssikkerhed på ledningen ved dage med højere vandforbrug fra beholderen i Flødal. Strømningshastigheden i ledningen beregnes med følgende formel:

$$V = \frac{0,039 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0479 \text{ m}^2} = 0,814 \text{ m/s}$$

Det samlede enkelttab på ledningen regnes med formel (6.10) og er 0,6 m.

Friktionstab

Tryktabet som følge af friktion i ledningen er sammen med den geometriske løftehøjde det, som skaber det største tryktab. Friktionstabet beregnes med følgende formel:

$$H_F = I \cdot L \quad (6.12)$$

Hvor:

I	Tryklinjegradianten [m/m]
L	Længde af ledning [m]

Tryklinjegradianten beregnes med følgende formel:

$$I = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot R} \quad (6.13)$$

Hvor:

f	Friktionstal [–]
V	Vandføringshastighed [m/s]
g	Tyngdeacceleration [m/s^2]
R	Hydraulisk radius [m]

Friktionstallet beregnes med Colebrook og Whites formel:

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = 6,4 - 2,45 \cdot \log \left(\frac{k}{R} + \frac{4,7}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (6.14)$$

Hvor:

k	Åkvivalent sandruhed [m]
R	Hydraulisk radius [m]
Re	Reynolds tal [m]

Hydraulisk radius er forholdet mellem det gennemstrømmede tværsnitsareal og vådperimeteren. Da det er en trykledning, er ledningen fuldtløbende, og hydraulisk radius kan beregnes:

$$R = \frac{D_i}{4} = \frac{0,2471 \text{ m}}{4} = 61,8 \text{ mm} \quad (6.15)$$

Hvor:

D_i	Indre diameter [m]
-------	--------------------

Reynolds tal beregnes med følgende formel, hvor der forudsættes en viskositet på $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ svarende til vand ved 10°C :

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} = \frac{0,814 \text{ m/s} \cdot 61,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 3,9 \cdot 10^4 \quad (6.16)$$

Ruheden for plastrøret er 0,5 mm jvf. tabel 6.2. Det er derfor kun friktionstallet, f , der er ukendt. Dette beregnes vha. iteration, indtil ændringen mellem iterationerne er under $1 \cdot 10^{-6}$. Der fås da et friktionstal på $f = 3,6 \cdot 10^{-3}$.

Energilinjegradianten kan derfor regnes med formel (6.13):

$$I = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot R} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(0,814 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 \cdot 61,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/m} \quad (6.17)$$

Friktionstabet på ledningen bliver da 31,4 m.

Opsamling af tryktab

I tabel 6.4 fremgår alle tryktab for både plastledningen og stålleddningen, samt det samlede tryktab, der benyttes til at dimensionere pumpen til ledningen.

	Stålrør [m]	Plastrør [m]	Σ [m]
H_{geo}	-	-	34,8
H_E	0,2	0,4	0,6
H_F	0,1	31,4	31,5
Σ			66,9

Tabel 6.4. Opsamling af ledningstab fra Volsted Vandværk til Højdebeholder Flødal.

6.3.3 Valg af pumpe

Da den nødvendige løftehøjde er bestemt, findes en pumpe der kan løfte opgaven. Der vælges at arbejde med en grundfos CRE45-2 pumpe. Pumpens hydrauliske kapacitet

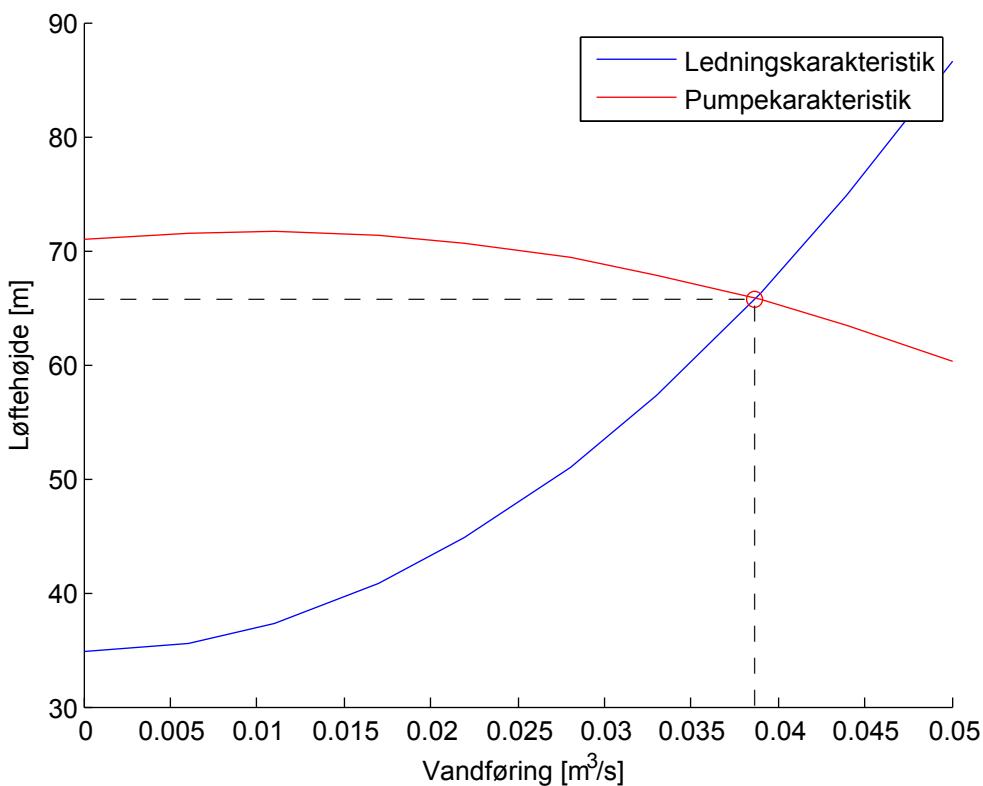
betegnes som pumpens driftspunkt. I dette punkt vil løftehøjden svare til det samlede energitab. Driftpunktet findes ved at optegne pumpe- og ledningskarakteristikken. Pumpekarakteristikken optegnes på baggrund af databladet, der er blevet oplyst af producenten [Grundfos, 2014]. Ledningskarakteristikken tegnes som tab af tryk i ledningen, som funktion af vandføringen:

$$\Delta H = K \cdot Q^2 \quad (6.18)$$

Hvor:

K | Ledningens specifikke modstand

Ledningens specifikke modstand kan også betegnes som tabet af trykniveau igennem rørstrækning og enkelttab, som blev bestemt i afsnit 6.3.2, hvorfor både pumpe- og ledningskarakteristikken kan optegnes.



Figur 6.8. Pumpe- ledningskarakteristik

På figur 6.8 ses det, at driftpunktet ligger ved en løftehøjde på 66,9 m ved en vandføring på $0,039 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.3.4 Trykstød

I tilfælde af strømsvigt eller anden hurtig lukning af ventilerne i systemet kan der forekomme trykstød i ledningen. Dette opstår på grund af ændring af strømningshastigheden i ledningen. Et trykstød kan volde stor skade på ledningen eller pumpesystemet. Det er derfor nødvendigt at undersøge hvilken effekt, trykstødet har.

For at undersøge trykforløbet ved pumpestop, benyttes simuleringsværktøjet WHPS (*Water Hammer at Pump Stop*).

Metoden WHPS, som beregner trykstød, beskrives i det følgende.

Trykændringen ved trykstød kan bestemmes ved brug af Joukowskys formel:

$$\Delta h = \pm \frac{c}{g} \cdot \Delta V \quad (6.19)$$

Hvor:

Δh	Trykændring [mVS]
c	Trykbølgehastighed [m/s]
ΔV	Ændring i hastighed [m/s]

Bølgeforsplantningshastigheden bestemmes ved hjælp af følgende formel:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho \left(1 + \frac{K \cdot D_i}{E \cdot e} \right)}} \quad (6.20)$$

Hvor:

K	Vands kompressibilitetsmodul [Pa]
E	Rørmaterialets elasticitetsmodul [Pa]
D_i	Indre diameter på røret [m]
e	Godstykkelse [m]

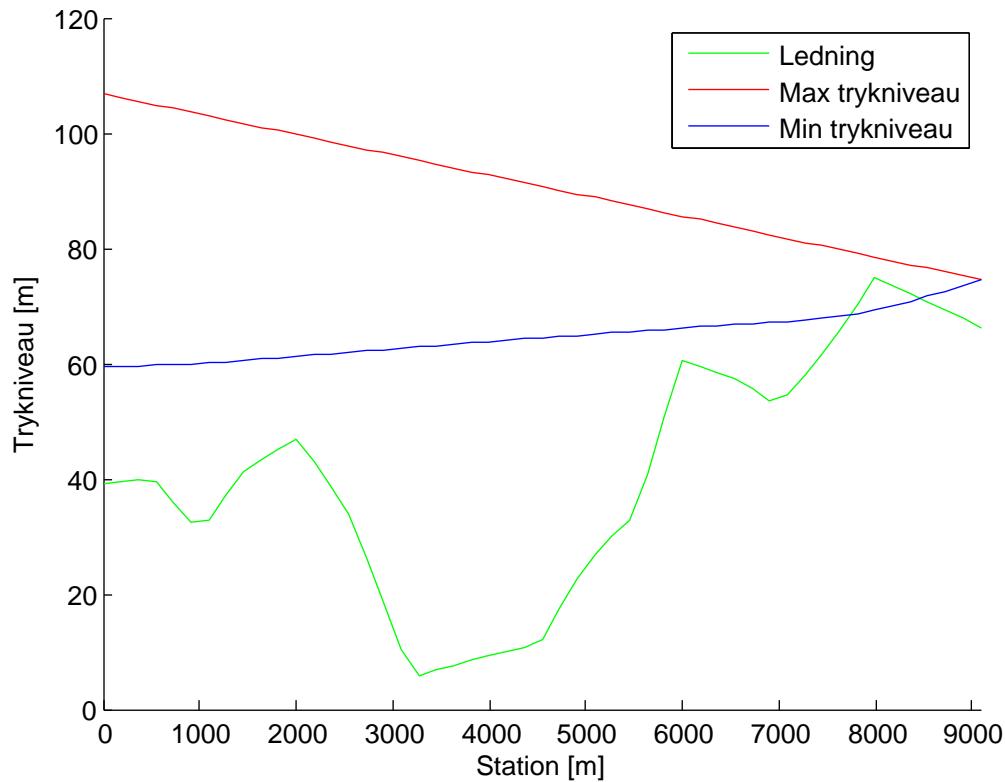
Det antages, at vandet har en temperatur på 10°C, hvilket betyder, at $K = 2,2 \cdot 10^9$ kPa og $\rho = 999,7$ kg/m³. Da røret laves i plast er $E = 10^6$ kPa. Disse værdier indsættes i formel (6.20), og trykbølgehastigheden bestemmes:

$$c = \sqrt{\frac{2,2 \cdot 10^9 \text{ Pa}}{999,7 \text{ kg/m}^3 \left(1 + \frac{2,1 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot 0,25 \text{ m}^2}{10^9 \text{ Pa} \cdot 0,017 \text{ m}} \right)}} = 274 \text{ m/s} \quad (6.21)$$

Resultatet fra (6.21) indsættes nu i formel (6.19). Ændringen af hastigheden ved fuld stop bliver $V_{drift} - 0$.

$$\Delta p = \pm \frac{274 \text{ m/s}}{9,816 \text{ m/s}^2} \cdot 0,81 \text{ m/s} = \pm 22,7 \text{ mVS} \quad (6.22)$$

Med metoden for trykstøds beregning på plads, føres data over i WHPS.



Figur 6.9. Simulering af trykstød ved pumpestop.

Figur 6.9 viser trykforløbet i ledningen langs tracéet. Trykniveauet er angivet som mVS inkl. terrænkote. Dette betyder, at trykniveauet er afstanden fra ledningstracéet, den grønne linje, på figur 6.9 til det totale trykniveau, den røde linje, på figur 6.9.

Det ses jvf. figur 6.9, at der intet sted på tracéet forekommer overtryk, da trykniveauet intet sted kommer over 100 mVS, som er grænsen for et PN10 rør.

Der forekommer dog et undertryk omkring station 7900, på -5 mVS . Det giver ikke anledning til kavitation, da dette først opstår omkring et undertryk på -10 mVS ; fuldkommen vakuum.

6.3.5 Sammenklapning

Ledningen bør undersøges for sammenklapning under tryk. Sammenklapning, også kaldet krybebuckling, er, når undertrykket i røret bliver tilpas stort til at klappe røret sammen. Dimensioneringskriteriet for krybebuckling er følgende:

$$P_{til} \leq P_v \quad (6.23)$$

Hvor:

P_{til}	Regningsmæssig bucklingtryk (styrke) [MPa]
P_v	Undertryk i rørledningen [MPa]

Regningsmæssig bucklingtryk

Det regningsmæssige bucklingtryk regnes. Bucklingtrykket bestemmes vha. følgende formel:

$$P_{kno} = \frac{2 \cdot E \cdot e^3}{D^3} \cdot \left[\frac{100 - \delta}{100 + \delta} \right]^{4,62} \quad (6.24)$$

Hvor:

P_{kno}	Rørets bucklingtryk [MPa]
D	Rørets middeldiameter [mm]
δ	Rørets initialdeformation = [%]
e	Rørets godstykkelse [mm]

Rørets middeldiameter bestemmes ud fra følgende formel:

$$D = \frac{d + d_y}{2} = \frac{280 \text{ mm} + 280 - 16,5 \text{ mm} \cdot 2}{2} = 264 \text{ mm} \quad (6.25)$$

Hvor:

D	Rørets middeldiameter [mm]
d_y	Rørets ydre diameter [mm]

Bucklingtrykket beregnes med formel (6.24), hvor initialdeformationen forudsættes at være 6 %:

$$P_{kno} = \frac{2 \cdot 1000 \text{ MPa} \cdot (16,5 \text{ mm})^2}{(491 \text{ mm})^3} \cdot \left[\frac{100 - 6 \%}{100 + 6 \%} \right]^{4,62} = 282 \text{ kPa} \quad (6.26)$$

Ud fra bucklingtrykket kan det regningsmæssige bucklingtryk beregnes, hvor der inddrages en partialkoefficient:

$$P_{til} = \frac{P_{kno}}{\gamma} \quad (6.27)$$

Hvor:

γ	Partialkoefficient [-]
----------	------------------------

Værdien γ er slået op i [Brorsen og Larsen, 2009]. Det regningsmæssige bucklingtryk regnes derfor:

$$P_{til} = \frac{282 \text{ kPa}}{2} = 141 \text{ kPa} \quad (6.28)$$

Største undertryk i rørledningen

Det største undertryk i rørledningen bestemmes. Idet jorden over rørledningen kan bidrage til trykket, bør dette medtages. Der ses dog bort fra jordtrykket i dette projekt.

Det største undertryk i rørledningen er fundet til at være $\Delta H_{undertryk} = 4,30 \text{ mVs}$. Dimensioneringekriteriet i ligning (6.23) tjekkes:

$$\begin{aligned} P_{til} &\leq P_v \\ 141 \text{ kPa} &\leq 4,30 \text{ mVs} \cdot 997 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,82 \text{ m/s}^2 = 42,1 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (6.29)$$

Som det ses, overholder røret sammenklapningskriteriet.

6.3.6 Kavitation i pumpen

Når vandet føres fra rentvandsbeholderen til pumpen, løber den igennem flere ventiler. Dette betyder, at vandet vil opleve en ændring af tværsnitsareal, da der sker indsnævringer ved ventiler. Derfor oplever vandet en stigning i hastighed og samtidig også et fald i tryk. Hvis dette tryk falder til vandets absolute damptryk, vil vandet begynde at koge. Når vandet tilpasser sig trykket i det forstørrede tværsnit efter ventilen, vil vandet stoppe med at koge, og de bobler, der er blevet dannet, imploderer, hvilket kaldes kavitation. [Karlby og Sørensen, 2014]

Dette kan også ske i selve pumpen, hvorfor det er nødvendigt at bestemme pumpens NPSH (*Net Positiv Suction Head*). NPSH beskriver et forhold, der er nødvendigt, for at undgå kavitation på pumpens sugeside.

I den valgte pumpes datablade er det muligt at finde den NPSH, der er nødvendig for at undgå kavitation. NPSH for den valgte pumpe er 2 mVS [Grundfos, 2014].

Til at bestemme hvor meget NPSH anlægget bidrager med benyttes følgende formel:

$$NPSH_{anlæg} = H_{baro} + H_{geo} + \Delta H_{dyn} - \Delta H_{rør} - H_d \quad (6.30)$$

Hvor:

H_{baro}	Atmosfæretrykket på vandspejlet i rentvandsbeholderen
H_{geo}	Vandspejlets højde over pumpen
ΔH_{dyn}	Vandets kinetiske energi
$\Delta H_{rør}$	Friktionstabet i sugeledningen
H_d	Vandets absolute damptryk ved aktuel temperatur

Alle ovenstående parametre er i mVS.

Da vandspejlet i rentvandsbeholderen antages at være frit, er $H_{baro} 10 \text{ mVS}$. Desuden antages vandspejlet i beholderen at være 5 m over pumpehøjden, hvorfor H_{geo} er 5 mVS.

Vandets kinetiske energi beregnes vha. følgende formel:

$$\Delta H_{dyn} = \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{0,923^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9,816 \text{ m/s}^2} = 0,043 \text{ mVS} \quad (6.31)$$

$\Delta H_{rør}$ er bestemt i afsnit 6.3.2. Stålrorets friktionstab er da 0,09 mVS.

Det absolute damptryk bestemmes ved brug af følgende formel (6.32):

$$H_d = \frac{p_d \cdot 101325}{760 \cdot \rho \cdot g} \quad (6.32)$$

Hvor p_d bestemmes ved brug af følgende empiriske formel:

$$p_d = 4,6 + 0,29 \cdot t + 0,017 \cdot t^2 - 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 6,286 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 \quad (6.33)$$

Tidligere er det antaget, at drikkevandet har en temperatur på 10°C , hvilket indsættes i formel (6.33):

$$\begin{aligned} p_d &= 4,6 + 0,29 \cdot 10^\circ\text{C} + 0,017 \cdot 10^2 \cdot 10^\circ\text{C} - 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 10^\circ\text{C} + 6,286 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 10^\circ\text{C} \\ &= 9,2 \text{ mmHg} \end{aligned} \quad (6.34)$$

Resultatet fra formel (6.34) indsættes i formel (6.32) og det absolute damptryk bestemmes:

$$H_d = \frac{9,2 \text{ mmHg} \cdot 101325}{760 \cdot 999,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,816 \text{ m/s}^2} = 0,125 \text{ mVS} \quad (6.35)$$

Alle parametre, der er nødvendige for at bestemme NPSH, er beregnet og kan indsættes i formel (6.30):

$$\text{NPSH}_{\text{anlæg}} = 10 \text{ mVS} + 5 \text{ mVS} + 0,043 \text{ mVS} - 0,09 \text{ mVS} - 0,125 \text{ mVS} = 14,86 \text{ mVS} \quad (6.36)$$

For at undgå kavitation i pumpen skal følgende ulighed være sand:

$$\text{NPSH}_{\text{anlæg}} > \text{NPSH}_{\text{pumpe}} \quad (6.37)$$

Da $\text{NPSH}_{\text{pumpe}}$ er angivet til 2 mVS , kan kriteriet kontrolleres:

$$14,86 \text{ mVS} > 2 \text{ mVS} \quad (6.38)$$

Det ses ud fra formel (6.38), at anlægget har den nødvendige mængde NPSH, der skal til, for at undgå kavitation i pumpen. Pumpen samt trykledningen overholder derfor alle brudkriterier.

Indsatsplan 7

Indsatsplanen har til formål at sikre et overblik over hvilke tiltag, der skal tages, for at sikre nuværende og fremtidens drikke- og grundvandsressource, så Aalborg Forsyning, Vand A/S fortsat kan opnå deres målsætning om at kunne levere rent og urensset drikkevand til Aalborg Kommune [Aalborg Forsyning, Vand A/S, 2014].

Denne indsatsplan omfatter et indsatsområde med en del i et Område med Særlig Drikkevandsinteresse (OSD) og resten i et Område med Drikkevandsinteresse (OD).

Aalborg Kommune, i form af kommunalbestyrelsen, skal jvf. vandforsyningensloven [Miløministeriet, 2013b, § 13] udarbejde indsatsplanen. Kommunen har jvf. [Miløministeriet, 2013b, § 12] pligt til at oprette et koordinationsforum, bestående af repræsentanter fra vandforsyningerne i kommunen, andre berørte myndigheder, jordbruget, industrien og evt. andre relevante parter i kommunen [Miløministeriet, 2013b].

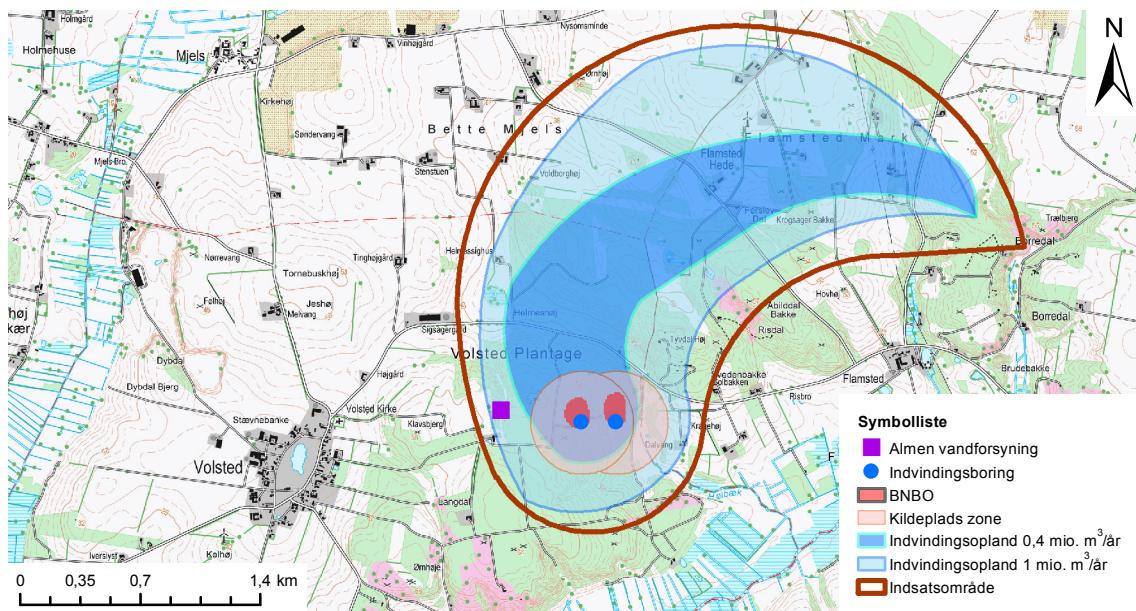
Hvad en indsatsplan som minimum bør indeholde er beskrevet i [Miløministeriet, 2013a] og er som følger:

- *et resumé af den kortlægning, der lægges til grund for indsatsplanen, jf. § 2,*
 - *en angivelse af de områder, hvor en indsats skal gennemføres,*
 - *en angivelse af de foranstaltninger, der skal gennemføres i indsatsområdet, samt retningslinjer for de tilladelser og andre afgørelser, der kan meddeles, og som har betydning for beskyttelsen af vandressourcen,*
 - *en angivelse af i hvilket omfang, der skal gennemføres overvågning, og hvem, der skal gennemføre overvågningen, og*
 - *en detaljeret opgørelse over behovet for beskyttelse.*
- *Stk. 2. En indsatsplan skal ligeledes indeholde en tidsplan for gennemførelsen af den samlede indsatsplan samt indeholde en angivelse af, hvilken tidligere vedtagen indsatsplan som i givet fald skal ophæves. [Miløministeriet, 2013a, §3]*

Indsatsområdet for kildepladsen i Volsted Plantage udlægges, så det indeholder hele indvindingsoplændet. Selve indvindingsoplændet, som er estimeret, er omrent 4 km², og der er to indvindingsboringer i området. Store dele af området er dækket af skov, men her skal veksles imellem naturlig skov og skovbrug. Noget af skovområdet er ejet af Volstedgaard, som benytter omrent 20% af skovområdet til juletræsplantage, [Volstedgaard A/S, 2014]. Denne form for skovbrug kan jvf. afsnit 3.2.2, s. 20 være skadelig for grundvandet, idet der gødskes og bruges pesticider.

Indsatsområdet fremgår af figur 7.1. På grund af indsatsområdets størrelse forventes det ikke, at der udføres indsatser for grundvandsbeskyttelse i hele indsatsområdet. Vandværket i området har jvf. kapitel 4 en indvinding på 400 000 m³/r, men forventes jvf. kapitel 5 at opnå en indivinding på 1 mio. m³/r. Derfor er indsatsområdet optegnet for en indvinding på 1 mio. m³/r, hvorfor indsatserne bør overvejes at udføres først for 400 000 m³/r området

for eventuelt senere at udvide. Beregningen af invindingsoplund kan ses på [Bilags-CD, Indvindingsoplund].



Figur 7.1. Indsatsområdets placering.

For at opnå indsigt i de indsats, der kræves, kortlægges trusler mod grundvandet og problematikker ift. grundvandsbeskyttelse i og omkring indsatsområdet. Dermed opnås også indsigt i, hvor problematikkerne og truslerne er placeret ift. henholdsvis indvinding på $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$ og $1\text{ mio. m}^3/\text{r}$.

7.1 Kortlægning af problematikker

I dette afsnit beskrives hvilke trusler og problematikker, der er med grundvandsressourcen. I løbet af afsnittet behandles følgende:

- Nitratfølsomme områder
- Arealanvendelse, herunder:
 - Jordbrug
 - Husdyrbrug
 - Råstofgrave
- Jordforurening

Kortlægningen har til formål at muliggøre en vurdering af, hvordan indsats skal prioriteres. Dette både ift. placering af truslen i indsatsområdet, og hvor stor risiko, der er ved truslen.

7.1.1 Nitratfølsomme indvindingsområder

For at beskytte grundvandet mod nitratforurening udpeges forskellige områder som værende *nitratfølsomme områder*. Områderne er udpeget i regionsplanen og er områder, hvor der er risiko for nitratforurening eller kan blive det. Områder med særlige drikkevandsinteresser

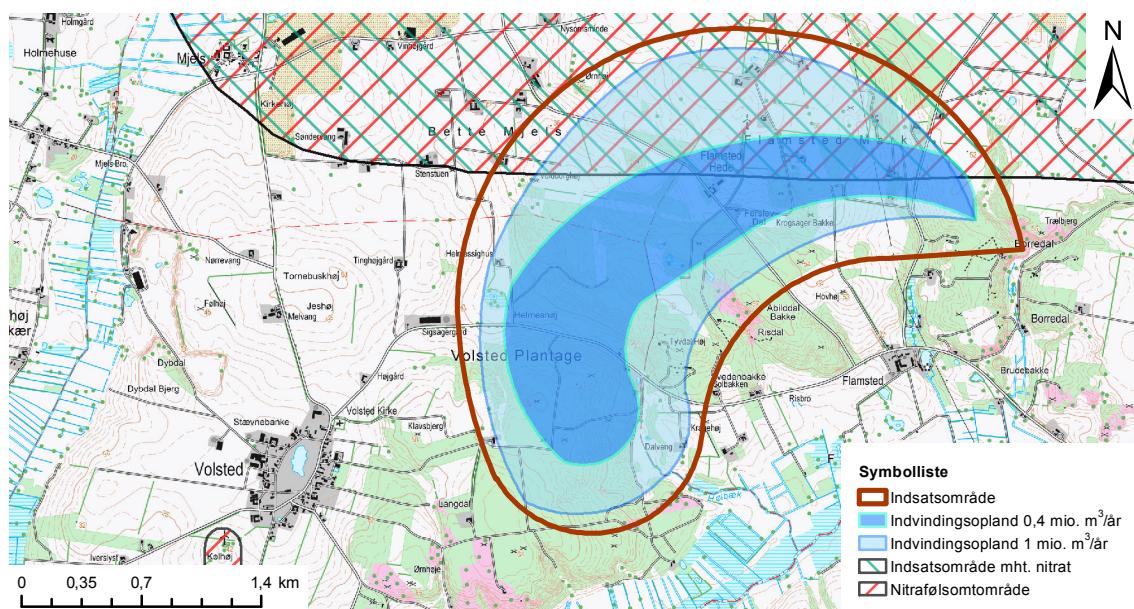
og indvindningsoplante fra almene vandforsyninger, som ligger uden for områder med særlig drikkevandsinteresse, udpeges som nitratfølsomme indvindingsområder. Udpegningen er uafhængig af arealanvendelsen og er derfor baseret på følgende kriterier,[Miljøstyrelsen, 2011]:

- Nitratkoncentrationen er over 25 mg/l i én eller flere indvindingsboringer eller i grundvandsmagasinet.
- Nitratkoncentrationen er over 5 mg/l med stigende tendens over en årrække, i én eller flere indvindingsboringer eller i grundvandsmagasinet.
- Ringe geologisk beskyttelse over for nitrat.

Hvis én eller flere af overstående kriterier er opfyldt, udpeges området som et nitratfølsomt indvindingsområde. Yderligere inddeltes områderne i, hvor stor en sårbarhed området har overfor nitrat. Området kan enten være af lille, nogen eller stor sårbarhed [Miljøstyrelsen, 2005]. Graden af sårbarhed har betydning for, hvor højt et område skal prioriteres, og hvilke indsatser der skal gøres, f.eks. overvåges grundvandskvaliteten i områder med nogen sårbarhed, hvorimod der ikke foretages nogle yderligere indsatser ved lille sårbarhed, da det forventes at grundvandet er tæt på nitratfrit. Det allerede udpegede område, jvf. figur 7.2, er kun defineret som nitratfølsomt indvindingsområde i regionsplanen [Miljøstyrelsen, 2005, Regionplankort 3].

Indvindingsoplante, i områder med stor sårbarhed overfor nitrat og OSD, bliver endvidere udpeget som områder, hvor der skal indføres indsatser mht. nitrat. Det er vurderet at der i disse områder, er arealanvendelse, der udgør en risiko, ift. nitratforurening. [Miljøstyrelsen, 2005]

De to typer områder er vist på figur 7.2 for Volsted Plantage og omkringliggende områder.



Figur 7.2. Nitratfølsomme indvindingsområder [Miljøportalen, 2014]

Det estimerede indvindingsoplant ligger uden for de allerede udpegede områder, og det bør derfor undersøges, om indvindingsoplanten skal udpeges til en af disse eller begge.

De fornævnte kriterier for udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder tjekkes mht. de nyanlagte indvindingsboringer i Volsted Plantage. Jvf. de første to kriterier opstilles en tabel med værdier af nitrat, der forventes at være i indvindingsboringen, se evt. figur 5.1, s. 75.

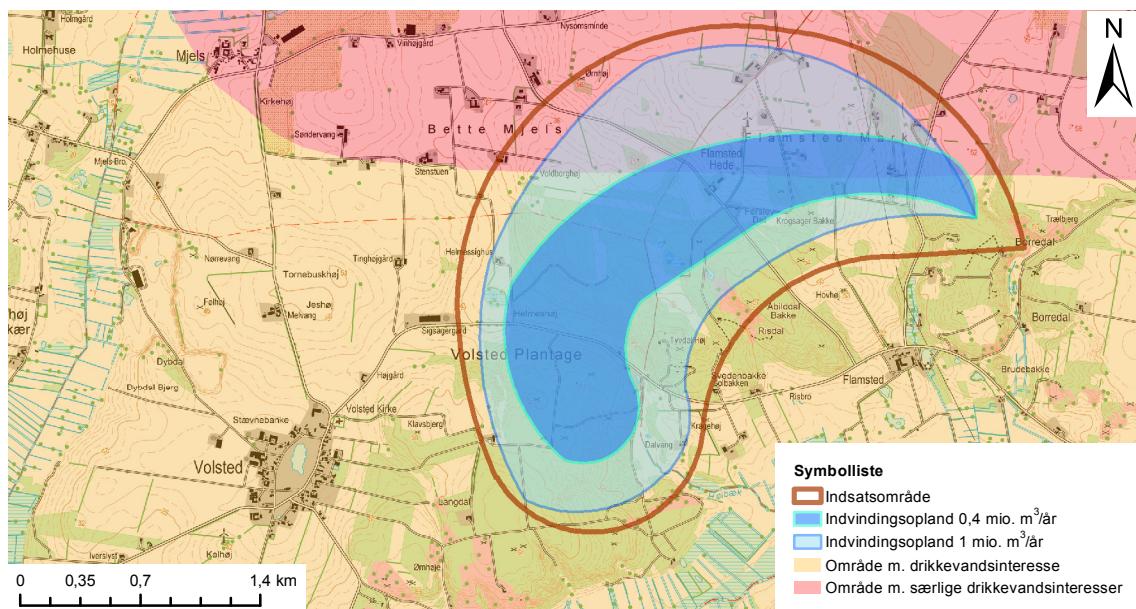
DGU.nr	År	Mængde nitrat [mg/l]
34.3202	2007	9,09
34.3203	2007	2,44
34.3203	2009*	4,61
34.3203	2009*	7,7

Tabel 7.1. Mængde af nitrat i to forskellige borer fra forskellige år. *: Den første måling i 2009 blev lavet den 4. marts og den anden den 19. marts. [GEUS, 2014a]

Ud fra tabel 7.1 ses det, at der ikke forekommer nitratmængder på over 25 mg/l, hvorfor det første kriterium ikke er opfyldt. Andet kriterium vurderes heller ikke opfyldt, da der, pga. mangel af målinger ikke kan dokumenteres, hvorvidt nitratkoncentrationen har en stigende tendens. En undersøgelse af de geologiske forhold viser, at området ses at være ringe beskyttet jvf. 7.2, hvorfor det også antages, at indsatsområdet kan kategoriseres som værende med stor sårbarhed overfor nitrat, og området bør defor også udpeges som indsatsområde mht. nitrat.

7.1.2 Områder med særlig drikkevandsinteresser (OSD)

Miljøministeriet udpeger OSD-områder i hele landet. OSD skal forstås som områder, hvor det kan forventes at indvinde rent og urensset drikkevand på en bæredygtig måde. Figur 7.3 viser, at en del af indsatsområdet ligger indenfor det udpegede OSD område.

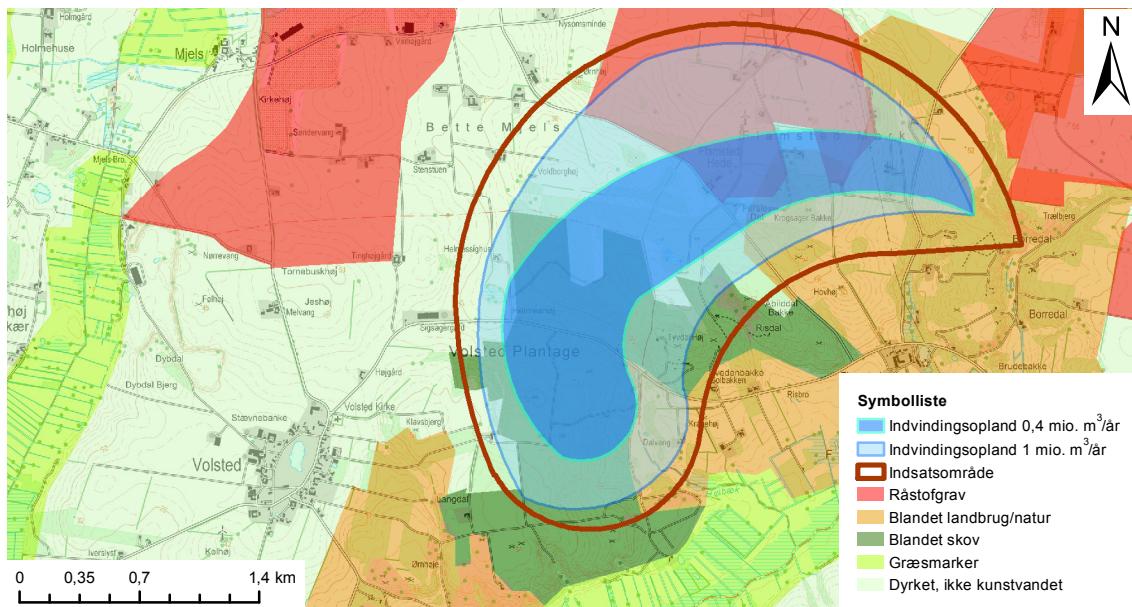


Figur 7.3. Udpegede OSD områder nær Volsted Plantage. Data fra Miljøportalen [2014].

Som nævnt i afsnit 7.1.1 udpeges der områder, der er særligt sårbare overfor nitrat og indsatsområder mht. nitrat, i OSD, hvorfor også en del af indsatsområdet vil været udpeget herefter.

7.1.3 Arealanvendelse

Aktiviteter og arealanvendelsen i området omkring og i indsatsområdet kortlægges, da det giver grundlag for at vurdere hvilke indsatser der bør gøres. På figur 7.4 ses, hvilken arealanvendelse der er i og omkring indsatsområdet. Ud over skov som angivet tidligere findes også landbrug og et råstofgraveområde i indsatsområdet. Problematikken i at have landbrug i indvindingsoplændet er, som nævnt i afsnit 3.2.2, s. 20, at der er øget risiko for nitrat og pesticider i grundvandsressourcen.



Figur 7.4. Arealanvendelsesoversigt, [Geodatabiblioteket, 2014].

Råstofgraveområdet i indsatsområdet er en større trussel, idet råstofgravning kan blotligge grundvandsspejlet og dermed eksponere det overfor forurening. Forurenningen kunne være olie fra gravemaskiner eller luftbårne forurenninger som fx pesticider.

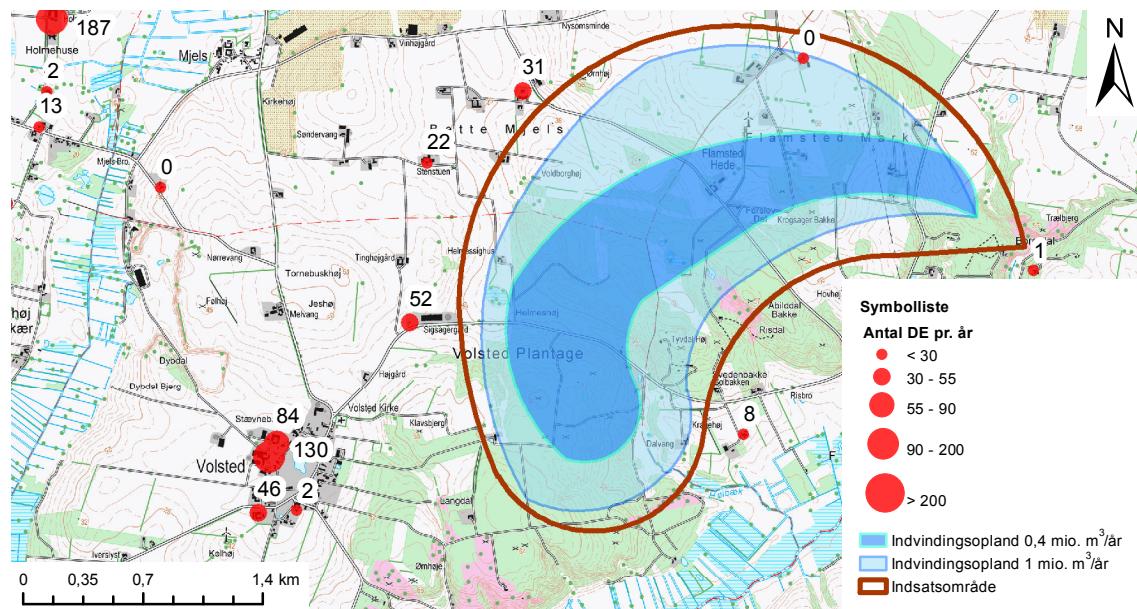
Husdyrbrug

Husdyrbrug af større skala end 3 DE skal jvf. Miløministeriet [2006] anmeldes. Derudover er der reguleringer for, hvor husdyrbrug må placeres, såfremt de er større en 3 DE. Helt præcist må husdyrbrug større end 3 DE ikke placeres inden for 50 m til almene vandforsyningasanlæg. Husdyrbrug giver anledning til opbevaring af husdyrgødning, og skaber en risiko for nitratforurening af grundvandet. Når størrelsen af husdyrbruget vurderes, inddeltes de i tre forskellige kategorier, hvor der ses på størrelsen af besætningen, [Miløministeriet, 2006, §10, §11 og §12]:

- Små, 5-75 DE
- Mellem, 75-250 DE
- Store, over 250 DE

På figur 7.5 ses det, at ingen husdyrbrug større end 3 DE er inden for indsatsområdet. I indsatsområdets nærhed er kun små husdyrbrug, hvorved det vurderes, at husdyrbrug ikke er en nuværende trussel for indvindingsoplændet. Derudover anbefales det, at Aalborg

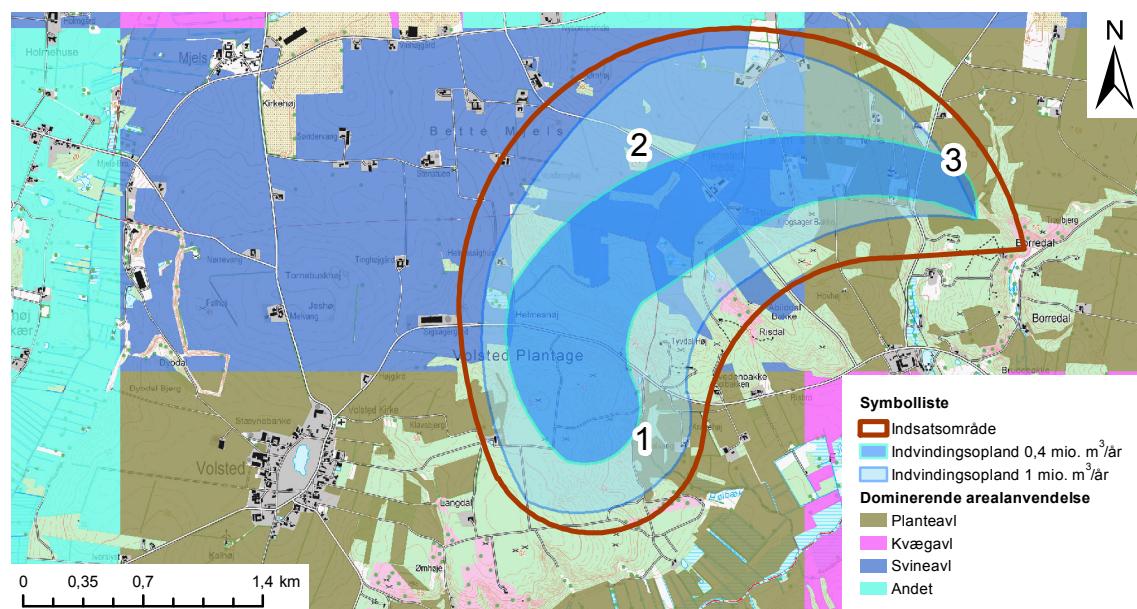
Kommune ikke giver tilladelse til oprettelse eller udvidelse af husdyrbrug indenfor indsatsområdet i fremtiden.



Figur 7.5. Husdyrbrug i omegnen af indsatsområdet, [Naturerhvervstyrelsen, 2009].

Jordbrug

Der vurderes på den dominerende jordbrug jvf. figur 7.6. På figuren er landbrugsarealerne opdelt i 4 km^2 blokke, og det dominerende jordbrug er så den kategori af jordbrug, der benytter det største areal. Når en stor del af indsatsområdet er domineret af svineavl, tages der jvf. figur 7.5 forbehold for, at det er vurderet, at husdyrbrug ikke er en nuværende trussel. Der er dog intet, der indikerer, at planteavlsområdet jvf. figur 7.6 markeret med 1 i den sydlige- og markering 3 i den østlige del af indsatsområdet ikke er problematisk.



Figur 7.6. Dominerende jordbrugsanvendelser i og omkring indsatsområdet, [Naturerhvervstyrelsen, 2009].

Der er tre 4 km^2 blokke i indsatsområdet og for at sikre, at figur 7.6 er retvisende, er den procentmæssige arealanvendelse anført i tabel 7.2.

Blok nr.	1	2	3
Planteavl [%]	43,7	27,2	43,6
Kvægavl [%]	13,2	11,8	15,2
Svineavl [%]	2,6	31,8	10,8
Andet [%]	40,5	29,2	30,4
Σ [%]	100	100	100

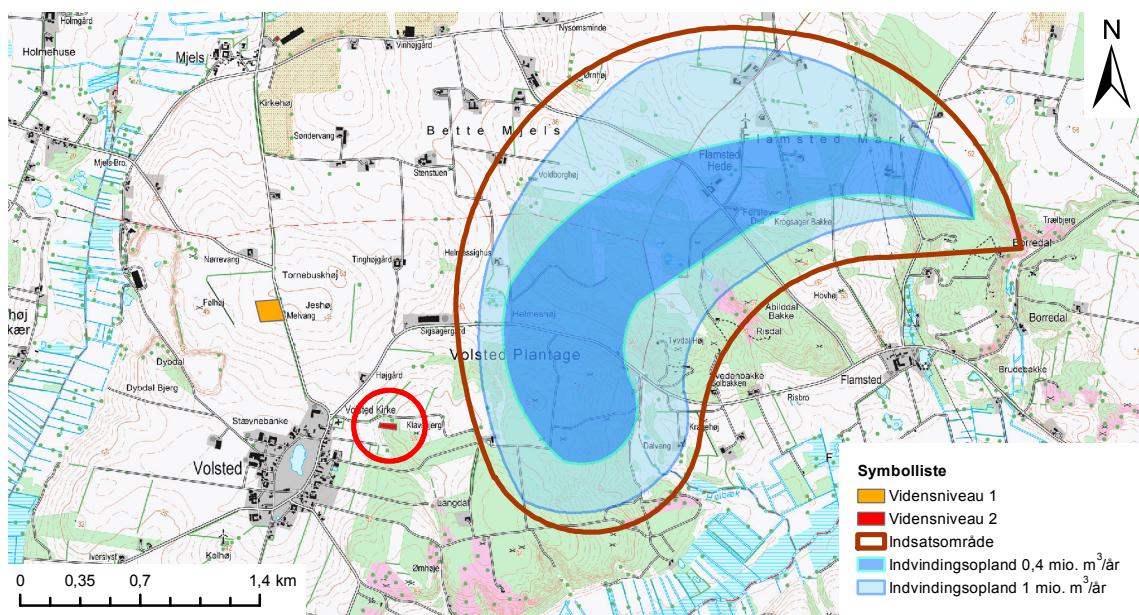
Tabel 7.2. Proncentmæssige arealanvendelser jvf. figur 7.6, [Naturerhvervstyrelsen, 2009].

Det ses i tabel 7.2, at blok 2 er domineret af svineavl, men differencen mellem planteavl og svineavl er lille. Hvilket vil sige, at der i alle tre områder bør gøres indsatser mod planteavlen, så der i disse områder ikke udvaskes for høje koncentrationer af nitrat og pesticider. Mængden af *andet* jordbrug tages ikke i betragtningen, da der ikke findes data for, hvad andet jordbrug er. Men det ses, at mængden af andet jordbrug er en væsentlig del af alle 3 områder, hvorfor dette bør undersøges ved en dybere analyse. Den dybere analyse foretages ikke i dette projekt.

7.1.4 Punktforurening

Idet Volsted Plantage er en skov, indeholder den ikke så mange potentielle punktforureningskilder som kildepladser i landbruget og i byer. Der er ingen boliger i plantagen og derfor ingen olietanke og spildevandsrør. Volsted by er samtidig udenfor indvindingsoplantet, og de enkelte gårde, der ligger indenfor indvindingspotentialet, er langt væk.

Der er dog et lille areal, hvor der angives en jordforurening med vidensniveau 2. Området er en nedlagt losseplads. Det vurderes at jordforurenningen ikke vil påvirke vandindvindingen, grundet dets afstand til indvindingsboringerne, samt at jordforurenningen er udenfor indvindingsoplantet.

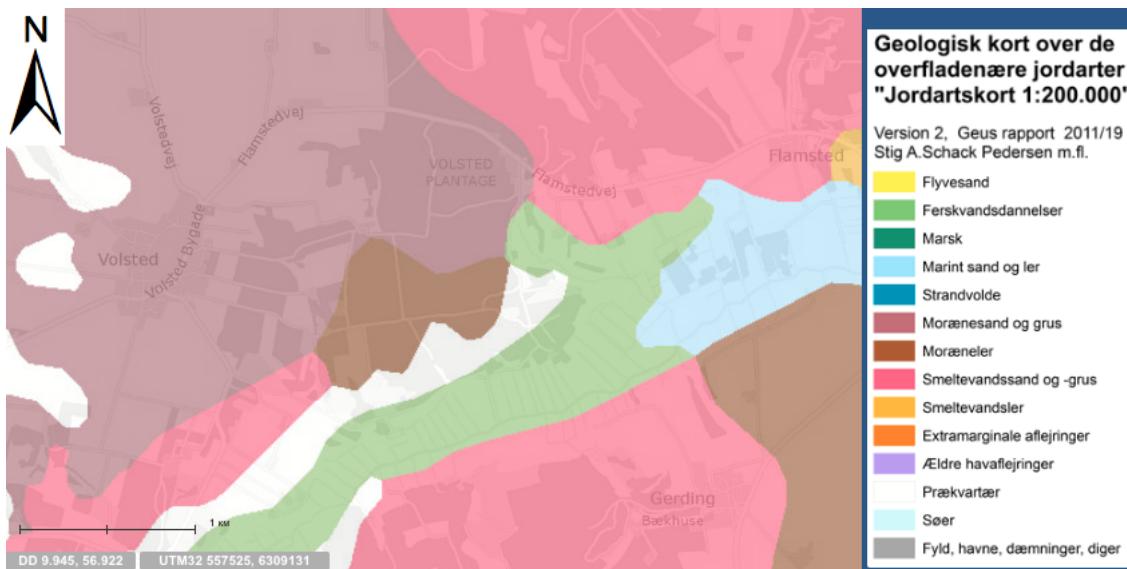


Figur 7.7. Region Nordjyllands kendskab til jordforurening. Jordforurening fra Miljøportalen [2014].

Af andre mulige punktforurenninger kan nævnes gamle og ikke-benyttede borer og brønde. Disse kan være forureningskilder, idet de er direkte i kontakt med grundvandet. Forurening ned i eller i forbindelse med borer og brønde, der ikke benyttes, skal i videst muligt omfang undgås. Gamle og ikke-benyttede borer og brønde er særligt kritiske, da forureningskilder har direkte adgang til grundvandsressourcen og ikke bliver suget op, hvor de opstår, [Miljøministeriet, 2013c, kap. 6]. Det har ikke været muligt at anskaffe data om gamle og ikke-benyttede borer og brønde, hvorfor det anbefales at gøre en indsats for at opspore og sløjfe disse mulige punktforurenninger.

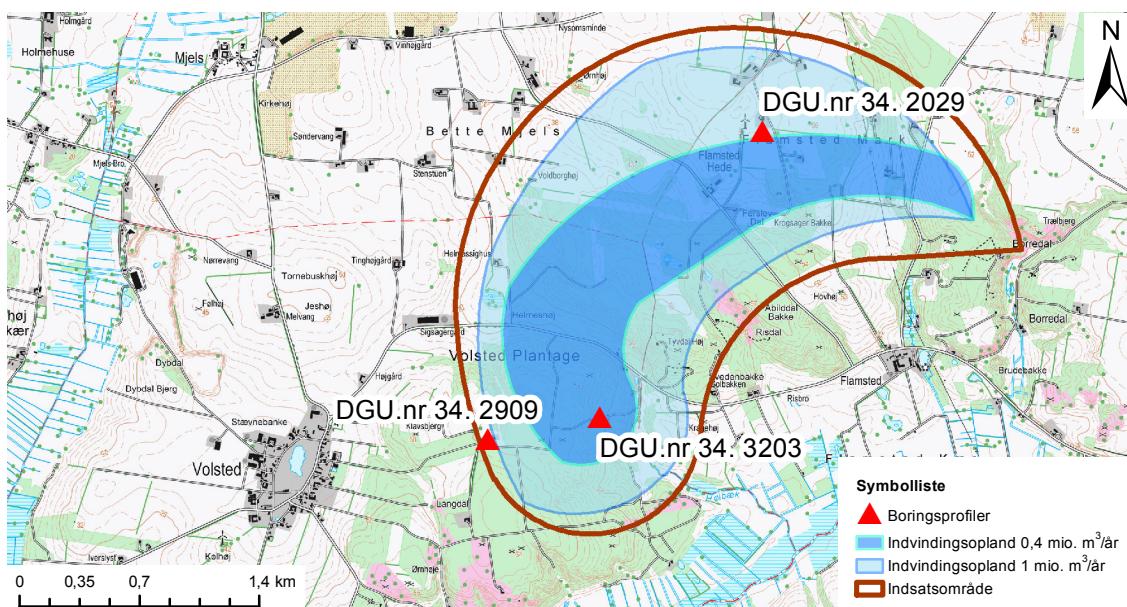
7.2 Geologi

Undergrunden for kildepladsen i Volsted Plantage vurderes med henblik på at kortlægge, hvor godt grundvandsressourcen er beskyttet. Det fremgår af figur 7.8, at der i plantagen oven på kalken hovedsageligt er moræneler, sand og grus aflejringer. Nord for Platagen er et område med smeltevandssand og grus fra den seneste istid.



Figur 7.8. Jordartskort over Volsted Plantage. [GEUS, 2014a, Red.]

Der indvindes fra det øverste magasin jvf. kapitel 4, s. 37. Ved hjælp af geotekniske boringsprofiler på figur 7.9 fra GEUS [2014a], vurderes det, at der er ringe naturlig beskyttelse af grundvandsressourcen.



Figur 7.9. Placering af geotekniske boringsprofiler. [GEUS, 2014a]

Ringé naturlig beskyttelse er karakteriseret ved mindre end 5-10 m ler imellem grundvandsmagasinet og jordoverfladen, [Miljøstyrelsen, 1995, s. 20]. God naturlig beskyttelse af grundvandsressourcen opnås ved lerlag over 30 m jvf. [Miljøstyrelsen, 1995, s. 20]. Boringsprofilerne til denne vurdering findes på [Bilags-CD, Boreprofiler]. I indsatserne skal der således tages i betragtning, at enhver forurening vil have indvirkning på grundvandskvaliteten.

7.3 Målsætning

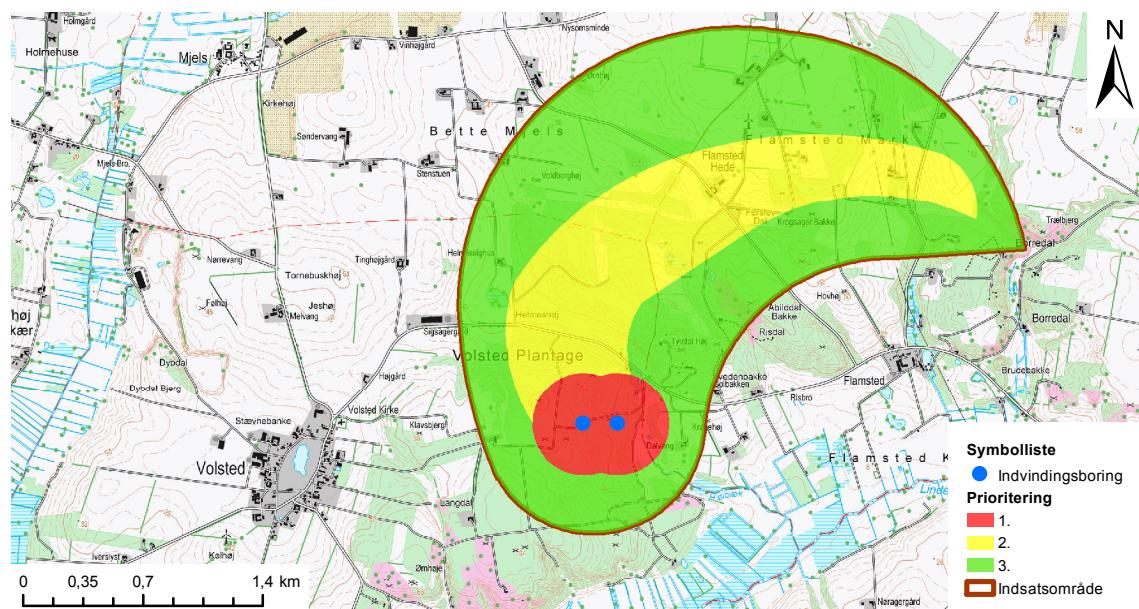
Med indsatsområdet og de tilhørende trusler kortlagt, skal det klargøres, hvilke indsatser, der skal udføres for at sikre grundvandsressourcen og drikkevandskvaliteten. Da det er Aalborg Kommunes plan at kunne levere rent og urensset drikkevand på en bæredygtig måde, er målsætningen i indsatsområdet som følger:

- Beskytte grundvandsressourcen i hele indsatsområdet nu og i fremtiden.
- Beskytte grundvandsressourcen i BNBO og kildepladszoner mod forurening, herunder nitrat og pesticider.
- Sikre bæredygtig indvindingsmængde, således at indvindingen ikke forringer natur og grundvandskvalitet.
- Undgå forhøjede nitrat- og pesticidkoncentrationer ved stor udvaskelse i indsatsområdet.

Yderligere fremgår det af [Aalborg Kommune, 2013a], at nitratkoncentrationen i kildepladszonen og BNBO ikke må overstige 25 mg/l.

7.3.1 Indsatser

For at nå målene for indsatsområdet prioriteres mindre delområder, efter hvor det er mest nødvendigt at udføre indsatser, og hvor indsaterne bør udføres først. På figur 7.10 ses prioriteringen af indsatsområdet, hvortil der i det følgende bliver beskrevet prioriteringen.



Figur 7.10. Prioritering af indsatsområder.

1. Prioritet

Området er bestemt ud fra BNBO-arealet og de tilhørende kildepladszoner. Her vurderes det, at eventuelle forureningskilder eller andre trusler er så tæt på indvindingsboringen, at de skal prioriteres højest. Følgende indsater vurderes at være nødvendige for at kunne nå de før opstillede mål:

- Udpegelse af beskyttelsesområde i kildepladszonen jvf. §22 i Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].
- Aftaler mht. landbrug ift. fritholdelse af miljøfremmed stoffer igennem Lov om Vandforsyning §13d [Miljøministeriet, 2013b] eller restriktioner gennem §24 og 26a i Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].
- Skovrejsning, gennem information af støtte til skovrejsning jvf. Skovloven eller gennem Lov om Landbrugsejendomme §23 [Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2010].
- Fastholdelse af skovarealer igennem Aalborg Kommuneplan, kommuneplanramme 7.9.N1 [Aalborg Kommune, 2014] og Skovloven §3 nr. 3 [Naturstyrelsen, 2013].
- Ingen erhvervsudvikling, der kan true grundvandskvaliteten. Skal gennemføres igennem kommuneplanlægningen [Aalborg Kommune, 2014].
- Handlingsplan for vandværket mht. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg [Miljøministeriet, 2014].
- Opsporing af ubenyttede brønde og sløjfning efter Bekendtgørelse om udførelse og sløfning af borer og brønde på land [Miljøministeriet, 2013c].

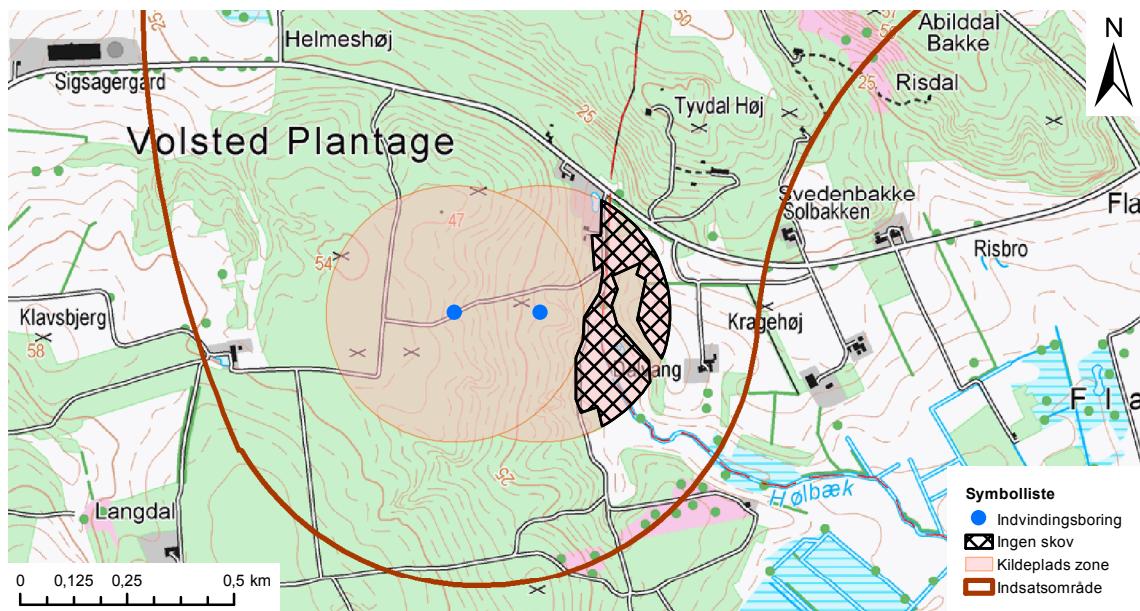
Hvorledes hver indsats udføres samt hvilke retningslinjer, der ligger til grund, beskrives i det følgende.

Indsatser i 1. prioritet område

Kildepladszonen udpeges som et beskyttelsesområde jvf. Lov om Miljøbeskyttelse §22 [Miljøministeriet, 2010]. Inden for dette område er udledning af spildevand til undergrunden og andre forhold beskrevet i, Lov om Miljøbeskyttelse §19 [Miljøministeriet, 2010] forbudt efter udløbet af en fastsat frist. Denne udpegnings sker efter, der er givet tilladelse til indvinding jvf. Lov om Vandforsyning §20 [Miljøministeriet, 2013b].

I kildepladszonen og BNBO ønskes det at fritholde disse arealer for miljøfremmede stoffer. Det ses jvf. figur 7.4, at der er *blandet natur og landbrug*, hvor der er risiko for brug af miljøfremmede stoffer. Derfor bør der indgås frivillige aftaler med lodsejere angående brugen af gødning og/eller pesticider jvf. Lov om Vandforsyning §13d [Miljøministeriet, 2013b]. Her kan der ligeledes indgås aftaler om salg af en del eller hele det pågældende areal. Er dette ikke muligt, kan der jvf. Lov om Miljøbeskyttelse §24 og §26a [Miljøministeriet, 2010] pålægges rådighedsindskrænkninger mod fuld erstatning.

En aftale med de berørte lodsejere kunne f.eks. være angående skovrejsning i området. På figur 7.11 ses kildepladszonen, hvori der ønskes fredsskov. Det skraverede areal er ikke beplantet og her ønskes det så vidt muligt, at rejse skov. Det er muligt for private at få tilskud til skovrejsning jvf. Bekendtgørelse om tilskud til privat skovrejsning [Naturstyrelsen, 2012]. Skulle det ikke ende med en frivillig aftale, kan kommunen som fornævnt købe arealet og derfra rejse skov. Når der rejses offentlig skov, bliver dette automatisk fredskov, jvf. Skovloven §3 nr.3 [Naturstyrelsen, 2013]. Da det resterende beplantede areal i kildezonen allerede er fredskov, er et ikke nødvendigt med en indsats her ift. fastholdelse af skovareal, [Geodatastyrelsen, 2014, Aalborg Kommune, Volsted by, Volsted; Matr. 11g].



Figur 7.11. Område hvor i kildepladszonen, hvor skovrejsning kunne være en mulighed.

Igennem kommuneplanlægningen skal det sikres, at der ikke opføres erhverv, der påvirker området negativt. Erhverv, der forventes at påvirke negativt, er f.eks. konventionelt landbrug, som forventes at bruge skadelig mængde nitrat og pesticider.

Handlingsplanen for vandværket skal omfatte en overvågning af drikkevandets kvalitet inde på vandværket og i indvindingsboringen, jvf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningssanlæg [Miljøministeriet, 2014], samt hvor ofte dette skal gøres jvf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningssanlæg bilag 10 [Miljøministeriet, 2014].

Igennem en kampagne ønskes det at opspore, kortlægge og evt. sløjfe ubenyttede borer og brønde i området, med hjemmel i Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land [Miljøministeriet, 2013c].

2. Prioritet og 3. prioritet

Indsatserne beskrevet i dette afsnit gælder både for 2. og 3. prioritet. Forskellen mellem disse er, at 2. prioriteten gælder for det indvindingsoplund, hvor der indvindes 0,4 mio. m^3/r . Det vurderes, at dette opland skal prioriteres højere end selve indsatsområdet, da der med god sikkerhed kan indvindes 0,4 mio. m^3/r jvf. kapitel 4, s. 37. Resten af indsatsområdet er prioriteret lavere, da dette er optegnet med ekstra sikkerhed efter et indvindingsoplund på 1 mio. m^3/r . Det er ikke dokumenteret, hvorvidt der kan indvindes så meget vand, hvilket er forklaringen på den lavere prioritering. Det er dog vurderet, at der skal laves samme indsats i begge områder, men af vekslende grad. Hvilke indsatser, der udføres i prioriteringsområde 2 og 3, er følgende:

- Infokampagne til alle berørte parter angående brug af gødning og pesticider for at opnå frivillige aftaler jvf. Lov om Vandforsyning §13d [Miljøministeriet, 2013b].
- Reducere risiko for udsivning af spildevand fra private kloakker til grundvandet gennem frivillige aftaler jvf. Lov om Vandforsyning §13d [Miljøministeriet, 2013b].

- Overvågning af grundvandskvalitet jvf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningssanlæg [Miljøministeriet, 2014].
- Øget tilsyn med landbrug i form af flere ikke planlagte tilsyn [Aalborg Kommune, 2013b].
- Overvågning af kildeflow samt grundvandssænkning i rigkær/Natura2000 for ikke at være i modstrid imod overstående vandplaner, jvf. Planloven §11 [Miljøministeriet, 2013b].
- Udlæggelse af nitratfølsomme områder og områder med særlige drikkevandsinteresser i regionplanen [Miljøstyrelsen, 2005].
- Ændring af vilkår i gravetilladelse for råstofgraveområde gennem regionsplanen [Miljøstyrelsen, 2005].

Indsatser i 2. og 3. prioritet

Da der i både indvindingsoplantet og indsatsområdet er landbrug, ønskes det at informere de berørte lodsejere om, hvordan brugen af pesticider og gødning påvirker grundvandskvaliteten. Igennem denne informationskampagne kan der således indgås frivillige aftaler, jvf. Lov om Vandforsyning §13d [Miljøministeriet, 2013b]. Da disse områder er af lavere prioritet, ønskes det ikke, at der skal indføres rådighedsindskrænkning jvf. Lov om Miljøbeskyttelse §24 og 26a [Miljøministeriet, 2010].

Det er nødvendigt at overvåge grundvandskvaliteten regelmæssigt, så drikkevandet overholder Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningssanlæg. Da der kun søges at indgå frivillige aftaler med berørte lodsejere i disse prioritetsområder, ses det nødvendigt med øget tilsynsfrekvens i landbruget. Dette muliggøres ved at lave en tilsynskampagne for området. Dette vil betyde, at der vil forekomme flere ikke-planlagte tilsyn i området [Aalborg Kommune, 2013b]. Samtidig overvåges indvindingens påvirkning på det omkringliggende beskyttede natur og Natura2000-område, da denne indsatsplan ikke må være i strid med de overordnede vandplaner, jvf. Planloven §11 [Miljøministeriet, 2013b].

I afsnittet omkring nitratfølsomme indvindingsområder, afsnit 7.1.1, konkluderes det, at indsatsområdet ses værende af stor sårbarhed overfor nitrat, og at en indsats er nødvendig. Derfor bør området udlægges som et nitratfølsomt indvindingsområde. Samtidig skal området også udpeges som et indsatsområde mht. nitrat. Dette er regionens opgave [Miljøstyrelsen, 2005].

Råstofindvindingen i indsatsområdet jvf. figur 7.4 ligger inden for indvindingoplantet for både 0,4 mio. m³/r og 1 mio. m³/r og er derfor en del af både 2. og 3. prioritering. Råstof-interesseområderne er udpeget på regionsplan, hvorimod gravetilladelser gives på kommunalt plan. Derfor bør der i gravetilladelsen for råstofgraveområdet, der ligger i indsatsområdet, indgå vilkår for grundvandsbeskyttelse. Vilkårene skal være gældende både for driftsituationen og efterbehandlingen af graveområdet [Miljøstyrelsen, 2005, kapitel 5]. Kommunen skal efterstræbe ikke at efterlade frit grundvandsspejl i efterbehandlingen, da en sådan grundvandssø vil gøre grundvandet frit tilgængeligt for forurening. Ved fornyelse af gravetilladelsen skal det overvejes, hvorvidt arealet, der omfatter råstofgravene, ikke påvirker indvindingen negativt. Dette sikres ved at indføre nogle vilkår for området, som fx tilplantning af skov [Miljøstyrelsen, 2005].

7.4 Handlingsplan

Med de nødvendige indsatser og prioriteringer klarlagt fremstilles en handlingsplan. Handlingsplanen præsenterer, hvilke myndigheder, der er ansvarlige for at udføre indsaterne, samt hvilken tidshorisont, der kan forventes. Tidsplanen ses i tabel 7.3. Det vurderes, at følgende myndigheder skal inddrages i indsatsplanen:

- Aalborg Kommune (AK)
- Aalborg Forsyning, Vand A/S (AFV)
- Region Nordjylland (RN)

Aalborg Kommune er valgt som myndighed, da det jvf. [Miløministeriet, 2013b,§ 13c] er kommunebestyrelsens pligt at gennemføre indsatsplanen. Aalborg Forsyning, Vand A/S er myndighed ved opførelse af vandværk og overvågning af bl.a. vandkvalitet. Region Nordjylland udpeger nye nitratfølsomme områder samt udlægger råstofinteresseområder.

Indsats	Ansvar	Tidshorisont
Etablering af ny kildeplads i Volsted Plantage.	AFV	2015 - 2017
Handlingsplan for vandværket.	AFV	2015 - 2017
Udpegelse af BNBO og kildepladszone igennem Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].	AFV	2015
Udpegelse af beskyttelsesområder i kildepladszone igennem Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].	AK	2015
Frivillige aftaler eller rådighedsindskränkelse inden for prioritet 1 igennem Lov om Vandforsyning [Miljøministeriet, 2013b] og/eller Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].	AK	2015
Frivillige aftaler eller rådighedsindskränkelse inden for prioritet 2 og 3 igennem Lov om Vandforsyning [Miljøministeriet, 2013b] og/eller Lov om Miljøbeskyttelse [Miljøministeriet, 2010].	AK	2016 →
Begrænse erhvervsudvikling i Aalborg Kommuneplan.	AK	2015 →
Fastholdelse af skovareal og evt. skovrejsning i prioritet 1. Skovloven [Naturstyrelsen, 2013].	AK	2015 - 2017
Information til alle berørte lodsejere for at begrænse mængden af nitrat og pesticideudvaskning.	AK	2015 → 1 gang pr. år
Overvågning af grundvandskvalitet jvf. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg [Miljøministeriet, 2014].	AFV	2015 → 1/4 gang pr. år
Udlæggelse af Nitratfølsomt område og OSD.	RN	2015 - 2018
Overvågning af kildeflow samt grundvandssækning i rigkær/Natura2000.	RN	2015 → 1 gang pr. år.
Reducere risiko for udsivning af spildevand fra private kloakker til grundvandet.	AK	2015 →
Ændring af vilkår i gravetilladelse for råstofgraveområde.	RN/AK	2015 →
Øget tilsyn med landbrug, gennem en kampagne [Aalborg Kommune, 2013b].	AK	2015 →
Kampagne for at opspore ubenyttede brønde og boringe.	AK	2015 →

Tabel 7.3. Samlet handlingsplan for indsatsplanen.

Det ses i kolonnen med tidshorisont jvf. tabel 7.3, at alle indsatser starter i 2015. Dette velvidende, at nogle indsatser jvf. figur 7.10 er prioriteret højere end andre. Ved de frivillige aftaler er der afsat et år til indgåelse af aftaler i området med 1. prioritet, hvorefter der ingås aftaler i områderne med 2. og 3. prioritet efterfølgende. Nogle af indsatserne udføres løbende fra 2015 og har således ingen deadline, hvormed de løbende reguleres, så indsatserne passer til behovet for beskyttelse og overvågning af grundvandskvaliteten.

Del III

Konklusion og Perspektivering

Konklusion 8

De lukkede kildepladser i Aalborg Kommune erstattes med nye kildepladser i den sydlige del af projektområdet. Den mest hensigtsmæssige placering af nye kildepladser er i Sønderholm Plantage, vurderet iht. Aalborg Kommunes målsætninger samt gældende lovgivning. Her er der udført en kortlægningsproces samt vurdering af denne jvf. kapitel 3, s. 13. Det vurderes samtidigt, at det også er muligt at etablere nye kildepladser i Volsted Plantage, hvorfor der er udført en kildepladsundersøgelse samt forslag til vandværk og vandforsyning for dette.

På baggrund af kildepladsundersøgelsen er det vurderet, at en indvinding på $400\,000\text{ m}^3/\text{r}$ ikke har væsentlig påvirkning på naturområder og åløb samt ikke modstrider vandplan for Limfjord-distriktet, Natura2000 og §3-naturbeskyttelse i området.

Forslaget til vandværk og vandforsyning er dimensioneret således, at det har en kapacitet på $1\,000\,000\text{ m}^3/\text{r}$, så der er mulighed for udvidelse af vandindvindingsmængden. Samtidig er grundvandskemien af en sådan kvalitet, at der ikke er behov for videregående behandling, hvorfor vandværket benytter normalbehandling.

Kildepladsen er samtidig sikret mod yderligere forurening gennem en indsatsplan, så den kan forsyne Aalborg Kommune med rent drikkevand i fremtiden.

Der konkluderes på de nævnte mindre problemstillinger.

Det er vurderet, at arealanvendelsen har størst indflydelse på valg af kildepladslokalitet i Aalborg Kommune. I en stor del af projektområdet er der ikke udfordringer med grundvandskemien. Der er samtidig større dele af kommunen, hvor der ikke er tilstrækkelig datagrundlag til at vurdere kvaliteten af grundvandsressourcen. Det er også konkludert på baggrund af kommunens tidlige erfaringer, at forureningen af grundvandsressourcen kan udvikle sig i fremtiden. Denne udvikling sker ikke på samme vis i skovarealer, idet der er væsentligt mindre brug af gødning, pesticider og ukrudtsbekämpelse.

Angående indvinding af grundvand i byområder ses det ikke at være hensigtsmæssigt. Byområder har en reduceret grundvandsdannelse som følge af befæstelse. Samtidig er der øget forurening på ubefæstede arealer som følge af ukrudtsbekämpelse og saltning. Det er dog lettere at regulere byzoner, hvorfor det er muligt at indvinde efter væsentlige restriktioner.

Under dokumentationen af en kildeplads' påvirkning på naturområder og åløb er det konkludert, at usikkerheden som følge af tidsperioden for udførelsen af datagrundlaget ikke har væsentlig indflydelse. Usikkerheden medfører væsentlige ændringer af vandføring i kilderne, men ændringen i reduktionen i kildernes ydelse er mindre, hvorfor usikkerheden ikke er kritisk for en kildeplads' indflydelse på det fornævnte.

Det vurderes derfor også, at den stationære, to-dimensionelle grundvandsmodel er tilstrækkelig til at simulere kildepladsens indflydelse på åløb. Modellen vurderes ikke at

være tilstrækkelig til at simulere indflydelsen på naturområderne i den sydlige del af Volsted Plantage, grundet det lavpermeable lag under områderne. Der er derfor behov for en tre-dimensionel grundvandsmodel for at dokumentere kildepladsens påvirkning på de grundvandsfølsomme naturområder.

Det er vurderet, at den nye kildeplads i Volsted Plantage er sikret mod de udfordringer, som har medført, at de tidligere kildepladser er lukket. Grundvandsressourcen i Volsted Plantage er af god kvalitet og nødvendiggører ikke videregående behandling. Kildepladsen er også placeret i en skov, hvorfor der ikke forventes udvikling i nitrat- og pesticidkoncentrationer som følge af mere landbrugsintensitet. Samtidig er der udviklet en indsatsplan, som beskytter kildepladsen mod yderligere forureningstrusler. Derfor findes det usandsynligt, at der bliver problemer med grundvandskvaliteten i fremtiden.

Perspektivering 9

Inden projektering af en kildeplads i Volsted Plantage kan starte, er der en række analyser, som bør udføres. Dette beskrives i det følgende.

I sammenhæng med den overordnede screening af Aalborg Kommune er der en række elementer, som ikke er kortlagt jvf. afsnit 3.2, s. 15. Det vurderes, at planerne for fremtidig udvikling og arealanvendelse i projektområdet er af høj betydning for etablering af nye kilderpladser. Det er især uhensigtsmæssigt at placere en forureningsfølsom kildeplads således, at kildepladsens indvindingsoplund dækker landbrug, hvor der er planer om udvikling i intensitet.

Der bør udføres en tre-dimensionel grundvandsmodel for at analysere en kildeplads' påvirkning på de grundvandsafhængige naturområder i den sydlige del af området. Der bør samtidig undersøges de beskyttede naturtyper og arters trivsels afhængighed af grundvandsstanden for at vurdere, hvilken sænkning af grundvandsstand, der er tilladelig.

I grundvandsmodellens datagrundlag og opsætning er der en række elementer, som medfører store usikkerheder på modellens resultater og bør derfor forbedres. Især har modellens afgrænsning stor betydning. Der bør derfor foretages en større model, evt. afgrænset af åløb og Limfjorden. Alternativt kan der udføres en mindre grundvandsmodel, som anvender større tilgængelige grundvandsmodeller som datagrundlag.

Jævnført afsnit 4.4, s. 64 har usikkerheden på vandstanden i åløbene og kilderne samt trykkoten i pejlingerne en væsentlig indflydelse på modellens resultater. Der bør derfor dannes en grundvandsmodel, hvor datagrundlaget ikke spænder over flere sæsoner. Vandstanden i kilderne og åløbene bør derfor måles, og der bør udføres trykkotepejlinger; så vidt muligt indenfor én sommerperiode. Der er andre elementer, der også kan forbedres i grundvandsmodellen, men vurderes ikke at have stor indflydelse på modellens resultater.

Der bør udføres en fuld VVM-redegørelse og habitatkonsekvensvurdering for kildepladsen, vandværket og forsyningsledningerne, hvor deres indflydelse på naturen undersøges fuldendt. Hårdheden af råvandet bør undersøges, med henblik på at redegøre, hvorvidt blødgøring er nødvendig.

I forbindelse med dimensioneringen af Volsted Vandværk jvf. kapitel 5 på side 75, er det kun undersøgt hvilke behov der er mht. vandrensningen. Men ved iltningen af råvandet behøves også god udluftning af rummet, hvori iltningstrappen er placeret. Her kunne undersøges, hvad udluftningsbehovet er for at fasthold maksimal iltning af råvandet på iltningstrappen.

Ved dimensionering af trykledningen og driften af vandværket er der ikke taget i betragtning, hvordan anlægs- og driftomkostningerne ændres, når der ændres på dimensioner af rør, størrelse af pumpe og hvordan pumpedriften foregår. Der kan opstilles 3-4 forskellige driftsituationer af driftstiden på vandværket med forskellige pumpe og rørdimensioner, hvorved den mest økonomiske drift kan sammenlignes med

anlægsomkostninger efter en levetid på fx 50 år.

Ved distribution af drikkevand til henholdsvis Volsted by og højdebeholderen i Flødal jvf. kapitel 6 er der ikke vurderet, hvilken mikrobiel vækst, der forekommer inde i ledningerne. Specielt i ledningsnettet til Volsted by, hvor der ikke er tilnærmedsesvis konstant forbrug, kan opholdstiden i ledningerne blive så høj, at mikrobiel- og bakterievækst finder sted.

Indsatsplanens effekt bør undersøges i forhold til målsætningen. Det bør tjekkes, hvorvidt de valgte indsatser er blevet gennemført i området. Sluttligt ses det relevant at vurdere det grundlag, indsatsplanen er besluttet på, dvs. hvilken indflydelse ændringen af lovgivning eller arealanvendelse eksempelvis vil have på indsatsplanen. Ydermere bør der laves en estimering af omkostningerne ved indsatsplanen. Hvorefter det er muligt at vurdere om indsatserne økonomisk hænger sammen med hvad der er ønsket i målsætningen vha. afvejningsprincippet.

Det ses yderligere relevant at undersøge dybere, hvor lang tid hver indsats vil tage at gennemføre for at kunne producere en mere detaljeret tidsplan.

Da der befinner sig råstofgrave nær indsatsområdet, vil en undersøgelse af denne påvirkning være relevant. Hvorledes en råstofgrav påvirker en vandindvinding mht. grundvandskvaliteten i form af blotlæggelse af grundvandsspejl og dermed yderligere risiko for forurening.

Som følge af en grundvandsmodel med større afgrænsning vil det være muligt at fastlægge kildepladsens indvindingsoplade. Dette vil endvidere medføre en bedre kortlægning af indsatsområdet. Sammen med dette vil en grundigere kortlægning af grundvandstruslerne, samt bedre kendskab til de geologiske forhold, også være medvirkende til en mere fyldestgørende indsatsplan.

Litteratur

- Aalborg Forsyning, Vand A/S, 2014.** Aalborg Forsyning, Vand A/S. *Nye kildepladser*, 2014. URL <http://www aalborgforsyning.dk/vand/om-vand-as/nye-kildepladser.aspx>.
- Aalborg Kommune, 2014.** Aalborg Kommune. *Kommuneplan*, 2014. URL <http://www aalborgkommuneplan.dk>.
- Aalborg Kommune, 2013a.** Aalborg Kommune. *Vandforsyningsplan 2013-2024 for Aalborg Kommune*, 2013. URL http://www.forsyningaalborg.dk/media/234133/vandforsyningsplan_2013-2024_-_vedtaget_plan.pdf.
- Aalborg Kommune, 2013b.** Aalborg Kommune. *Tilsyn på miljøområdet*, 2013. URL <http://www aalborg.dk/business/miljoe-og-energi/tilsyn-paa-miljoeomraadet>.
- Aalborg Kommune, 2011.** Aalborg Kommune. *Endelig tilladelse til Aalborg Forsyning, Vand A/S til indvinding af 350.000 m³ vand pr. år fra Nibe Kildeplads - samt afgørelse om ikke VVM-pligt*, 2011. URL <http://referater aalborgkommune.dk/Pdf.aspx?pdfnavn=17111765.PDF&type=bilag&id=11051>.
- Bilags-CD.** Bilags-CD. *CD med bilag til denne rapport. Vedlagt*.
- Brorsen og Larsen, 2009.** Michael Brorsen og Torben Larsen. *Lærebog i Hydraulik*. Aalborg Universitetsforlag, 2009.
- Byrapporten - byer under 200 indbyggere, 2004.** Byrapporten - byer under 200 indbyggere. *Vandforbrug og Forbrugsvariation*, 2004. URL <http://www.byplanlab.dk/plan09/www.plan09.dk/NR/rdonlyres/257E603B-340F-42A3-8EBE-71DCB5ACD77F/0/Bykatalogunder200indbnov.pdf>.
- Dansk Standard, 1988.** Dansk Standard. *Almene vandforsyningsanlæg*. ISBN: 87-571-1134-0, 2. Danish Standards Foundation, 1988.
- Dawei Han, 2010.** Dawei Han. *Concise Hydrology*, 2010.
- DMI, 1997.** DMI. *Observed Precipitation in Denmark, 1961-90*, 1997. URL http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/1997/tr97-8.pdf.
- DMI, 2001.** DMI. *Sammenligning af potentiel fordampning beregnet ud fra Makkinks formel og den modificerede Penman formel*, 2001. URL http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2001/tr01-19.pdf.
- DONG Energy, 2010.** DONG Energy. *Typisk vandforbrug*, 2010. URL <http://www.dongenergy.dk/privat/energitips/tjekditforbrug/gennemsnitsforbrug/vandforbrug/Pages/typiskvandforbrug.aspx>.
- Environmental Science Division, n.d.** Environmental Science Division. *Total Porosity*, n.d. URL <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/porosity.htm>.
- European Commission, 2009.** European Commission. *Natura 2000 - Europe's nature for you*, 2009.
- Geodatabiblioteket, 2014.** Geodatabiblioteket. *AAUs server med geodatabiblioteket*, 2014.
- Geodatastyrelsen, 2014.** Geodatastyrelsen. *Find et sted*, 2014. URL <http://kmswww3.kms.dk/kortpaanettet/findmatrikel.htm>.
- GEUS, 2014a.** GEUS. *Boringsdatabasen*, 2014. URL <http://data.geus.dk/geusmap/>.
- GEUS, 2014b.** GEUS. *Jupiter-databasen, XL-format*, 2014. URL <http://data.geus.dk/JupiterWWW/downloadpcjupiter.jsp?xl=1>.
- GEUS, 2010.** GEUS. *Viden om grundvand*, 2010. URL http://www.geus.dk/DK/popular-geology/edu/viden_om/grundvand/Sider/vogv-dk.aspx.

Grundfos, 2013. Grundfos. *Datablad for CME5-5 A-R-A-E-AQQE*, 2013. URL www.grundfos.dk.

Grundfos, 2014. Grundfos. *96941380 Hydro MPC-E 5 CRE45-2 50 Hz*, 2014.

Johansen et al., 2011. Ole Munch Johansen, Morten Lauge Pedersen og Jacob Birk Jensen. *Effekts of groundwater abstraction on fen ecosystems*, 2011. URL
http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2001/tr01-19.pdf.

Karlby og Sørensen, 2014. Henning Karlby og Inga Sørensen. *Vandforsyning*. ISBN: 978-87-571-2799-7, 3. udgave. Nyt Teknisk Forlag, 2014.

Larsen, 2000. Torben Larsen. *Pumpe Ståbi*. ISBN: 87-571-2296-2, 3. Ingeniøren, 2000.

Miljøministeriet, 2007. Miljøministeriet. *Vejledning nr 2. 2007 - Boringsnære beskyttelsesområder - BNBO*, 2007. URL <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2007/978-87-7052-458-2/pdf/978-87-7052-458-2.pdf>.

Miljøministeriet, 2010. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse af lov om miljøbeskyttelse*, 2010. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=132218>.

Miljøministeriet, 2013a. Miljøministeriet. *Naturbeskyttelsesloven*, 2013. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=155609>.

Miljøministeriet, 2013b. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse af lov om planlægning*, 2013. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=144425>.

Miljøministeriet, 2013c. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land*, 2013. URL <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=151892>.

Miljøministeriet, 2014. Miljøministeriet. *Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg*, 2014. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=160400&exp=1>.

Miljøportal, 2014. Miljøportal. *Jordforurening*, 2014. URL
<http://arealinformation.miljoeportal.dk/distribution/>.

Miljøstyrelsen, 2003. Miljøstyrelsen. *Grundlæggende grundvandskemi, tabel 2*, 2003. URL
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2004/87-7614-087-3/html/kap02.htm>.

Miljøstyrelsen, 2011. Miljøstyrelsen. *Nitrat-Grundvand-Vurdering*, 2011. URL
<http://www2.mst.dk/Wiki/Husdyrvejledning.Nitrat-Grundvand-Vurdering.ashx>.

Miljøstyrelsen, 2005. Miljøstyrelsen. *Regionplan 2005, Nordjylland*, 2005. URL <http://naturstyrelsen.dk/planlaegning/landsplanlaegning/regionplan-2005/nordjyllands-amt/>.

Miljøstyrelsen, 1995. Miljøstyrelsen. *Klassificering af grundvandsressource*, 1995. URL
<http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1995/87-7810-389-4/pdf/87-7810-389-4.pdf>.

Miljøstyrelsen, 1995. Miljøstyrelsen. *Udpegnings af områder med særlige drikkevandsinteresser*. ISBN:87-7810-406-8, 4. Miljø- og Energiministeriet, 1995.

Miløministeriet, 2006. Miløministeriet. *Lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug*, 2006. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=13068>.

Miløministeriet, 2013a. Miløministeriet. *Bekendtgørelse om indsatsplaner*, 2013. URL
<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=139378>.

Miløministeriet, 2013b. Miløministeriet. *Bekendtgørelse af lov om vandforsyning m.v.*, 2013. URL
<https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=145854>.

- Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, 2010.** Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. *Bekendtgørelse af lov om landbrugsejendomme*, 2010. URL <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=131989>.
- Naturerhvervstyrelsen, 2009.** Naturerhvervstyrelsen. *Lokalisering af husdyrhold 2009*, 2009. URL http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Kort_Markblokke/Jordbrugsanalyser_metadata/Metadata-Placing_af_Husdyr.pdf.
- Naturstyrelsen, 2014a.** Naturstyrelsen. *Beskyttede arter og naturtyper*, 2014. URL <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/natura-2000/natura-2000-omraaderne/beskyttede-arter-og-naturtyper/>.
- Naturstyrelsen, 2014b.** Naturstyrelsen. *Fredninger*, 2014. URL <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/fredninger/>.
- Naturstyrelsen, 2014c.** Naturstyrelsen. *Beskyttelse af §3-natur*, 2014. URL <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/beskyttede-naturtyper-\T1\textsection-3/beskyttelse-af-\T1\textsection-3-naturtyper/>.
- Naturstyrelsen, 2014d.** Naturstyrelsen. *Ramsar-konventionen*, 2014. URL <http://naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/international-naturbeskyttelse/ramsar-konventionen/>.
- Naturstyrelsen, 2014e.** Naturstyrelsen. *Vandløbsloven*, 2014. URL <http://naturstyrelsen.dk/lovstof/lovomraader/vandloebssloven/>.
- Naturstyrelsen, 2013.** Naturstyrelsen. *Bekendtgørelse af lov om skove*, 2013. URL <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=143280>.
- Naturstyrelsen, 2012.** Naturstyrelsen. *Bekendtgørelse om tilskud til privat skovrejsning*, 2012. URL <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=141586>.
- Naturstyrelsen, 2011, rev. 2014.** Naturstyrelsen. *Vandplan 1.2 Limfjorden*, 2011, rev. 2014. URL http://naturstyrelsen.dk/media/nst/12501344/1.2_limfjorden__med_forseite.pdf.
- Nordjyllands Amt, 2006.** Nordjyllands Amt. *Afstrømningsmålinger*, 2006. URL <http://www.water.civil.aau.dk/gw/exercises/Afstromningsmaalinger2005.pdf>.
- Roszman, 2000.** Lewis A. Roszman. *EPANET 2 USERS MANUAL*. EPA/600/R-00/057, -. Water Supply and Water Resources Division, 2000.
- Skov- og Naturstyrelsen, 2014.** Skov- og Naturstyrelsen. *Skovene kan beskytte grundvandet*, 2014. URL <http://www2.sns.dk/udgivelser/2003/nyeskove/html/kap04.htm>.
- Statens Byggeforskningsinstitut, 2014.** Statens Byggeforskningsinstitut. *Bygningsreglement 2010*, 2014.
- Teknik- og Miljøforvaltningen Aalborg Kommune, 2012.** Teknik- og Miljøforvaltningen Aalborg Kommune. *Lundby Bakker og Lundby Krat*, 2012.
- Uponor, 2014.** Uponor. *Uponor Trykkrørssystemer*, 2014.
- Volstedgaard A/S, 2014.** Volstedgaard A/S. *Volsted Plantage*, 2014. URL <http://www.volstedgaard.dk/default.asp?PageID=86>.

Del IV

Appendiks

Flow-chart over grundvandsmodel A

Bilags-CD

B

Liste over alle filer, der findes på bilags-CD og deres formål. Alle Python-koder (.py) kræver ArcPY med Geoprocessing Tools x64 samt en Python-distribution. Der anbefales Entrought Cantropy.

- Grundvandsmodellering
 - Flowchart: Flowchart over fremgangsmåden bag grundvandsmodellen
 - ◊ **Flowchart.pdf**
 - Kote for mergellag: Boringslogs for tre borer, hvor kote for start af mergellag tydeligt kan aflæses
 - ◊ **34. 2698.pdf**
 - ◊ **34. 2850.pdf**
 - ◊ **34. 2851.pdf**
 - Pumpeforsøg: Data og kode brugt til at bestemme transmissiviteten for Volsted Plantage
 - ◊ **Kode.m** - Kode, der beregner transmissivitet; bruger data fra de to excel-ark
 - ◊ **Volsted_B1_2.xlsx** - Excel-ark over sækningerne for B1-boring
 - ◊ **Volsted_B4.xlsx** - Excel-ark over sækningerne for B4-boring
 - GRV-Modelkode - For at køre koderne skal “Shapefiler” udpakkes i mappen
 - ◊ **MatlabModelKode.m** - Danner grundvandsmodel ud fra valgte kalibrede parametre, beregner RMS og flow i kilder
 - ◊ **BNBO.m** - Beregner BNBO-areal
 - ◊ **PythonModelKode.py** - Danner grundvandsmodel, hvor vandstand i Lindenborg Å og hydraulisk ledningsevne kalibreres/varieres, hvorefter RMS og flow i kilder beregnes
 - ◊ **UsikkerhedPejlinger.py** - Samme som “PythonModelKode.py”, hvor den her indsætter usikkerhed på pejlinger udenfor Volsted Plantage, vandstand i kilder og åløb
 - ◊ **Shapefiler.rar** - Arkiv over alle shape-filer benyttet i fornævnte koder; bør udpakkes i mappen, før kørsel
 - ◊ **Grid.rar** - Shape-fil af det benyttede grid; ikke nødvendigt at udpakke
- Vandrensning
 - Grundvandskemiske analyser: Grundvandskemiske analyser anvendt som grundlag for behov for vandrensning
 - ◊ **34. 3202.pdf**
 - ◊ **34. 3203.pdf**

- Vandforsyning
 - Datablade
 - ◊ **PE-rør.pdf** - Datablad for PE-rør
 - ◊ **Pumpe Hydro MPC-E 5 CRE45-2.pdf** - Datablad for anvendt pumpe
 - Epanet-model
 - ◊ **Volstedby_epanet.NET** - Projekt-fil for EPANET; skal åbnes med EPANET-program
 - Trykstød WHPS
 - ◊ **Hovedledning_volsted_floodal.whs** - Projektfil for analyse af trykstød; skal åbnes med WHPS-program
- Indsatsplan
 - Indvindingsoplund
 - ◊ **Indvindingsoplund400K.m** - Beregner dimensioner af indvindingsoplund ved indvinding på 400 000 m³/r
 - ◊ **Indvindingsoplund1000K.m** - Beregner dimensioner af indvindingsoplund ved indvinding på 1 000 000 m³/r
 - Boreprofiler: Profiler af jordlagene i boringer, som tydeligt viser er der ikke er konsistent lerlag
 - ◊ **34. 2909.pdf**
 - ◊ **34. 2029.pdf**
 - ◊ **34. 3203.pdf**

Den fulde rapport findes på Bilags-CD.