TREFOR

DYNAMISK GRUNDVANDSMODEL FOR VEJLE NORD OG HEDENSTED

MODELRAPPORT

COWI

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

TREFOR

DYNAMISK GRUNDVANDSMODEL FOR VEJLE NORD OG HEDENSTED

MODELRAPPORT

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A110091	A110091-003-003

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
1.0	25-09-2019	Rapport	LOAA, MJLO	ANRE	UVA

INDHOLD

1	Sammenfatning	7
2	Indledning	9
3	Dataindsamling og behandling	10
3.1	Vandløb og vandføringsmålinger	10
3.2	Pejledata	11
3.3	Indvindingsdata	12
3.4	Klimadata	14
4	Modelopsætning	17
4.1	Modelområde og diskretisering	18
4.2	Arealanvendelse	18
4.3	Overfladisk afstrømning	19
4.4	Vandløb og vandløbsoplande	19
4.5	Den umættede zone	20
4.6	Den mættede zone	21
4.7	Partikelbaneberegninger	23
5	Modelkalibrering	24
5.1	Pejledata	24
5.2	Vandføringsdata	27
5.3	Indvindingsdata	28
5.4	Vandbalance	28
6	Modelscenarier	30
6.1	Basisscenariet	30
6.2	Scenarie 1	33
6.3	Scenarie 2	35
6.4	Scenarie 3	36
6.5	Scenarie 4	37

6.6 Scenarie 5 37
6.7 Scenarie uden indvinding 38
6.8 Påvirkning af terrænnært grundvand og vandløb 39
6.9 Sammenfatning af scenarier 42

7 Referencer 44

BILAG

Bilag A Udvalgte pejleboringer

Bilag B Udvalgte eksempler på kalibrering af vandføringen

Bilag C Afsænkning scenarie 1-5, øvre sand

Bilag D Afsænkning scenarie 1-5, nedre sand

Bilag E Afsænkning scenarie 1-5, terrænnært grundvand

Bilag F Indvindingsoplande basis + scenarie 1-5

1 Sammenfatning

Rambølls stationære model for Hedensted er konverteret til en dynamisk MIKE SHE model med klimadata for perioden 1990-2017 – begge år inklusive.

Modellen er udvidet til også at indeholde vandløb, så vandudvekslingen mellem vandløb og grundvand kan undersøges. Vandløbsmodellen er fra den seneste udgave af DK-modellen (2014), og desuden suppleret med ekstra vandløb nord for Vejle Fjord og ved Horsens.

Modellen er kalibreret mht. vandløbsparametre, mens grundvandsparametrene ikke er re-kalibreret, idet parametrene i Rambølls stationære grundvandsmodel anses for at være optimeret tilfredsstillende. Test af kalibreringen af grundvandsstanden i pejleboringer svarer ifølge GEUS's vejledning til modelkalibrering samlet set til en screeningsmodel ift. middelfejl og en detailmodel ift. RMS/Sobs. Det er imidlertid enkelte pejleboringer, der samtidig er indvindingsboringer, der trækker det samlede resultat ned, så samlet set vurderes modellen at være tilfredsstillende kalibreret mht. grundvand. Kalibreringen af vandføringen svarer til en overslagsmodel eller detailmodel for fire ud af de 11 målestationer i området, mens seks stationer har en større vandbalancefejl end en screeningsmodel. Det skal dog bemærkes, at kun to målestationers opland er 100% indeholdt i modelområdet, mens resten af stationernes oplande er delvist beliggende uden for modelområdet. Det gør det vanskeligt at opnå en tilfredsstillende kalibrering. På trods af det, vurderes det alligevel at modellen er egnet til at vurdere vandløbspåvirkningen samt forskelle ved de forskellige indvindingsscenarier.

Der er efterfølgende udført en basissimulering af den nuværende middelindvinding for perioden 2011-2016, der er sammenlignet med fem forskellige forslag til en fremtidig indvinding på TREFOR's kildepladser Lysholt, Bredal, Solekær og Hedensted. I alt undersøges effekten af en udvidelse af indvindingen fra de nuværende ca. 2,18 mio. m³/år for TREFOR's kildepladser til en fremtidig indvinding på 3,3 mio. m³/år. Den samlede tilladte indvinding fra de fire kildepladser er i dag 3,0 mio. m³/år, dvs. dette udnyttes ikke fuldt ud ved den nuværende indvinding.

På baggrund af de forskellige scenarier er der beregnet 200-års indvindingsoplande for de fire kildepladser. Resultatet er svarer godt overens med de tidligere

beregnede oplande, men de nye oplande er en anelse bredere end beregnet med Rambølls stationære model, hvilket dels skyldes det dynamiske klimainput og dels at der i de tidligere beregninger er benyttet tilladt indvinding. Desuden ligger oplandene på toppen et lokalt grundvandsskel, hvorved der ikke skal meget til for at strømningsretningen ændres. Til den indbyrdes sammenligning af scenarier og sammenligningen med basisscenariet er indvindingsoplandene imidlertid meget brugbare til at vurdere effekten af de ændrede indvindingsmængder.

Påvirkningen af grundvandsstanden i de dybereliggende magasiner i de forskellige scenarier viser lokale sænkninger på op til 10 m ift. basisscenariet, men i langt størstedelen af området er sænkningerne væsentlig mindre. Påvirkningen af det terrænnære grundvand er på maksimalt 30-38 cm inden for områderne med beskyttet natur, og i størstedelen af området langt mindre end 25 cm.

Vandløbspåvirkningen i de forskellige scenarier viser at middelvandføringen maksimalt reduceres med 4,2% ift. basisscenariet. En simulering helt uden indvinding viser, at middelvandføringen kun ville være maksimalt knap 10% højere. Dvs. i runde tal kan man sige, at indvindingen i dag påvirker vandløbene med knap 10% og et fremtidigt scenarie vil maksimalt påvirke vandløbene med 14% ift. ingen indvinding overhovedet.

2 Indledning

I forbindelse med Miljøkonsekvensrapporten, der udarbejdes som et led i TREFOR's ansøgning om fornyelse af indvindingstilladelser, opstilles en dynamisk grundvandsmodel i MIKE SHE for et område nord for Vejle omkring Hedensted. Der tages udgangspunkt i en stationær grundvandsmodel opstillet og kalibreret af Rambøll /1/. Den stationære grundvandsmodel konverteres til en dynamisk grundvandsmodel for bedre at kunne vurdere påvirkningen af f.eks. den årlige variation af vandføringen i vandløb.

Desuden vil modellen kunne anvendes til at vurdere afsænkningen af det terrænnære grundvand, der er betydende for den naturbeskyttede vegetation i området. Endvidere vil modellen kunne anvendes til at beregne indvindingsoplande for de forskellige kildepladser og vurdere forskellen på de forskellige scenarier af fremtidig indvindingsstrategi.

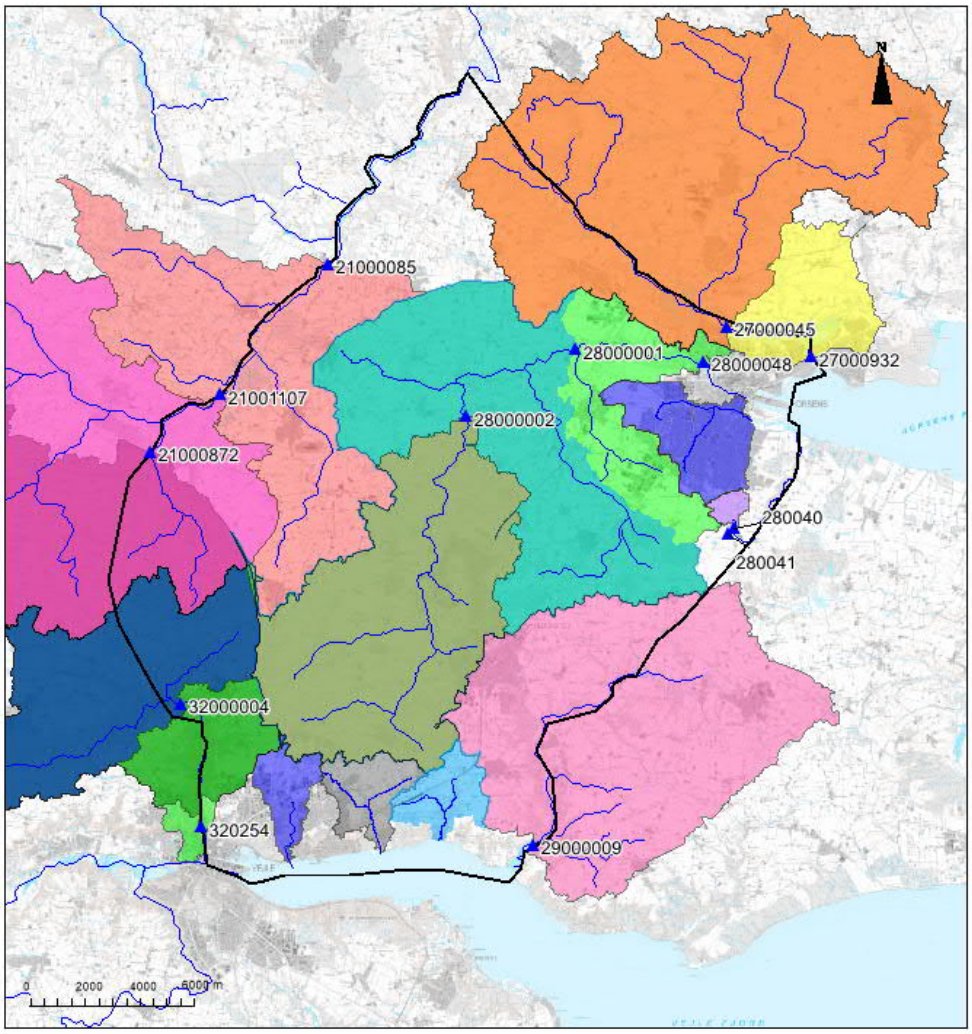
Formålet med modelarbejdet er at vælge et fremtidigt indvindingsscenarie, der svarer til den forventede vandmængde ved fortsat udvikling af erhverv og boligområder i Trekantsområdet. Modelarbejdet skal samtidig belyse, hvilket fremtidigt indvindingsscenarie, der er mest skånsomt for den beskyttede natur i området. Det er primært de våde §3-naturtyper som vandløb, eng, sø og mose samt habitatområder, der er i fokus. Denne modelrapport er en del af baggrundsmaterialet for miljøkonsekvensrapporten.

3 Dataindsamling og behandling

Der tages udgangspunkt i data anvendt i en tidligere opstillet stationær grundvandsmodel og afrapporteret i Rambølls rapport /1/. Supplerende data og behandlingen af disse er gennemgået i nedenstående afsnit.

3.1 Vandløb og vandføringsmålinger

Der er i udgangspunktet anvendt de samme målestationer som i den stationære model, se Figur 3-1 og Tabel 3-1. Dog er to mindre stationer, som ligger på den østlige grænse, fravalgt da de har et meget lille vandløbsopland og kun har et års data. Til gengæld er der i den dynamiske model tilføjet en målestation midt i modelområdet (st. 2800002), hvor historiske data (1978-1997) for vandføringen er brugt til at lave en QQ relation ift. st. 28000001, hvor der findes data for perioden fra 1975 til i dag. Dvs. der kan estimeres en vandføring for st. 28000002 for perioden 1998-2017 baseret på st. 28000001. Arealmæssigt er oplandet til st. 2800001 ca. det dobbelte af oplandet til st. 28000002.



Figur 3-1 Vandføringsstationer i Hedensted modellen samt tilhørende vandløbsoplande. De viste vandløb er fra MIKE 11.

Tabel 3-1 Vandføringsstationer i Hedensted modellen. Stationer markeret med rødt er udeladt i kalibreringen, da vandløbet ikke er med i modellen og der kun findes et års data. Stationer markeret med fed er de vigtigste stationer mht. kalibreringen.

Station	Vandløb	Lokalitet	Opland (km^2)	Middel-vandføring (m^3/s)	Data (år)	Bemærkning
280040	Klokkedal Å	OS Dallerup Sø	1,36	0,014	2000	Lille opland
280041	Dallerup Sø	Dræntilløb	Lille	0,017	2000	Lille opland
320254	Grejs Å	Ny Grejsdalvej	78,07	0,554	2013-2015	Ligger på model-randen
21000085	Gudenå	Åstedbro	195,72	1,040	1990-2017	Ligger på model-randen
21000872	Ølholm Bæk	Ølholm	60,49	0,074	1993-2017	Ligger på model-randen
21001107	Gudenå	Tørring Kær	118,93	0,404	2004-2008	Ligger på model-randen
27000045	Hansted Å	St Hansted Bro	135,46	0,309	1990-2017	Ligger på model-randen
27000932	Hansted Å	Afløb Nørrestrand	154,40	0,306	2000-2012	Ligger på model-randen
28000001	Bygholm Å	Kørup Bro	150,72	1,639	1990-2017	OK
28000002	Gesager Å	Vejbro vest for Korning	76,22	0,860	1978-2017*	QQ-relation ift. 28000001
28000048	Bygholm Å	Bro i Bygholm Park	176,76	0,806	2013	Påvirket af tide-vand!
29000009	Rohden Å	300m ns Årup Mølle Dambrug	99,97	0,421	1990-2017	Ligger på model-randen
32000004	Grejs Å	Grejsdalens Plan-teskole	61,25	0,350	1990-2017	Ligger på model-randen

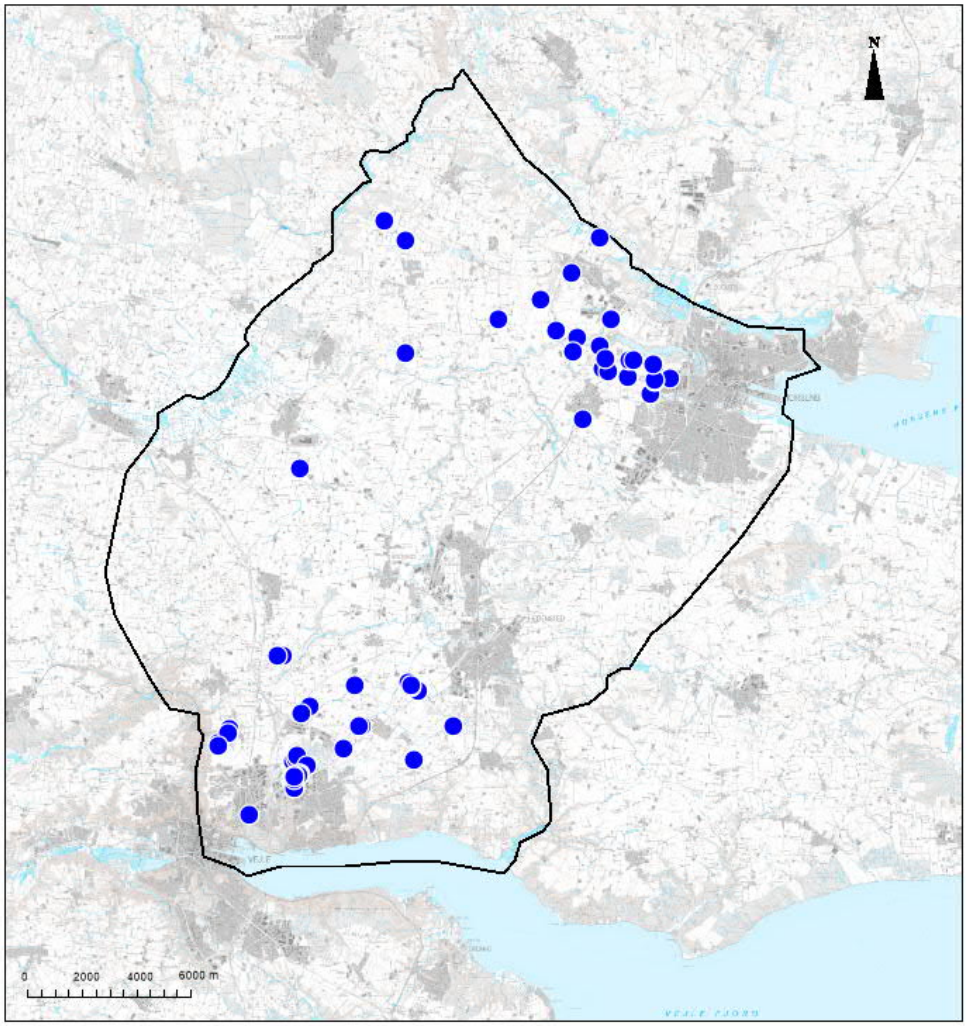
*) Data for perioden 1998-2017 er estimeret på baggrund af vandføringen i 28000001.

De fleste vandløbsstationer ligger på grænsen af modelområdet, hvorfor den observerede vandføring til hver station er justeret %-vis ift. hvor meget af dræningsoplandet, som ligger indenfor modelgrænsen. På denne måde er det muligt at benytte de observerede vandføringer til kalibrering af modellen – også for stationer, der ligger på modelranden. Det kan dog ikke forventes, at kalibreringen af disse stationer bliver ligeså god som de stationer, hvor hele oplandet ligger inden for modelområdet.

3.2 Pejledata

Der findes, jf. /1/ flere pejletidsserier med mere end 10 pejlinger i området. I modelområdet er der registreret 63 indtag med mere end 10 pejlinger i perioden 1990-2017. Efter databehandling af data tilsendt fra Rambøll er der udvalgt 60 indtag. Nogle af pejletidsserierne stammer fra indvindingsboringer tilhørende TREFOR, hvor de maksimale pejleværdier er benyttet, da disse repræsenterer et

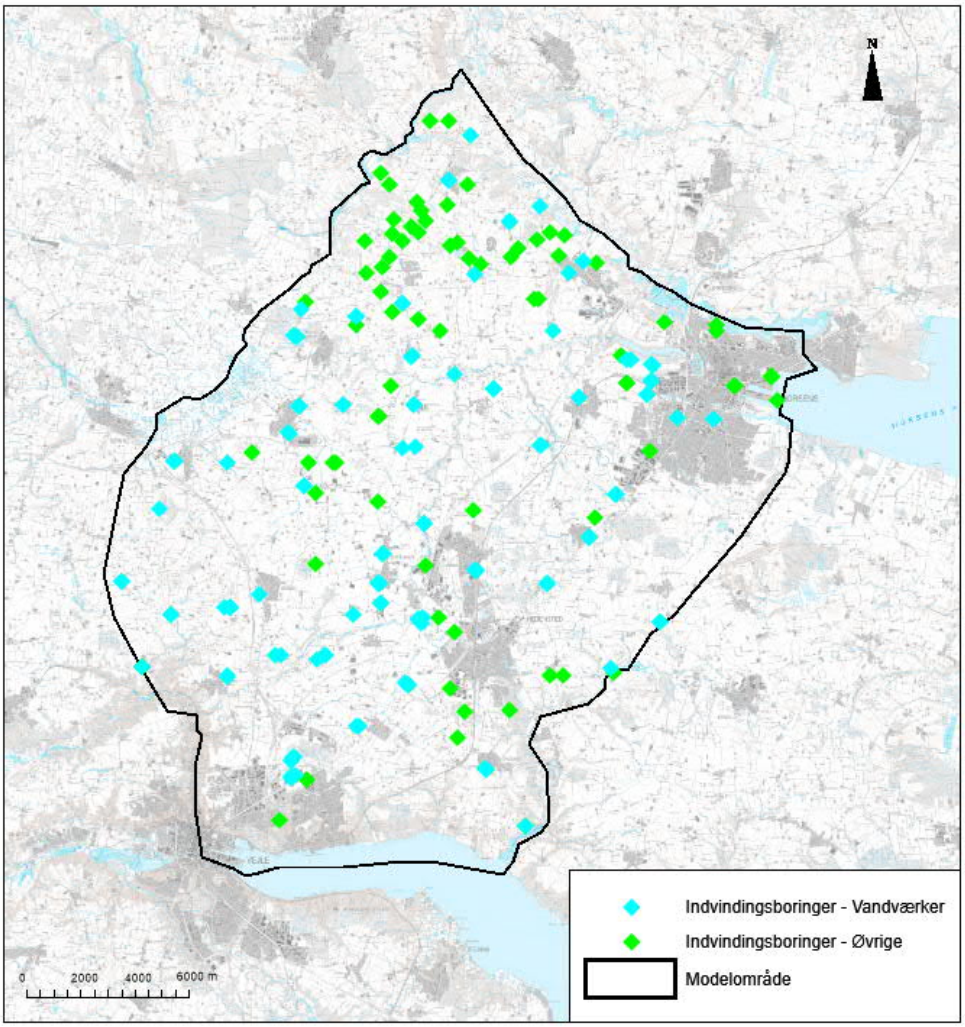
rovandsspejl. Dette er samme fremgangsmåde som i /1/. Boringerne er placeret i to klynger, mod nord og syd i modelområdet, se Figur 3-2. Der er sparsomt med pejletidsserier i den centrale del af modelområdet.



Figur 3-2 Pejleboringer i Hedensted modellen.

3.3 Indvindingsdata

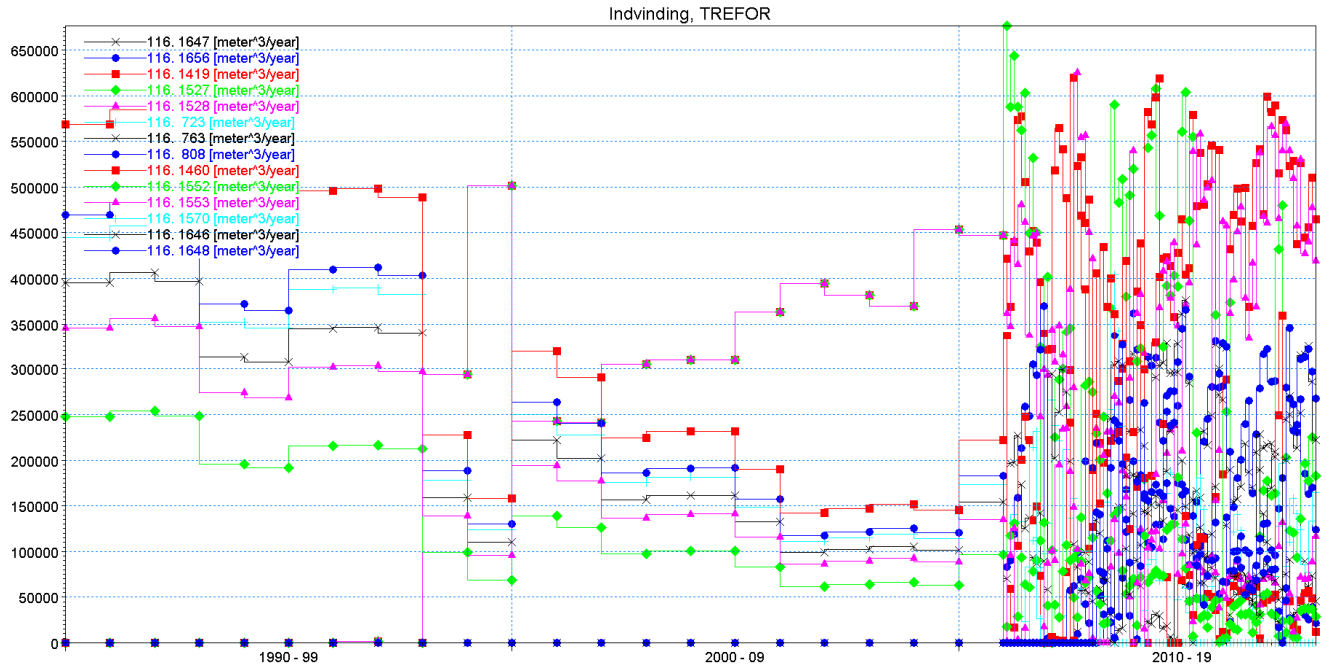
Der er benyttet de samme indvindingsboringer som Rambøll har udvalgt og benyttet i den stationære model (vandværker og enkeltindvindere), se Figur 3-3. Desuden er der anvendt de samme fordelinger og kommentarer fra kommunerne.



Figur 3-3 Registrerede aktive indvindingsboringer i modelområdet.

I den dynamiske model er der anvendt historiske indvindingsdata på årsbasis for alle boringer ved kalibreringen af modellen. For TREFOR's boringer findes desuden indvindingsdata på månedsbasis fra 2011-2017, som er benyttet i den dynamiske model. Dvs. indvindingsdata for TREFOR i perioden 1990-2011 er årsmiddelværdier for oppumpede mængder fra Jupiter, og for perioden 2011-2017 er der benyttet månedlige værdier pr boring, modtaget af TREFOR. Den gennemsnitlige fordeling mellem boringerne fra 2011-2017 er genbrugt i perioden 1990-2011. Historiske indvindingsdata er vist i Figur 3-4.

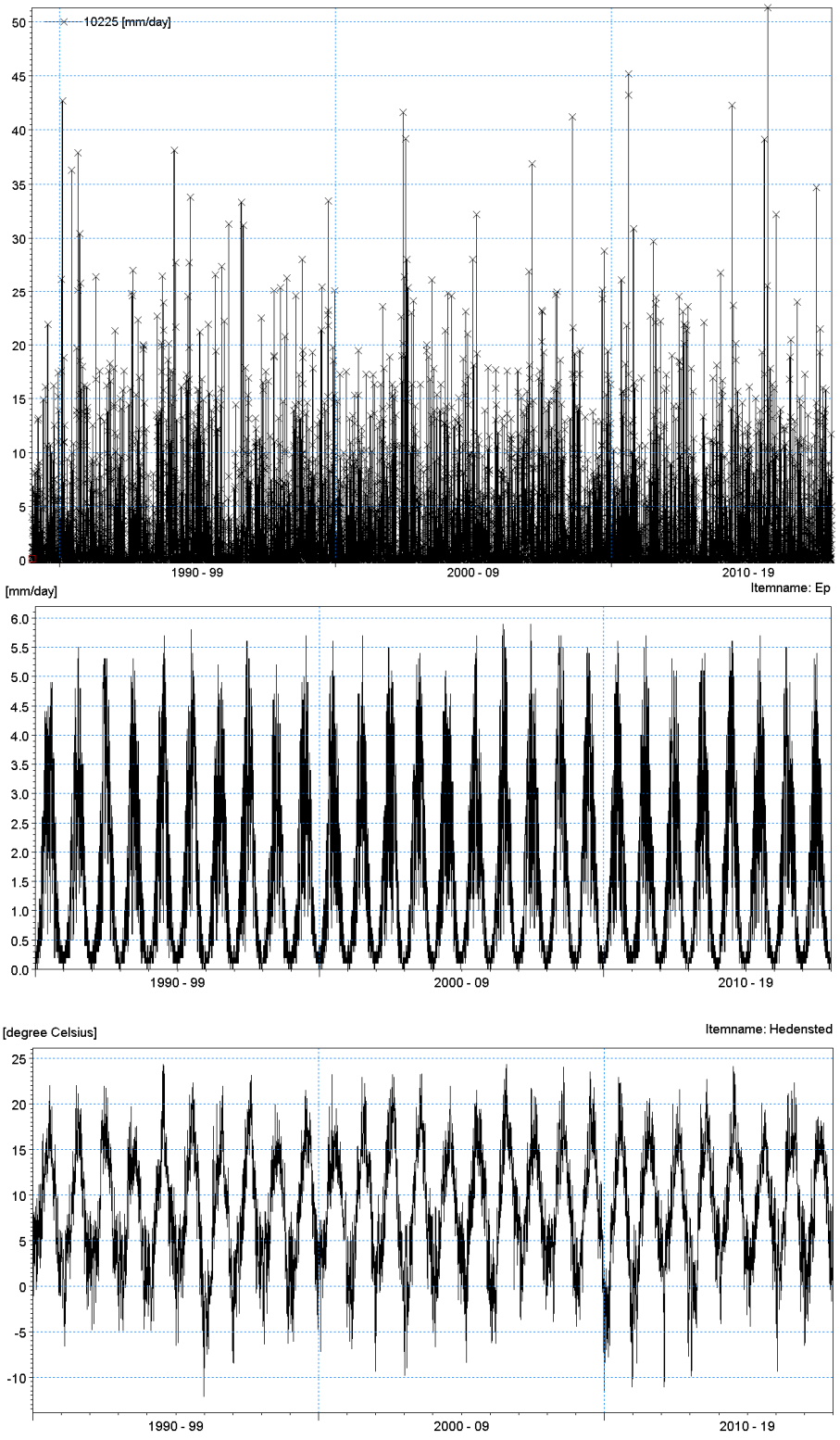
I de efterfølgende scenarier (basis + sc1-5) anvendes en middelindvinding for TREFOR's boringer, mens andre indvindingsboringer anvender historiske indvindingsdata, se afsnit 6.



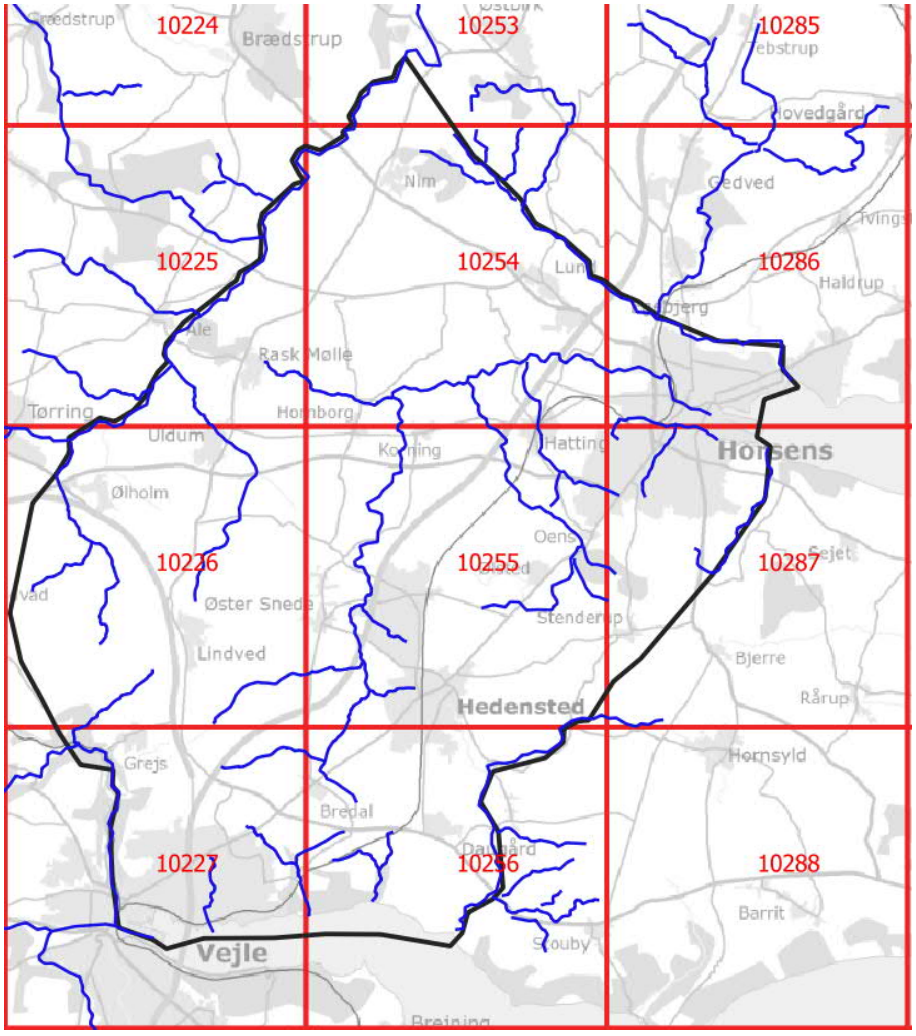
Figur 3-4 Indvinding i Hedensted modellen – TREFOR's boringer.

3.4 Klimadata

Der benyttes dynamisk korrigerede nedbørsdata samt døgnmiddel lufttemperatur temperatur og potentiel fordampning fra DMI, se Figur 3-5. Alle data findes på daglig basis, hvilket er nødvendigt for en dynamisk model. Nedbørsdata er endvidere spatial fordelt i 10 km x 10 km klimagrids, der dækker Hedensted modellen, se Figur 3-6. For døgnmiddeltemperatur og potentiel fordampning anvendes samme tidsserie for hele området. Der findes klimadata for perioden 1990-2017, hvilket således også er den periode modellen kan simulere.



Figur 3-5 Klimadata fra DMI. Øverst: Nedbør. Midten: Potentiel fordampning. Nederst: døgnmiddel lufttemperatur.



Figur 3-6 Spatial fordeling af 10 km x 10 km nedbørsgrid. For Hedensted benyttes følgende grids: 10225, 10226, 10227, 10254, 10255, 10256, 10286 og 10286. For den nordligste del af modelområdet i grid 10253 benyttes tidsserien for grid 10254.

4 Modelopsætning

Med udgangspunkt i den stationære model, de indsamlede data, samt DK-modellen for hhv. Midt- (5) og Sønderjylland (4), se Figur 4-1, er der opstillet en samlet numerisk model for grundvand og overfladevand for Hedensted området.



Figur 4-1 Placering af Hedensted modellen vist med sort cirkel ift. DK-modellens inddeling.

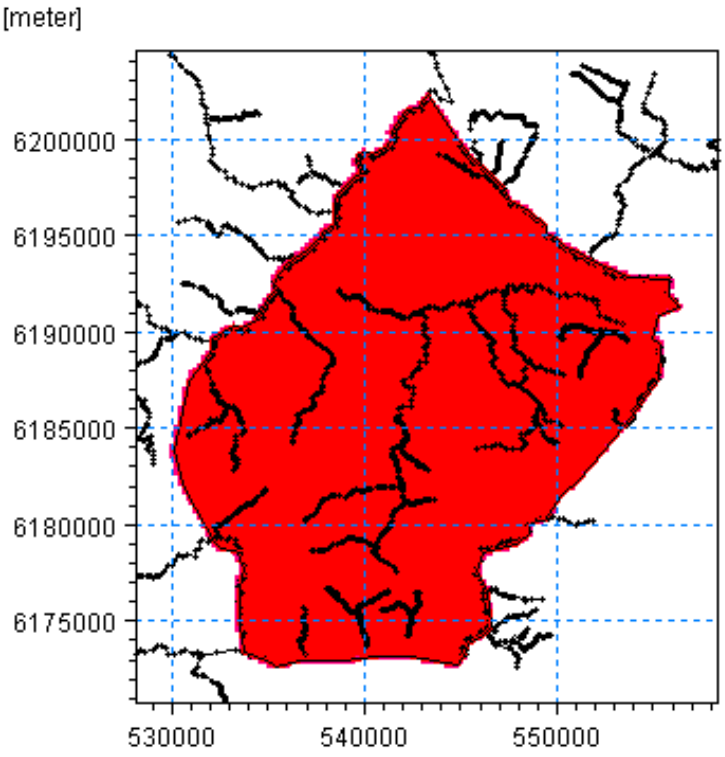
Den numeriske grundvands- og overflademodel for Hedensted er opstillet i programkoden MIKE SHE koblet med MIKE 11 – version 2019. De to modelkoder udgør tilsammen et deterministisk, fysik baseret og fuldt distribueret modelsystem, der indeholder følgende moduler:

- Klima (herunder snesmeltning SM)
- Arealanvendelse/Fordampning (ET)
- Overfladestrømning (OL)
- Vandløb (MIKE 11)

- Den umættede zone (UZ)
- Den mættede zone (SZ), der desuden inkluderer drænafstrømning og grundvandsindvinding
- Particle Tracking (PT), der benyttes til at beregne indvindingsoplande.

4.1 Modelområde og diskretisering

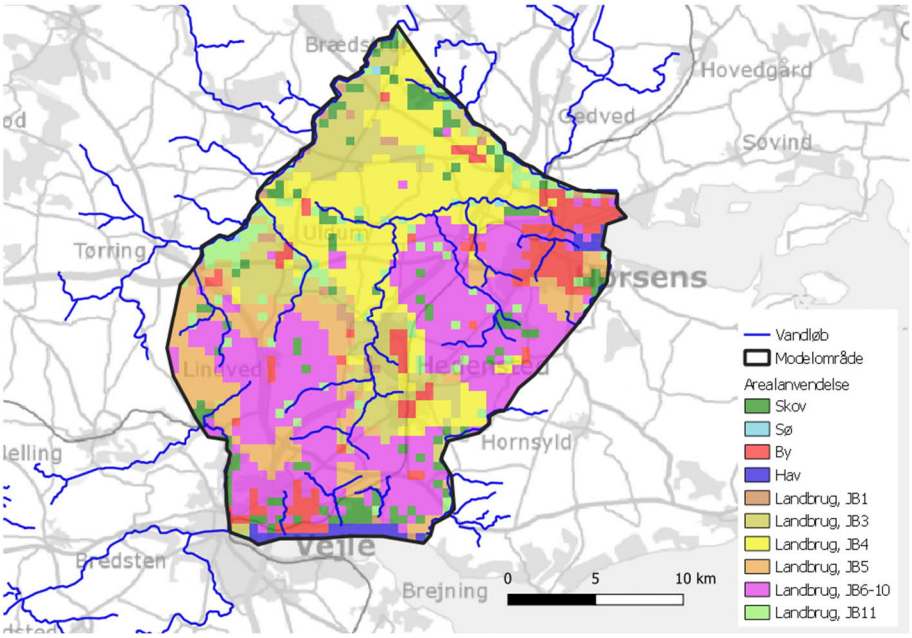
Modelområdet dækker samme udsnit som i den stationære model og har et samlet areal på 448 km². Modelgriddet har som udgangspunkt en diskretisering på 100 m x 100 m, men i den indledende kalibreringsfase benyttes en diskretisering på 200 m x 200 m for at opnå acceptable beregningstider. I vertikal retning anvendes 11 beregningslag med varierende lagtykkelse. Se nærmere beskrivelse af de geologiske lag i /1/ og i afsnit 4.6.1. Modelområdet er vist på Figur 4-2.



Figur 4-2 Modelområde for Hedensted. Sorte streger er vandløb i modellen.

4.2 Arealanvendelse

Kortet for arealanvendelsen er taget fra DK modellen (4+5) og ligger i et 500 m x 500 m grid. Arealanvendelsen benyttes til at beregne den aktuelle fordampning fra de enkelte beregningsceller i modellen baseret på roddybde og bladarealindex, der varierer for de forskellige arealtyper. Den spatiale fordeling af arealanvendelsen fremgår af Figur 4-3.



Figur 4-3 Arealanvendelse i Hedensted modellen.

4.3 Overfladisk afstrømning

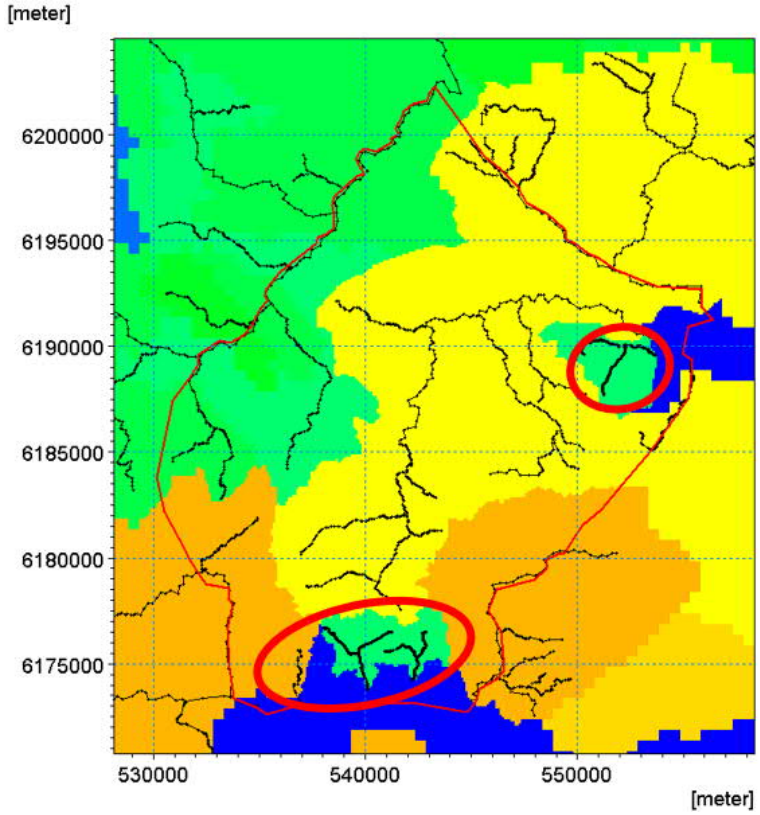
MIKE SHE beskriver muligheden for overfladisk afstrømning på terræn. I en traditionel grundvandsmodel er dette ikke den vigtigste del af modellen, men der skal alligevel defineres en række parametre for denne del. Der regnes med et Manningtal for overfladisk afstrømning på 5 $m^{1/3}/s$ og en tilbageholdelse på overfladen (detention storage) på 10 mm. Tilbageholdelsen af vand betyder, at der skal stå mere end 10 mm vand på overfladen i en beregningscelle, før vandet begynder at strømme. Dette skal simulere, at der kan magasineres vand i lavninger i landskabet, som ikke umiddelbart giver anledning til f.eks. en øget vandføring i vandløb. I stedet infiltrerer denne vandmængde til grundvandet eller forsvinder via fordampning.

4.4 Vandløb og vandløbsoplande

Vandløb beskrives i den dynamiske model med en MIKE 11 vandløbsmodel fra DK-modellen. Der er tilføjet tre mindre vandløb nord for Vejle Fjord (Bybækken, Tirsbæk og Ulbæk) samt Dagnæs Bæk ved Horsens, som ikke indgår i DK-modellen, se Figur 4-4. I den stationære model indgår disse vandløb, men beskrives udelukkende som celler med en kobling (vandløbskonduktans) til grundvandszonen. I den dynamiske model beskrives vandløb med vandløbstværsnit og et sammenhængende vandløbsnetværk, så der kan beregnes en vandføring forskellige steder i systemet.

I den integrerede MIKE SHE / MIKE 11 model beregnes der vandføringer i vandløbene, men ikke vandstande, idet der benyttes den såkaldte "kinematic routing", der ikke beregner vandstande. Det betyder også, at der i modellen ses bort fra bygværker, rørunderføringer, broer mm.

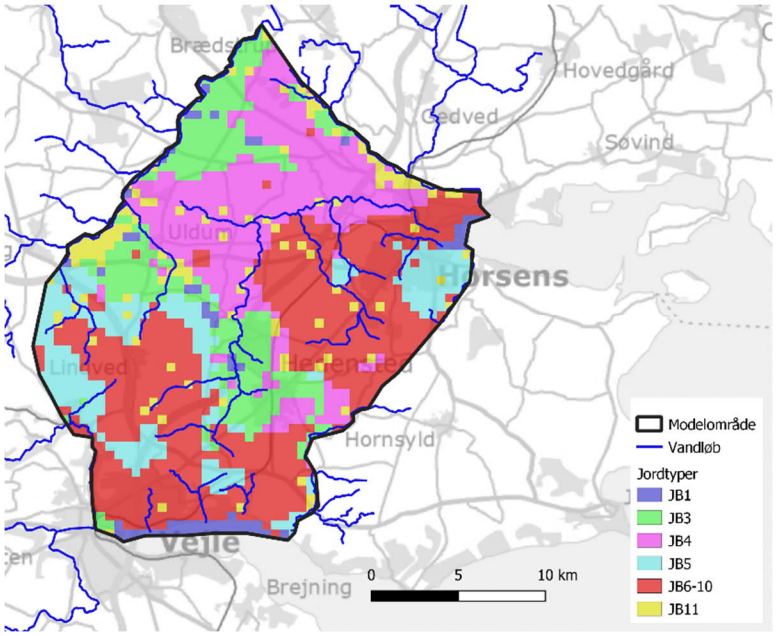
Dræningsoplandene er som udgangspunkt de samme som i DK-modellen. Dog er de justeret en anelse pga. inkluderingen af de ekstra vandløb.



Figur 4-4 Vandløbs- og dræningsoplande i Hedensted er vist med forskellige farver. De røde ellipser markerer de ekstra vandløb, der er inkluderet i modellen. Vandløb er vist med sorte streger.

4.5 Den umættede zone

Den umættede zone definerer overgangen mellem overfladen, hvor vandet infiltrerer og den mættede grundvandszone, hvor jordmatricen er fuldt vandmættet. I MIKE SHE beskriver den umættede zone infiltrationen til grundvandszonen baseret på forskellige parametre for de forskellige jordtyper, JB1-JB11. Den spatiale fordeling af jordtyper fremgår af Figur 4-5 og er den samme fordeling, der anvendes i DK-modellen. I modellen benyttes den såkaldte 2-lagsmetode til beskrivelse af infiltration og fordampning, der også anvendes i DK-modellen.



JB-nummer	Teksturbetegnelse
JB-1	Grovsandet jord
JB-2	Finsandet jord
JB-3	Grov lerblandet sandjord
JB-4	Fin lerblandet sandjord
JB-5	Grov sandblandet lerjord
JB-6	Fin sandblandet lerjord
JB-7	Lerjord
JB-8	Svær lerjord
JB-9	Meget svær lerjord
JB-10	Siltjord
JB-11	Humus
JB-12	Specielle jordtyper

Figur 4-5 Fordeling af forskellige jordtyper, der beskriver infiltrationen i den umættede zone.

4.6 Den mættede zone

4.6.1 Lagflader

Lagfladerne i den mættede zone er hentet direkte fra den stationære model over i MIKE SHE og varierer således ikke ift. den stationære model. Se Tabel 4-1. Minimumtykkelsen er sat til 1 meter for beregningslagene i modellen.

Tabel 4-1 Modellag og angivelse af ler- og sandlag samt maksimale lagtykkelser.

Modellag	Betegnelse i hydrologisk model	Lagtykkelse (m)
1	Ler 4	1-67
2	Sand 5	1-84
3	Ler 6	1-74
4	Sand 7	1-66
5	Ler 8	1-112
6	Sand 9	1-66
7	Ler 10	1-160
8	Sand 11	1-180
9	Sand 16	1-36
10	Ler 17	1-53
11	Sand 18	1-88

4.6.2 Hydraulisk ledningsevne mm.

Den hydrauliske ledningsevne samt anisotropi er udtrukket fra den stationære model /1/ og implementeret i MIKE SHE.

Tabel 4-2 Hydrauliske parametre benyttet i den dynamiske model.

Grundvands-model lag	Hydrostratigrafisk enhed	Gennemsnitlig horisontal hydraulisk ledningsevne (m/s)	Anisotropifaktor Kh/Kv
Lag 1	Sand 1	0,0007	2
	Ler 4	$1,7\times10^{-8}$	10
Lag 2	Sand 5	$3,0\times10^{-5}$	3
Lag 3	Ler 6	$3,0\times10^{-8}$	4
Lag 4	Sand 7	$4,4\times10^{-5}$	2
Lag 5	Ler 8	$1,4\times10^{-9}$	5
Lag 6	Sand 9	$8,5\times10^{-6}$	2
Lag 7	Ler 10	$1,3\times10^{-9}$	8
Lag 8	Sand 11	$2,2\times10^{-5}$	3
Lag 9	Sand 16	$2,0\times10^{-6}$	3
Lag 10	Ler 17	$2,2\times10^{-10}$	7
Lag 11	Sand 18	$2,8\times10^{-6}$	2

4.6.3 Dræning

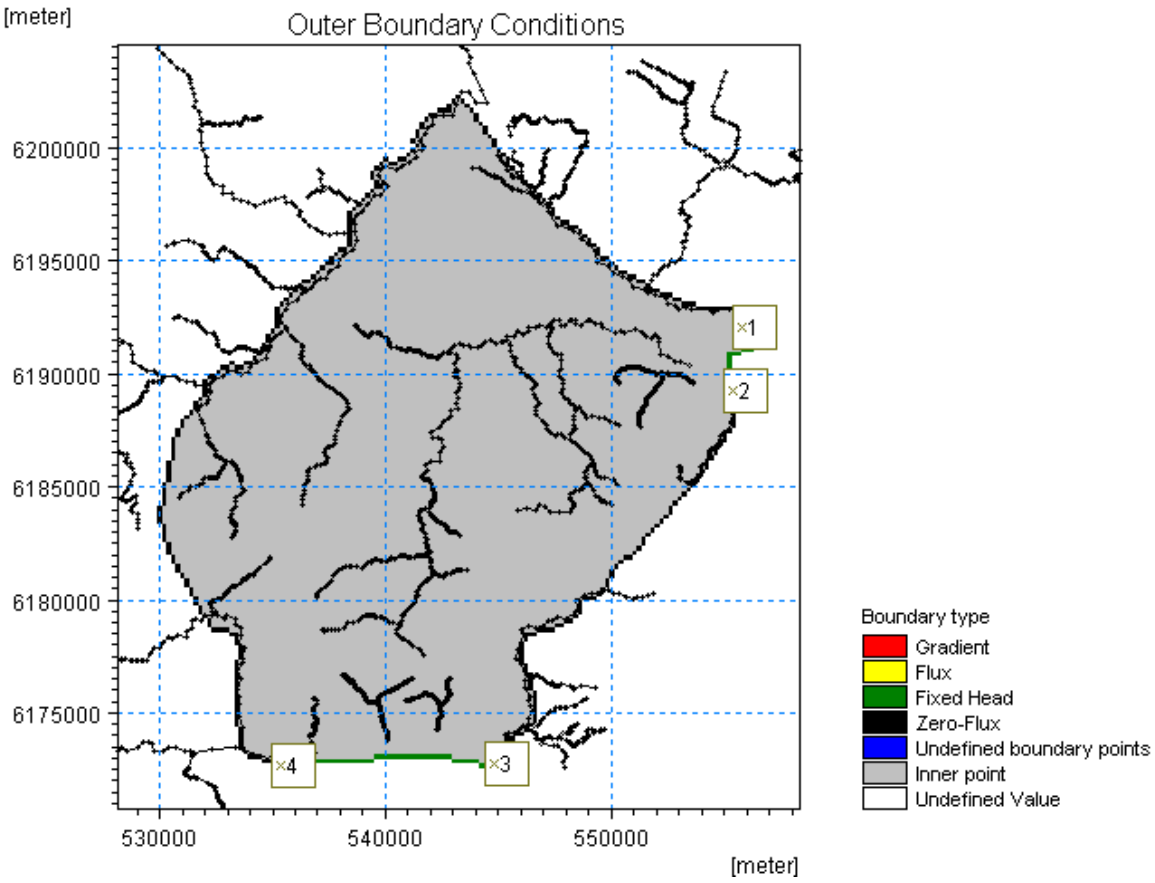
Dræningsniveau er som udgangspunkt sat til det samme som i den stationære model, dvs. 0,4 m under terræn /1/. Denne værdi er dog justeret i forbindelse med kalibreringen, se afsnit 5.1. Desuden anvendes en dræntidskontant på 8,0e-8 s^{-1}, der beskriver hvor hurtigt vandet i grundvandszonen dræner til vandløbet. Dette er ligeledes en parameter, der indgår i kalibreringen.

4.6.4 Randbetingelser

Randbetingelser er vigtige for afgrænsningen af modellen og for at sikre en korrekt vandbalance for modelområdet. De ydre randbetingelser er defineret på samme vis som i den stationære model langs modelranden i alle 11 beregningslag.

Et eksempel på randbetingelser i lag 1 i MIKE SHE fremgår af Figur 4-6. Her benyttes en fastholdt trykrand langs kysten mod syd (Vejle Fjord) og mod nordøst ved Horsens. På resten af modelranden anvendes en no-flow randbetingelse.

Modellag 2 (sand) anvender ligeledes en kombination af fastholdt trykrand og no-flow randbetingelse. Modellag 3-8 (skiftende ler- og sandlag) anvender en fastholdt trykrand mod syd (Vejle Fjord) og ellers en no-flow randbetingelse på resten af modelranden. Modellag 9-11 anvender en no-flow randbetingelse langs hele modelranden.



Figur 4-6 Randbetingelser i MIKE SHE modellen for Hedensted, lag 1. Grøn = fastholdt tryk og sort = no-flow randbetingelse.

4.7 Partikelbaneberegninger

Når modellen er kalibreret køres en strømningsberegning med en referencesituation (basisscenariet) samt en række scenarier med forskellig indvindingsstrategi. Baseret på disse strømningsberegninger køres efterfølgende en stoftransportberegning (også kaldet partikelbaneberegning), der kan vise, hvor vandet til de forskellige boringer stammer fra. Dette optegnes som indvindingsoplande til de forskellige vandværker tilhørende TREFOR. Partikelbaneberegningen simulerer 200 års vandtransport. I modellen gentages strømningsmønsteret for perioden 2011-2016 indtil der er gået 200 år.

I partikelbaneberegningerne indgår porøsiteten af jorden, som er sat til 0,25 for moræneler og 0,30 for sand, hvilket svarer til de af GEUS anbefalede porøsiteter /2/. I den stationære model benyttes ligeledes en porøsistet på 0,30 for sand, mens der er anvendt en porøsitet på 0,40 for lerforekomster. Der skelnes således ikke mellem fed ler og moræneler i hverken den stationære eller dynamiske model. For beregning af indvindingsoplandene er det imidlertid porøsiteten i de vandførende sandlag, der har betydning, og her benytter de to modeller samme porøsitet.

5 Modelkalibrering

5.1 Pejledata

Ved den første simulering af modellen viste det sig, at nogle af pejleboringerne havde en simuleret værdi, der lå langt fra den observerede. Tre af boringerne har ikke oplysninger om filterdybde, hvorfor dybden af boringen i stedet er anvendt som filterdybde. Nogle andre af pejleboringerne er samtidig indvindingsboringer – eller er tidligere indvindingsboringer. I disse boringer er det derfor også svært at matche det observerede potentiale, da modellens 100 m x 100 m grid ikke kan simulere de helt boringsnære sænkningstragte, der opstår i virkeligheden, ligesom den tidslige opløsning af indvindingsdata ikke svarer til den virkelige oppumpning.

Der er ved kalibreringen taget udgangspunkt i GEUS's vejledning til kalibrering af hydrologiske modeller /3/. Ifølge denne vejledning er der følgende krav til en hydrologisk model, se Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Kalibreringskriterier for pejleboringer jf. /3/. ME = Mean Error (middelfejl), RMS = Root Mean Squared (kvadratafvigelsessum), Sobs er usikkerheden på pejleobservationer (sættes typisk til 2-2,5) og ⊿hmax er den maksimale forskel på minimum og maksimum observeret grundvandsspejl.

Kriterium	Screening	Overslag	Detail
β1 (ME/Δhmax)	0,05	0,025	0,01
β2 (RMS/Sobs)	2,6	2	1,65
β3 (RMS/Δhmax)	0,1	0,05	0,025

Kalibreringen af grundvandsspejlet er vist i Tabel 5-2 med kalibreringskriterier. Der er valgt at benytte den fulde simuleringsperiode i kalibreringsstatistikken for at inkludere flest mulige pejleboringer. Der er 60 pejleboringer med minimum 10 pejlinger som omtalt i afsnit 3.2. Endvidere reduceres dette antal til 51 pejleboringer for kalibreringsperioden 2000-2010, idet ni pejleboringer ikke har observationer i denne periode. Dette er færre pejleboringer end i Rambølls stationære model, hvor det ikke er nødvendigt med mere end en pejling pr boring, og hvor der ikke tages hensyn til tidspunktet for pejlingen. Til gengæld er der i den dynamiske model samlet set anvendt betydelig flere pejlinger, idet hver pejleboring indeholder mellem 12 og 275 pejlinger. For pejleboringer med kontinuerte dataloggere er antallet af pejlinger endda betydelig højere – op til mere end 50.000 pejlinger i en enkelt pejletidsserie.

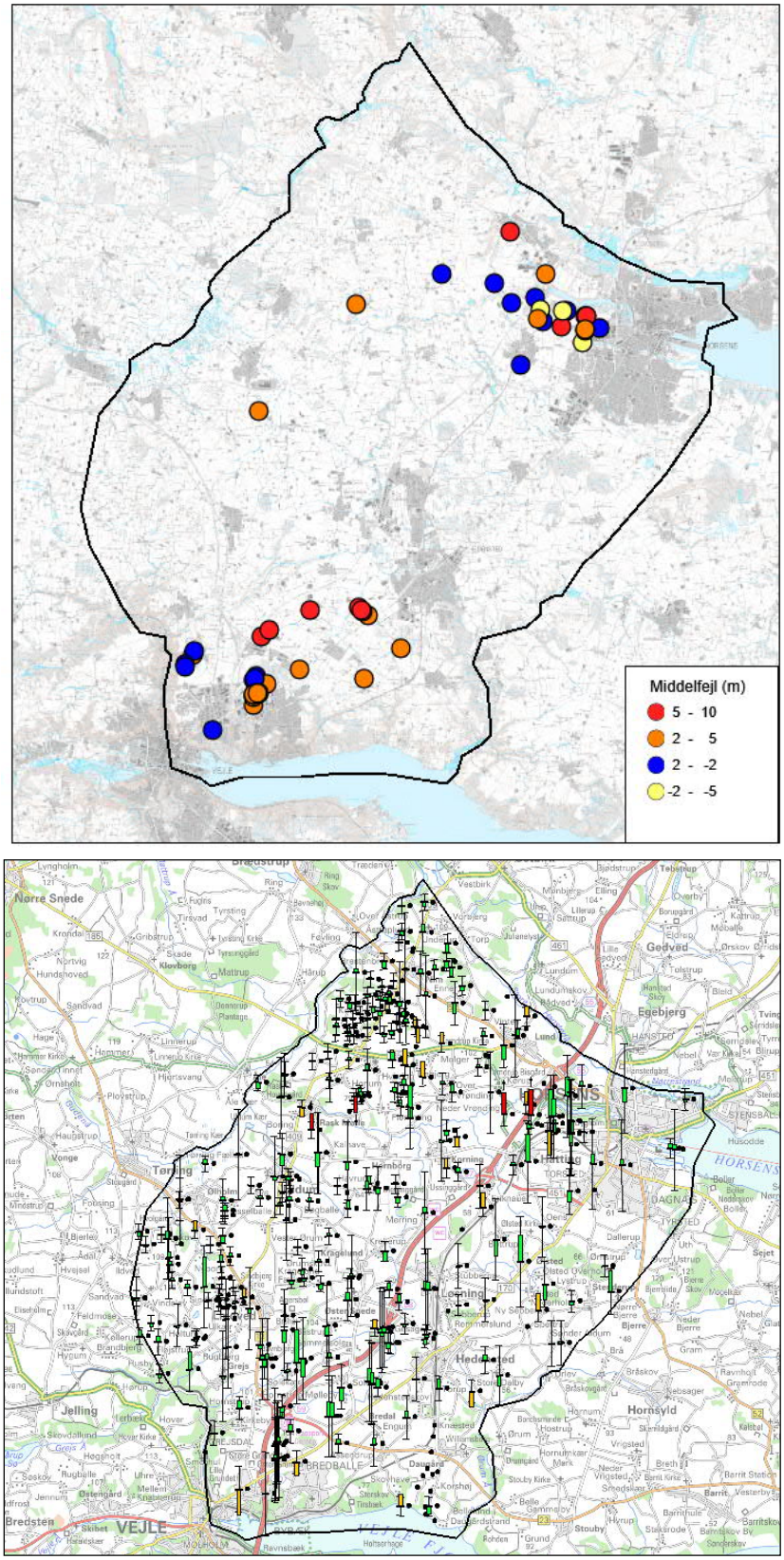
Tabel 5-2 Kalibreringsstatistik for perioden 2000-2010. Grøn=detailmodellering, gul=overslagsberegning, orange=screening og rød=uden for krav. Tal i () viser antallet af pejleboringer i det givne lag.

Lag	ME	ΔHmax	RMSE	S_obs	ME/Δhmax	RMS/Sobs	RMS/Δhmax
Alle (51)	2,47	57	3,30	2,2	0,043	1,48	0,06
Lag 1 (2)	1,94		2,27		0,034	1,03	0,04
Lag 2 (2)	1,04		1,10		0,018	0,50	0,02
Lag 4 (14)	1,31		3,19		0,023	1,45	0,06
Lag 6 (11)	2,57		3,45		0,045	1,57	0,06
Lag 7 (3)	1,83		1,92		0,032	0,87	0,03
Lag 8 (2)	2,24		2,25		0,039	1,02	0,04
Lag 9 (2)	2,70		2,80		0,047	1,27	0,05
Lag 10 (3)	1,47		1,76		0,026	0,80	0,03
Lag 11 (12)	4,46		4,66		0,078	2,12	0,08

Ifølge Rambølls rapport /1/ er den beregnede middelfejl ME for hele modellen -0,28 m. Den beregnede RMS, hvor den samlede standardafvigelse på observationsdata indgår, på 2,10 indikerer, at den gennemsnitlige numeriske tilpasning er tilfredsstillende. Rambølls stationære grundvandsmodel er kalibreret mod pejlinger samt tilgængelige middelvandføringer for perioden 2012-2016.

Den dynamiske model har en samlet middelfejl ME på 2,47 m, men det kan ikke forventes at få samme resultat som Rambøll, da de har brugt andre (og flere) pejleboringer i den stationære model. Resultatet af den rumlige fordeling af middelfejlen fremgår af Figur 5-1. I den dynamiske model er der kun brugt tidsserier med minimum 10 pejlinger, og flere af disse pejleboringer er desuden samtidig indvindingsboringer eller indvindingspåvirket. F.eks. har enkelte pejleboringer en middelafvigelse mellem simuleret og observeret grundvandsspejl på mere end 5 m. Dette indikerer, at disse boringer enten er indvindingspåvirkede eller er placeret i et andet magasin i modellen end i virkeligheden. For de fleste pejleboringer i fokusområdet mellem Vejle og Hedensted gælder det således, at de samtidig er indvindingsboringer, hvilket er den primære årsag til de reltaivt høje middelfejl. Udvalgte eksempler på kalibreringen af pejletidsserier er vist i Bilag A.

Hvis der i stedet fokuseres på RMS/Sobs er kravet til en detailmodel overholdt for alle lag bortset fra det nederste sandlag. Samlet set vurderes grundvandets trykniveau i den dynamiske model at være tilfredsstillende kalibreret til de efterfølgende scenarieberegninger.



Figur 5-1 Øverst: Middelfejl (ME) for de 51 pejleboringer i modellen. Nederst: Rambølls pejleboringer og kalibreringsresultat.

5.2 Vandføringsdata

De vigtigste stationer ift. kalibrering af vandføring er 2800001 og 2800002, da de ligger midt i modelområdet, og dermed er hele oplandet til stationen inden for modelområdet. De resterende vandføringsstationer ligger alle på modelranden, og derved kan vandføringen være vanskelig at simulere.

Kalibreringen af vandføringen foretages ved at analysere vandbalancen (dvs. forskellen mellem simuleret og observeret middelvandføring) /3/. Først inddeles de forskellige vandløbsstationer i kategorier efter hvor stor middelvandføringen er, idet kravet til en god simulering er skrappere for større vandløb end mindre, se Tabel 5-3.

Tabel 5-3 Krav til vandbalancefejl (%) i vandløb.

Type	Vandføring	Screening	Overslag	Detailmodel
1	< 100 l/s	40	25	15
2	100-500 l/s	25	15	10
3	500-2000 l/s	15	10	5
4	> 2000 l/s	10	5	3

Vandføringen i vandløbene underestimeres generelt og er mindre dynamiske end de observerede vandføringer. Der blev derfor justeret på forskellige parametre, som alle relaterer sig til vandføringen i vandløbene, f.eks. dræntidskonstanten, drænniveauet og lækagekoefficienten for vandudveksling mellem vandløb og grundvand. Ingen af disse tiltag reducerede imidlertid middelfejlen, ME (mean error). Derfor fastholdes de oprindelige parametre, som de optimale værdier. Kalibreringsstatistikken fremgår af Tabel 5-4.

Tabel 5-4 Kalibreringsstatistik for vandføringen i Hedensted modellen.

Station	Vandløb	Middelvand-føring (l/s)	Type	Middefejl (l/s)	Fbal (%)	Bemærkning
320254	Grejs Å	554	3	153	28	Ikke opfyldt
21000085	Gudenå	1040	3	508	49	Ikke opfyldt
21000872	Ølholm Bæk	74	1	-16	-22	Overslagsberegning
21001107	Gudenå	404	2	191	47	Ikke opfyldt
27000045	Hansted Å	309	2	45	15	Overslagsberegning
27000932	Hansted Å	306	2	24	8	Detailmodel
28000001	Bygholm Å	1639	3	258	16	Tæt på screening
28000002	Gesager Å	860	3	384	45	Ikke opfyldt
28000048	Bygholm Å	806	3	-296	-37	Ikke opfyldt
29000009	Rohden Å	421	2	34	8	Detailmodel
32000004	Grejs Å	350	2	186	53	Ikke opfyldt

Som det fremgår af Tabel 5-4 er det kun knap halvdelen af vandløbsstationerne, der opfylder kravet til vandbalancefejlen Fbal, heraf overholder to af stationerne kravet til en overslagsberegning og to andre kravet til en detailmodellering. Som tidligere nævnt er en del af stationernes opland uden for modelområdet, og der er derfor lavet en korrigering af den målte vandføring, så den svarer til oplandet inden for modelområdet. De eneste stationer, hvor hele oplandet ligger inden for modelområdet er 28000001 i Bygholm Å og 28000002 i Gesager Å, hvoraf sidstnævnte desuden er QQ-korreleret ift. 28000001, som beskrevet i afsnit 3.1.

På trods af at kun halvdelen af stationerne overholder kravet til vandbalancefejl jr. GEUS's vejledning, vurderes modellen alligevel at være egnet til de efterfølgende scenarieberegninger. Dette baseres på, at det ved scenarierne er forskelle i vandføring, der analyseres og ikke de konkrete vandføringer. Udvalgte tidsserier af simuleret og observeret vandføring fremgår af Bilag B.

5.3 Indvindingsdata

I forbindelse med kalibreringen af modellen, blev det kontrolleret, om indvindingsboringerne indvinder 100%. Enkelte boringer indvinder ikke 100%, og der blev derfor justeret på filterets placering, så det f.eks. flyttes fra et lerlag til et sandlag. De hyppigste årsager til upræcis filterplacering er, at filterets placering enten er ukendt for boringen eller at modellagene er tilpasset et 100 m x 100 m grid, dvs. der sker en midling af top- og bundkoter for modellagene. Samlet set indvindes der 99,7% af den historiske indvinding i kalibreringen, og kun to boringer indvinder mindre end 100%:

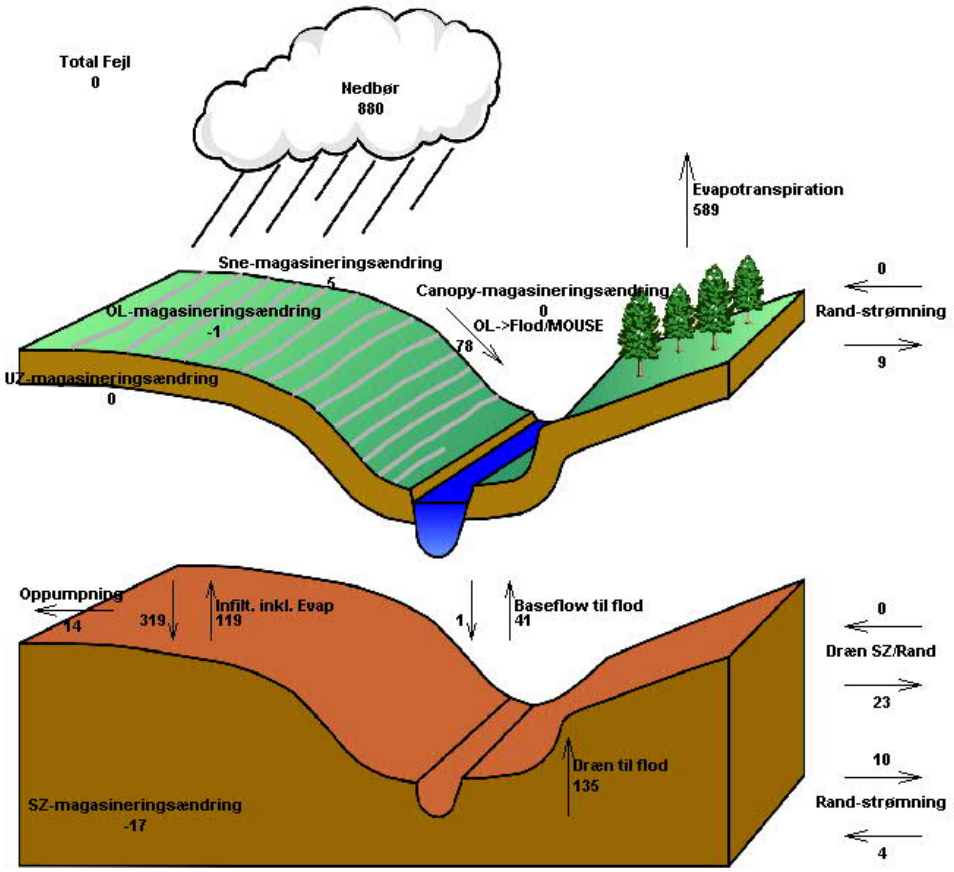
- DGU 106.1456 (Honum Vandværk) indvinder 42%. Der er ingen oplysninger om filterkoter for denne boring i Jupiter. Boringen ligger langt fra TREFOR's indvindingsboringer, så det har ikke betydning for simuleringen af grundvandets trykniveau ved TREFOR's kildepladser.

- DGU 116.893 (Lindved Vandværk) indvinder 37%. Filteret sidder korrekt, men boringen er i dag sløjfet, så det har ikke betydning for simuleringen af grundvandets trykniveau ved TREFOR's kildepladser.

Alle TREFOR's boringer indvinder 100% af den specificerede indvinding i både kalibreringen og ved det efterfølgende basisscenarie samt scenarie 1-5, se afsnit 6.

5.4 Vandbalance

Der er udtrukket en vandbalance for en 11-årig periode (januar 2000 til december 2010), se Figur 5-2, efter en opvarmningsperiode på 10 år (1990-1999).



Figur 5-2 Vandbalance for kalibreringen. Enheden er mm/år for perioden januar 2000 til december 2010.

Som det fremgår af Figur 5-2 er middelnedbøren i området 880 mm/år. Fordampningen er på 589 mm/år, dvs. nettonedbøren er 880-589 = 291 mm/år, svarende til ca. 1/3 af nedbøren. Generelt ser vandbalancen fornuftig ud, og den totale fejl er 0 mm/år. Desuden er de forskellige magasineringsled i vandbalancen tæt på 0, bortset fra grundvandszonen, hvor der er en negativ magasinering på 17 mm/år, dvs. i perioden er der en faldende trend i grundvandets trykniveau. Dette skyldes ikke en overudnyttelse af magasinet, idet en simulering uden indvinding også viser en faldende trend, se afsnit 6.7. Det skyldes derimod, at modellen er længe om at indstille sig på trods af en opvarmningsperiode på 10 år.

Oppumpningen svarer for perioden 2000-2010 til 14 mm/år, mens det samlede bidrag til vandløb er på 253 mm/år. Bidraget til vandløb består af tre led: Overfladisk afstrømning (78 mm/år), baseflow (41-1=40 mm/år) og drænflow (135 mm/år). Desuden er der mindre strømninger på tværs af randen – primært mod nord og syd, hvor modelranden er åben (fastholdt trykniveau).

6 Modelscenarier

Der er med den dynamiske model kørt seks scenarier. Et basisscenarie og fem forskellige scenarier, hvor indvindingsstrukturen ændrer sig mellem de fire kildepladser tilhørende TREFOR, se Tabel 6-1. Scenarierne er fastsat af TREFOR og kommunerne (Hedensted og Vejle). I tabellen er indvindingsmængderne sammenlignet med den tilladte indvinding.

Tabel 6-1 Indvindingsmængder til TREFORs fire kildepladser i de seks scenarier.

	Kildeplads (m³/år)			
Scenarier	Lysholt Tilladt: 500.000	Bredal Tilladt: 500.000	Solekær Tilladt: 500.000	Hedensted Tilladt: 1.500.000
Basis (2011-16)	517.125	328.495	312.619	1.017.992
1	800.000	500.000	500.000	1.500.000
2	500.000	800.000	500.000	1.500.000
3	500.000	500.000	800.000	1.500.000
4	500.000	650.000	650.000	1.500.000
5	500.000	500.000	500.000	1.800.000

Basisscenariet er den aktuelle middelindvinding i perioden 2011-2016, se Tabel 6-1. Data herfor er modtaget af TREFOR. Fordelingen mellem TREFOR's boringer til hver kildeplads er i scenarierne baseret på nedenstående antagelser:

- I basisscenariet anvendes den aktuelle fordeling pr boring som et gennemsnit for perioden 2011-2016
- I scenarie 1 fordeles indvindingen pr boring ligeligt ved Bredal + Solekær, mens Hedensted fordeles med en 1/3 til hver af de tre boringer. Ved Lysholt Klp. indvinder 116.808 5%, mens de resterende 5 boringer hver indvinder 19%
- Scenarie 2-5: Samme fordeling som ovenfor for Bredal, Solekær og Hedensted. Boring 116.808 ved Lysholt sættes til 0% og indvindingen fordeles i stedet ligeligt til hver af de 5 resterende boringer, dvs. 20% til hver.

6.1 Basisscenariet

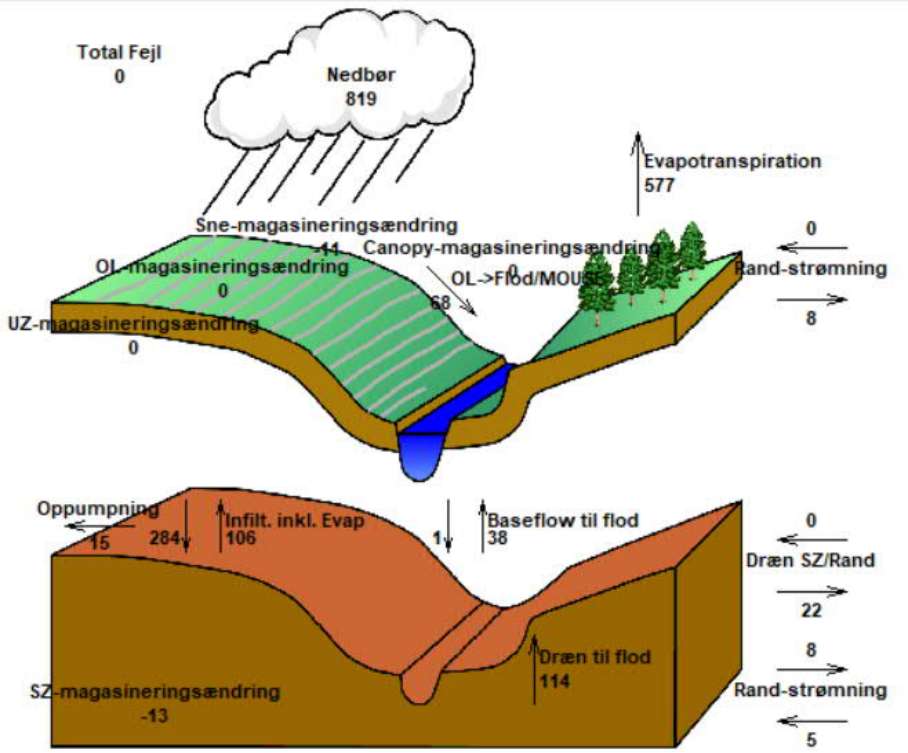
I basisscenariet benyttes den aktuelle middelindvinding for perioden 2011-2016. Indvindingen pr boring fremgår af Tabel 6-2. Boring 116.808 ved Lysholt kildeplads benyttes i dag stort set ikke længere til indvinding, men i perioden 2011-2016 stod den for 20% af den samlede indvinding ved Lysholt kildeplads.

Tabel 6-2 Fordeling pr boring i basisscenariet.

Vandværk	Boring	Modellag	Fordeling 2011-2016 (%)
Bredal kildeplads	116. 1647	4 (øvre sand)	48
	116. 1656	4 (øvre sand)	52
Solekær kilde-plads	116. 1646	11 (nedre sand)	46
	116. 1648	11 (nedre sand)	54
Lysholt kildeplads	116. 723	11 (nedre sand)	16
	116. 763	4 (øvre sand) og 11 (nedre sand)	16
	116. 808	4 (øvre sand)	20 (indvinder mindre i dag)
	116. 1460	4 (øvre sand) og 11 (nedre sand)	23
	116. 1552	4 (øvre sand)	10
	116. 1553	4 (øvre sand) og 11 (nedre sand)	15
Hedensted kilde-plads	116. 1419	11 (nedre sand)	37
	116. 1527	11 (nedre sand)	28
	116. 1528	11 (nedre sand)	35

Vandbalancen for basisscenariet fremgår af Figur 6-1. Middelnedbøren for perioden 2011-2016 er på 819 mm/år, mens fordampningen er på 577 mm/år. Dette svarer til en nettonedbør på 242 mm/år og fordampningen udgør ca. 70% af nedbøren, hvilket er meget typisk for danske forhold. Oppumpningen er på 15 mm/år svarende til godt 6% af nettonedbøren. Det samlede bidrag til vandløb er på 218 mm/år, heraf 68 mm/år fra overfladisk afstrømning, 114 mm/år fra dræn og 37 mm/år (38-1) baseflow. Bemærk at afrunding til hele mm/år gør, at de tre bidrag til vandløbene giver en forskel på 1 mm/år. Randstrømningen er på i alt 33 mm/år (8+22+8-5) ud fa området – primært i den sydlige del af modelområdet ud til Vejle Fjord.

Magasineringen er samlet set på -24 mm/år, heraf -11 mm/år fra snemagasinering og -13 mm/år i den mættede grundvandszone (SZ magasineringsændring). Den negative snemagasinering på 11 mm/år virker voldsom, men det skyldes, at der ved start af perioden (1. januar 2011) lå ca. 65 mm sne i modelområdet, mens der i slutningen af perioden (31. december 2016) ikke var sne magasineret på overfladen. Havde perioden i stedet været 2012-2016 havde snemagasineringen været 0 mm/år. Den negative SZ magasineringsændring skyldes, som tidligere nævnt, at modellen er længe om at indstille sig på trods af en lang opvarmningsperiode, og ikke at der sker en overudnyttelse af magasinet.

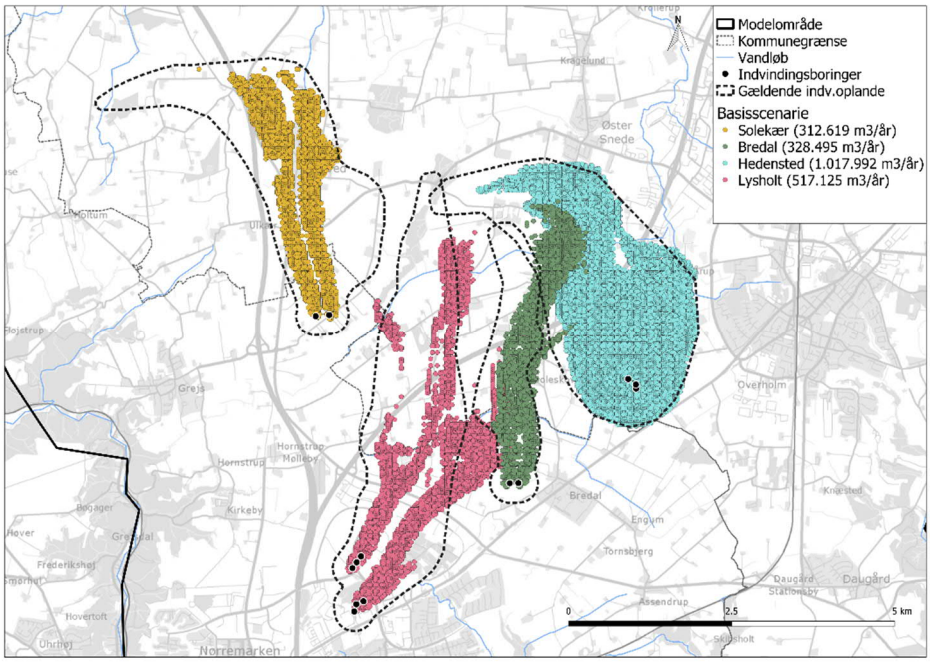


Figur 6-1 Vandbalance for perioden 2011-2016 i basisscenariet. Enhed i mm/år.

De simulerede indvindingsoplande for basisscenariet ses af Figur 6-2 og Bilag F. Indvindingsoplandet for Solekær ligger isoleret for sig selv, mens de tre resterende oplande ligger i samme område og "slås om vandet" – især Bredal og Hedensted. Oplandene varierer generelt en smule i retning og størrelse fra /1/, hvilket kan forklares ved, at i en dynamisk model vil variationen i klimadata bevirke, at grundvandsstrømningen varierer i retning, hvorved indvindingsoplandet bliver bredere end ved en stationær beregning. Desuden kan en mindre forskel i placeringen af grundvandsskel bevirke, at oplandenes placering ændres. Alt i alt vurderes indvindingsoplandene at være troværdige.

Hedensted kildeplads indvinder i basisscenariet den største mængde vand og har derfor det største opland.

På figurerne 6-2, 6-4 til 6-8 og Bilag F er vist de indvindingsoplande som Miljøstyrelsen har udpeget på baggrund af modelberegningerne med den stationære model /1/. Disse indvdingsoplande vil gælde fra efteråret 2019. Indvindingsoplandene er udpeget for de gældende tilladte indvindingsmængder angivet i Tabel 6-1.

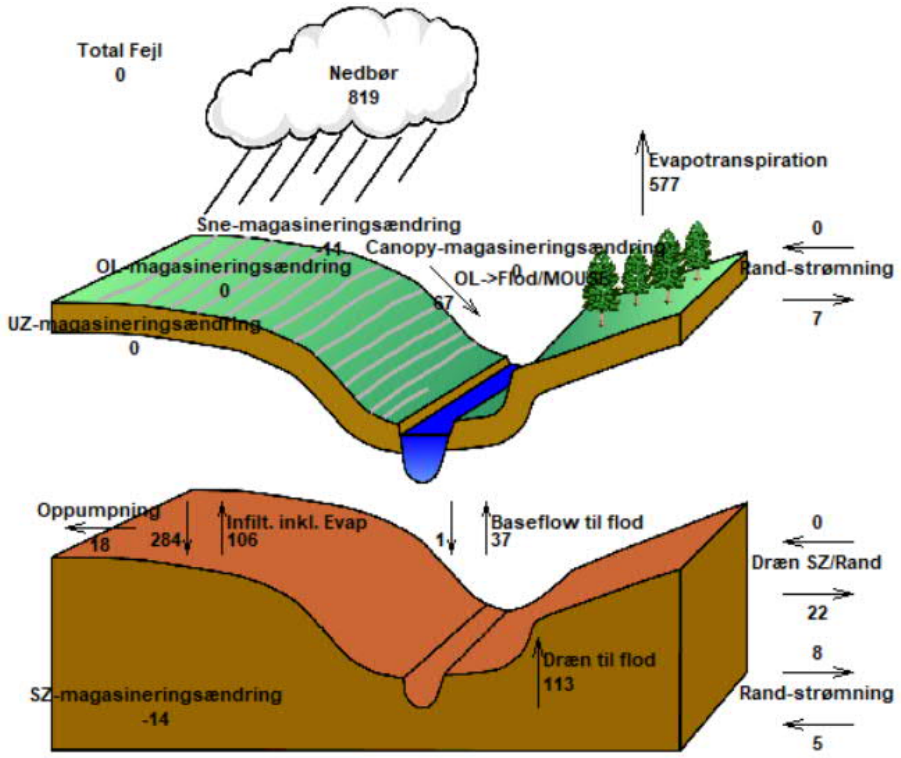


Figur 6-2 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i basisscenariet.

6.2 Scenarie 1

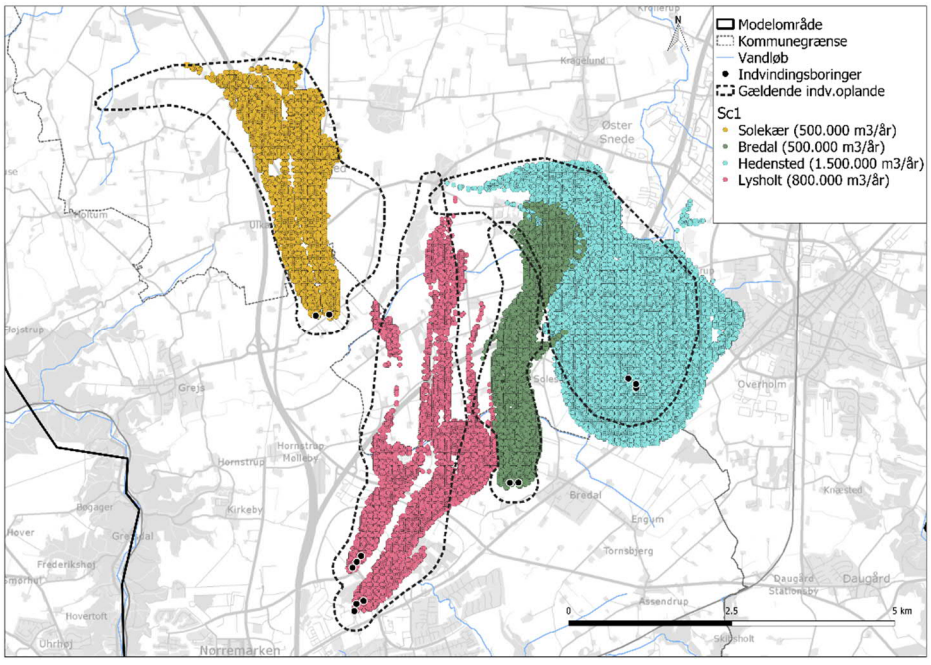
I Scenarie 1 fordeles indvindingen ligeligt mellem de to boringer på hhv. Bredal og Solekær kildeplads, mens de tre boringer ved Hedensted kildeplads også fordeles ligeligt med 1/3 af indvindingen til hver boring. Ved Lysholt kildeplads antages det, at boring 116.808 indvinder 5%, mens de resterende fem boringer hver indvinder 19%.

Figur 6-3 viser vandbalancen for scenarie 1. Ift. basisscenariet øges indvindingen fra ca. 2,18 mio. m³/år til 3,3 mio. m³/år for de fire TREFOR kildepladser, hvilket svarer til at oppumpningen i modellen øges fra 15 til 18 mm/år. Afrundet til 1 decimal øges oppumpningen faktisk kun fra 15,1 mm/år til 17,6 mm/år, dvs. 2,5 mm/år. Dette påvirker den samlede vandbalance for modelområdet marginalt, idet magasineringen i den mættede zone reduceres fra -13 til -14 mm/år. Det samlede bidrag til vandløb reduceres i modellen fra 218 til 217 mm/år, dvs. ligeledes med 1 mm/år. Den sidste 1 mm/år skyldes at randstrømningen reduceres fra 8 mm/år til 7 mm/år.



Figur 6-3 Vandbalance for perioden 2011-2016 i scenarie 1. Enhed i mm/år.

De simulerede indvindingsoplande for scenarie 1 ses af Figur 6-4 og Bilag F. Indvindingsoplandenes udseende og retning ligner dem for basisscenariet, men oplandene er generelt større grundet den øgede indvinding på alle kildepladser. Dette betyder blandt andet, at oplandet til Hedensted strækker sig længere mod øst.



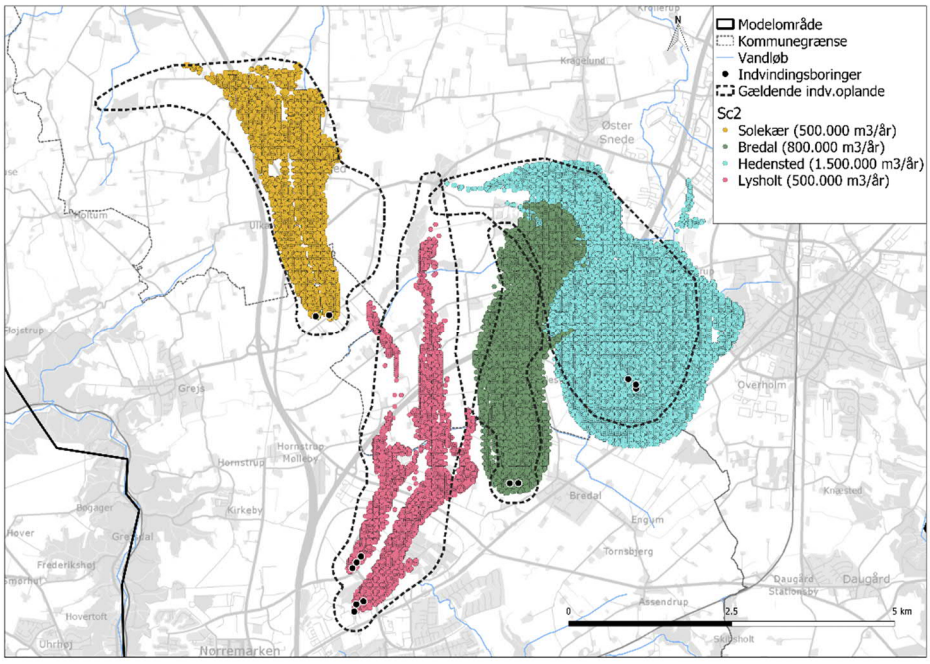
Figur 6-4 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i scenarie 1.

Ændringen i sænkningen i de dybereliggende grundvandsmagasiner af den øgede indvinding ift. basisscenariet ses af Bilag C (øvre sand) og Bilag D (nedre sand). I øvre sand ses en ændring i sænkningen i området omkring de fire kildepladser på mellem 0,5 m og 1 m (lige omkring Hedensted indvindingsboringer ses dog sænkninger op til 2,6 m). Ændringerne i sænkningen mellem 0 og 0,5 m antages at ligge inden for naturlige variationer. De største ændringer i sænkningen ses omkring Hedensted kildeplads (som indvinder 1.500.000 m³/år) mens de mindste ændringer ses omkring Solekær (som indvinder 500.000 m³/år fra nedre sand). I nedre sand er sænkningsbilledet overordnet det samme som i øvre sand, blot med større udbredelse af sænkningstragtene. Dette skyldes, at de fleste af kildepladserne indvinder fra nedre sand. De største ændringer i sænkningen i ift. basisscenariet på op til 5,8 m ses igen ved Hedensted kildeplads.

6.3 Scenarie 2

I scenarie 2 fordeles indvindingen ligeligt mellem boringerne indenfor de fire kildepladser, dvs. 50/50 ved Bredal og Solekær, 1/3 til hver boring ved Hedensted og 1/5 til hver boring ved Lysholt. Idet den samlede indvinding er uændret ift. scenarie 1, er vandbalancen for det samlede modelområde også uændret.

De simulerede indvindingsoplande for scenarie 2 ses af Figur 6-5 og Bilag F. Indvindingsoplandenes udseende og retning ligner dem for scenarie 1, men oplandet til Bredal en smule bredere, mens oplandet til Lysholt er mindre, grundet den ændrede indvindingsstruktur de to scenarier imellem.



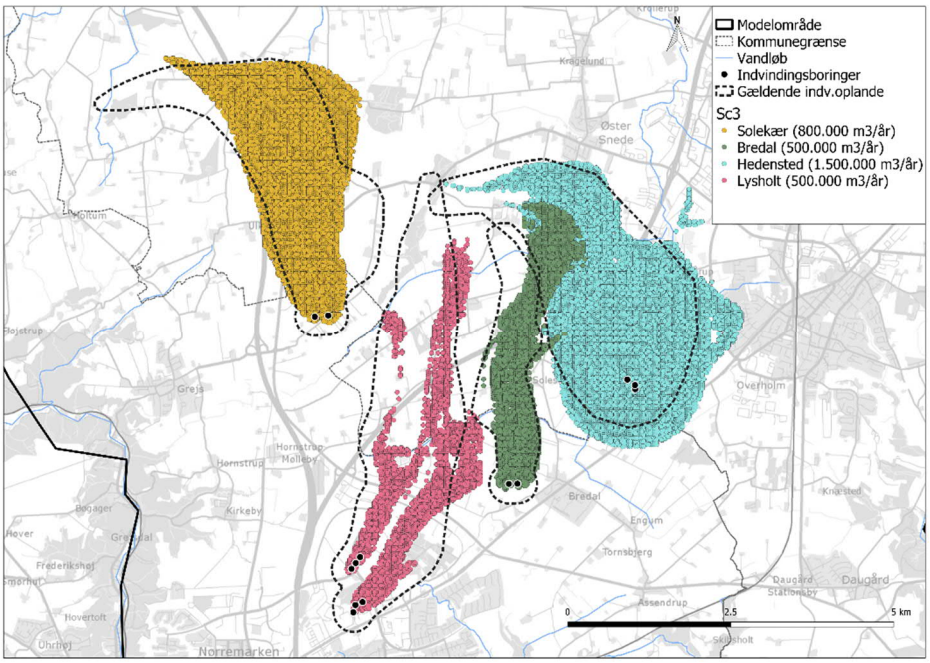
Figur 6-5 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i scenarie 2.

Ændringen i sænkningen i de dybereliggende grundvandsmagasiner af den øgede indvinding ift. basisscenariet ses af Bilag C (øvre sand) og Bilag D (nedre sand). I øvre og nedre sand ligner ændringen i sænkningerne dem, som er beskrevet i scenarie 1 med undtagelse af Lysholt kildeplads, hvor der ikke ses en ændring i sænkningen, da indvindingen er på samme niveau som i basisscenariet. Ændringerne i sænkningerne omkring Bredal er desuden lidt større end i scenarie 1, da Bredal i scenarie 2 indvinder 300.000 m³/år mere sammenholdt med scenarie 1. De største ændringer i sænkningen i øvre og nedre sand er hhv. 2,8 m og 6,1 m.

6.4 Scenarie 3

I scenarie 3 fordeles indvindingen ligeligt mellem boringerne indenfor de fire kildepladser, dvs. 50/50 ved Bredal og Solekær, 1/3 til hver boring ved Hedensted og 1/5 til hver boring ved Lysholt. Idet den samlede indvinding er uændret ift. scenarie 1, er vandbalancen for det samlede modelområde også uændret.

De simulerede indvindingsoplande for scenarie 3 ses af Figur 6-6 og Bilag F. Indvindingsoplandenes udseende og retning ligner dem for scenarie 2, men oplandet til Solekær er en del bredere og længere, mens oplandet til Bredal er mindre, grundet den ændrede indvindingsstruktur de to scenarier imellem.



Figur 6-6 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i scenarie 3.

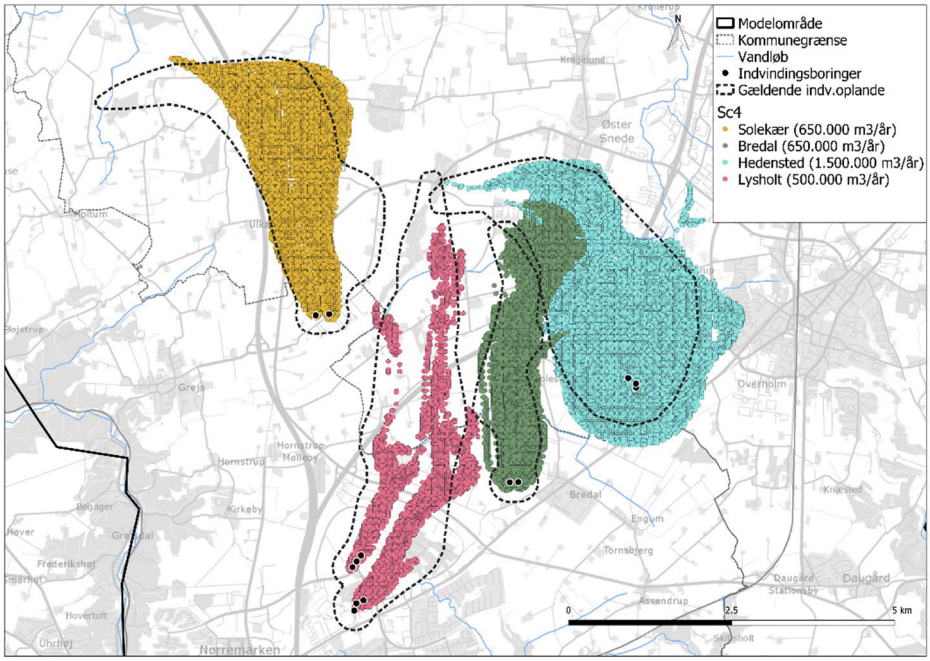
Ændringen i sænkningen i de dybereliggende grundvandsmagasiner af den øgede indvinding ift. basisscenariet ses af Bilag C (øvre sand) og Bilag D (nedre sand). I øvre og nedre sand ligner ændringerne i sænkningen dem, som er beskrevet i scenarie 2. Dog er ændringerne i sænkningen omkring Bredal mindre

og omkring Solekær større, grundet indvindingsstrukturen i scenarie 3. De største ændringer i sænkningen i øvre og nedre sand er hhv. 2,6 m og 5,8 m.

6.5 Scenarie 4

I scenarie 4 fordeles indvindingen ligeligt mellem boringerne indenfor de fire kildepladser, dvs. 50/50 ved Bredal og Solekær, 1/3 til hver boring ved Hedensted og 1/5 til hver boring ved Lysholt. Idet den samlede indvinding er uændret ift. scenarie 1, er vandbalancen for det samlede modelområde også uændret.

De simulerede indvindingsoplande for scenarie 4 ses af Figur 6-7 og Bilag F. Indvindingsoplandenes udseende og retning ligner dem for scenarie 3, men oplandet til Bredal bredere og længere, mens oplandet til Solekær er smallere, grundet den ændrede indvindingsstruktur de to scenarier imellem.



Figur 6-7 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i scenarie 4.

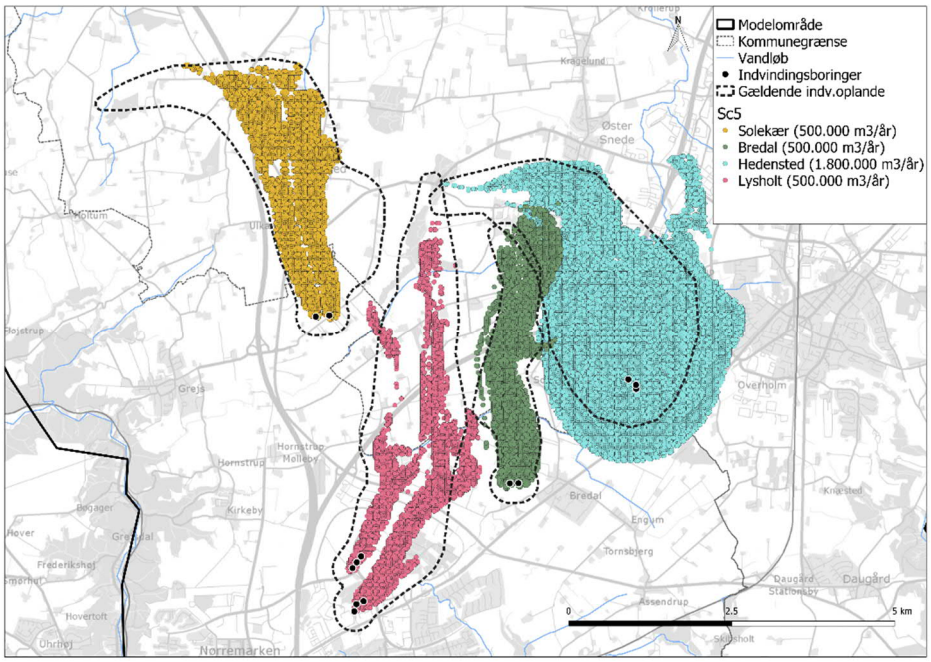
Ændringen i sænkningen i de dybereliggende grundvandsmagasiner af den øgede indvinding ift. basisscenariet ses af Bilag C (øvre sand) og Bilag D (nedre sand). I øvre og nedre sand ligner ændringerne i sænkningen i høj grad dem, som er beskrevet i scenarie 3, idet indvindingsstrukturen i scenarie 4 ikke er meget forskellig fra scenarie 3. De største ændringer i sænkningen i øvre og nedre sand er hhv. 2,7 m og 6,0 m.

6.6 Scenarie 5

I scenarie 5 fordeles indvindingen ligeligt mellem boringerne indenfor de fire kildepladser, dvs. 50/50 ved Bredal og Solekær, 1/3 til hver boring ved Hedensted

og 1/5 til hver boring ved Lysholt. Idet den samlede indvinding er uændret ift. scenarie 1, er vandbalancen for det samlede modelområde også uændret.

De simulerede indvindingsoplande for scenarie 5 ses af Figur 6-8 og Bilag F. Indvindingsoplandenes udseende og retning ligner dem for de foregående scenarier, men i dette scenarie har indvindingsoplandet til Hedensted kildeplads den største udbredelse sammenholdt med de andre scenarier.

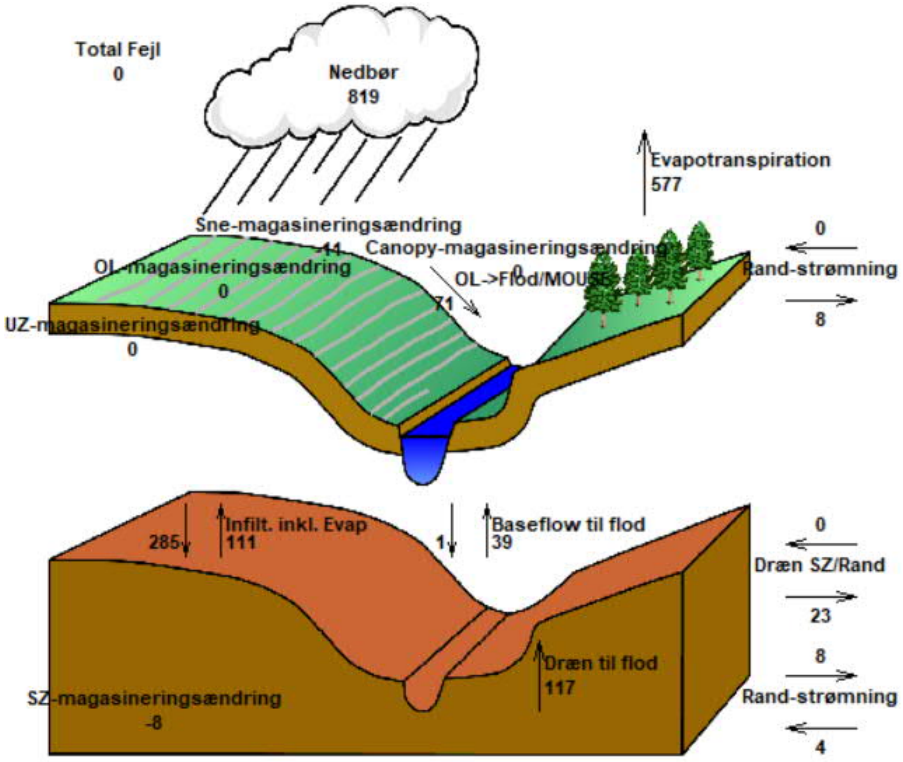


Figur 6-8 Indvindingsoplande (partikelsværme) for de fire kildepladser i scenarie 5.

Ændringen i sænkningen i de dybereliggende grundvandsmagasiner af den øgede indvinding ift. basisscenariet ses af Bilag C (øvre sand) og Bilag D (nedre sand). I øvre og nedre sand øges ændringerne i sænkningen omkring Hedensted kildeplads i forhold til de foregående scenarier, idet et større område omkring indvindingsboringerne ligger mellem 5 og 10 m, hvor ændringerne i sænkningen før lå mellem 2 og 5 m. Scenarie 5 er det scenarie hvor Hedensted kildeplads indvinder væsentlig mere end de andre kildepladser. De største ændringer i sænkningen i øvre og nedre sand er hhv. 4,1 m og 9,6 m. Hvis dette scenarie anvendes i fremtiden, bør der etableres flere boringer på kildepladsen, hvor i indvindingen fordeles.

6.7 Scenarie uden indvinding

Dette scenarie er lavet for at simulere en naturlig tilstand uden påvirkning fra vandindvinding. Dette scenarie kan sammenlignes med basisscenariet og de øvrige scenarier for at vurdere vandløbspåvirkningen. Vandbalancen for scenariet uden indvinding fremgår af Figur 6-9.



Figur 6-9 Vandbalance for perioden 2011-2016 uden indvinding. Enhed i mm/år.

Idet oppumpningen er 0, hvor den i basisscenariet og scenarie 1-5 var hhv. 15 mm/år og 18 mm/år, bliver denne vandmængde i stedet fordelt på de øvrige led i vandbalancen. Det samlede bidrag til vandløb øges med i alt 8-9 mm/år. Randstrømningen ud af området øges med 2 mm/år og magasineringen i den mættede zone øges med 5-6 mm/år.

6.8 Påvirkning af terrænnært grundvand og vandløb

På Bilag E er vist påvirkningen af det terrænnære grundvand i de fem scenarier. Der er kun vist påvirkning i områder, hvor det terrænnære grundvand i basisscenariet står tættere på terræn end 5 m. Det er således primært i lavninger og langs vandløb, at der ses en påvirkning af det terrænnære grundvand. Derudover er det kun relevant at se på de områder, hvor der findes beskyttet natur, hvorfor forskellige naturtyper er vist på Bilag E.

Lokalt er de største påvirkninger af det terrænnære grundvand 38-43 cm, dog 55 cm i scenarie 5, men disse påvirkninger er alle uden for de beskyttede naturområder. Inden for de beskyttede naturområder er den maksimale påvirkning på maksimalt 30-38 cm, som det fremgår af Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Maksimale påvirkninger (cm) af det terrænnære grundvand inden for de-beskyttede naturområder i forhold til basisscenariet med nuværende ind-vinding.

	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5
Bybækken	30	21	16	18	14
Sø/mose vest for Hedensted	24	27	25	26	38
Torup Bæk SØ for Hedensted	25	28	25	26	35

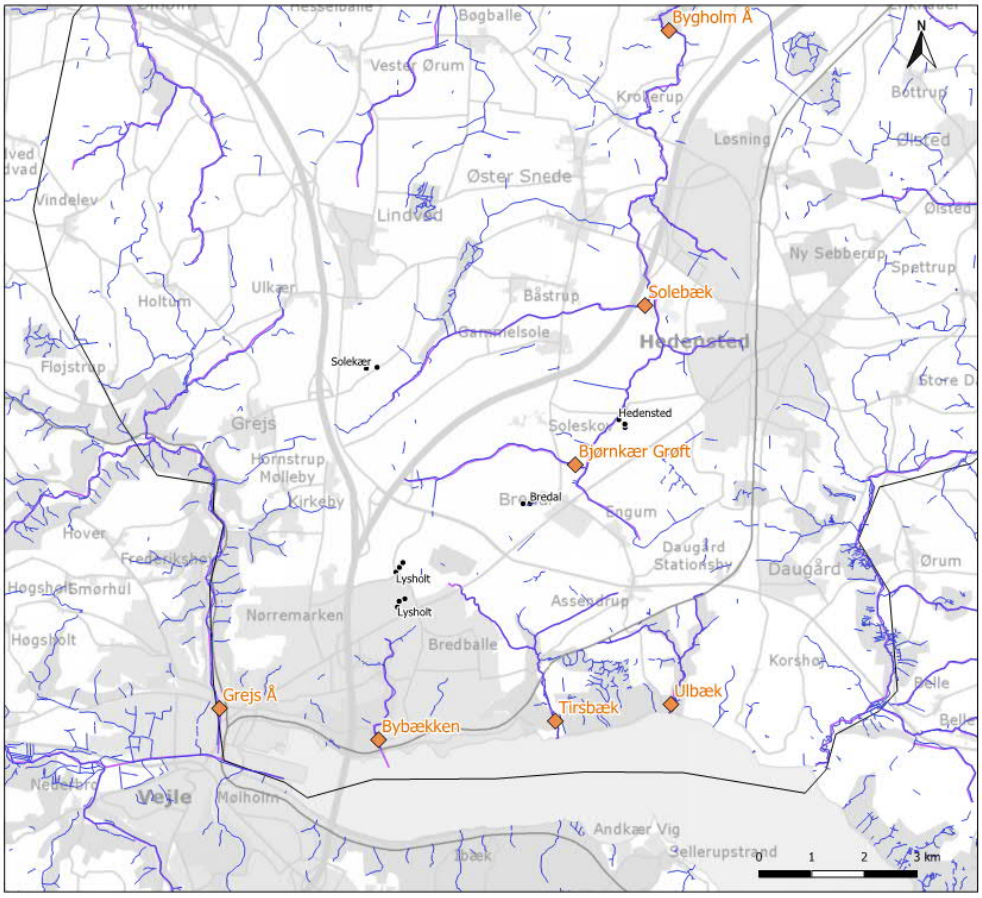
Vandføringen i vandløb i nærheden af TREFOR's indvindingsboringer er også un-dersøgt, som det fremgår af Tabel 6-4. Placeringen af de udvalgte vandløbs-punkter fremgår af Figur 6-10.

Tabel 6-4 Maksimal påvirkning af middelvandføring (%) i udvalgte vandløb i forhold til basisscenariet med nuværende indvinding.

	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Ingen indv.
Grejs Å	-1,4	-1,1	-1,3	-1,2	-0,9	+3,1
Bybækken	-1,7	-1,1	-0,9	-1,0	-0,8	+3,8
Tirsbæk	-4,1	-4,2	-3,1	-3,7	-3,4	+9,6
Ulbæk	-2,1	-2.6	-2,0	-2,3	-2,6	+5,8
Bjørnkær grøft	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sole Bæk	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	+1,1
Bygholm Å	-0.4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	+3,9

Som det fremgår af Tabel 6-4 er de maksimale påvirkninger af middelvandfø-ringen 4,2% i den nedstrøms del af Tirsbæk. Påvirkningen i opstrøms ender af vandløb er også undersøgt, men her ses der ingen nævneværdig forskel i mid-delvandføringen. Dvs. de maksimale forskelle i middelvandføringen ses i de ned-strøms ender af de forskellige vandløb, hvor det samlede opland til vandløbet er indeholdt. Desuden er minimumvandføringen undersøgt, men her ses ikke en nævneværdig forskel ift. basisscenariet.

I scenariet uden indvinding ses en stigning i middelvandføringen på op til knap 10%, dvs. at de nuværende forhold (basisscenarieret) påvirker vandføringen med maksimalt 10%, mens scenarierne påvirker vandføring med op til ca. 14% ift. en situation helt uden indvinding.



Figur 6-10 Placering af punkter (orange signatur), hvor middelvandføringen er undersøgt. Vandløb er vist med blå og vandløb i MIKE SHE er vist med lilla.

6.9 Sammenfatning af scenarier

I Tabel 6-5 ses en sammenfatning af vandbalancerne for de forskellige scenarier.

Tabel 6-5 Sammenfatning af vandbalancer ved de forskellige scenarier. Enhed i mm/år.

	Basis	Sc1-Sc5	Ingen indvinding
Nedbør	819	819	819
Fordampning	577	577	577
Nettonedbør	242	242	241
OL til vandløb	68	67	71
Dræn til vandløb	114	113	117
Baseflow til vandløb	37	36	38
Vandløb i alt	218	217	226
Oppumpning	15	18	0
Randstrømning (pos. ud)	33	33	35
Magasinering	-24	-25	-19
Vandbalancefejl	0	0	0

Som det fremgår af Tabel 6-5 er der for hele modelområdet ikke den store forskel på basisscenariet og de fem scenarier med øget indvinding. Vandbalancen er ens i de fem scenarier, når der afrundes til hele mm/år. Helt lokalt omkring de enkelte kildepladser vil der kunne være mindre forskelle i vandbalancen, men ikke i det overordnede billede. Den øgede indvinding i scenarierne svarer til en stigning fra 15 til 18 mm/år, hvilket resulterer i en mindre magasinering i grundvandet, vist i Tabel 6-5 som en samlet magasinering, der falder fra -24 til -25 mm/år. Denne millimeter er indenfor modelberegningernes usikkerhed. Som tidligere nævnt skyldes den negative magasinering, at modellen er længe om at indstille sig, og ikke at der sker en overudnyttelse af magasinet. Dette ses bl.a. af, at også scenariet uden indvinding giver en negativ magasinering.

Selv scenariet uden indvinding viser ikke en markant ændring i den overordnede vandbalance i området. De 15 mm/år som går til indvindingen i dag, fordeles primært på en øget tilstrømning til vandløb (+8 mm/år) og en højere magasinering i grundvandszonen (+5 mm/år). Desuden ses en anelse større udstrømning til randen og fordampning (+2 mm/år) idet grundvandet vil stå tættere på terræn.

Påvirkningen af grundvandsstanden viser lokale sænkninger i de dybereliggende grundvandsmagasiner på op til ca. 4 m i det øvre sand og op til knap 10 m i det nedre sand, men i langt størstedelen af området er sænkningerne væsentlig mindre. De forskellige scenarier minder meget om hinanden for den samlede udbredelse af områder, der sænkes mere end 0,5 m, og de største forskelle ses helt lokalt omkring indvindingsboringerne.

Det terrænnære grundvand sænkes maksimalt med 38-43 cm (dog 55 cm i scenarie 5), inden for områderne, hvor grundvandet i basisscenariet står højere end 5 m under terræn. Inden for de beskyttede naturområder er den maksimale påvirkning imidlertid kun 30-38 cm.

Vandløbspåvirkningen viser, at middelvandføringen maksimalt reduceres med 4,2% ift. basisscenariet. Der er undersøgt flere vandløb og flere forskellige punkter, men altså maksimalt en påvirkning på 4,2% i et enkelt vandløb (Tirsbæk). Der er også set på påvirkningen af minimumvandføringen, men da de omkringliggende vandløb også har en lav vandføring i basissituationen, giver de fem scenarier ingen nævneværdig reduktion af minimumvandføringen. I øvrigt viste en simulering helt uden indvinding, at middelvandføringen "kun" ville være knap 10% højere. Dvs. i runde tal kan man sige, at indvindingen i dag påvirker vandløbene med knap 10% og et fremtidigt scenarie vil maksimalt påvirke vandløbene med ca. 14% ift. ingen indvinding overhovedet.

Generelt er der ikke store forskelle i påvirkningerne af det terrænnære grundvand og vandføringerne i vandløbene de forskellige indvindingsscenarier imellem.

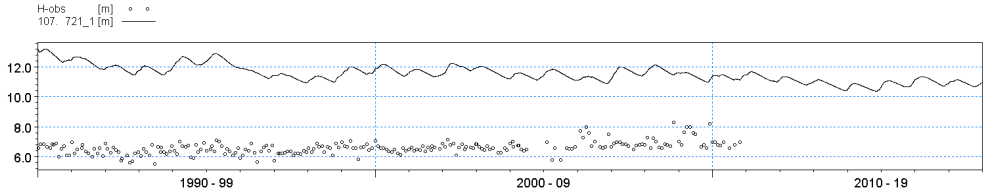
7 Referencer

1 Rambøll (2019): Hydrologisk model - Hedensted 2017.

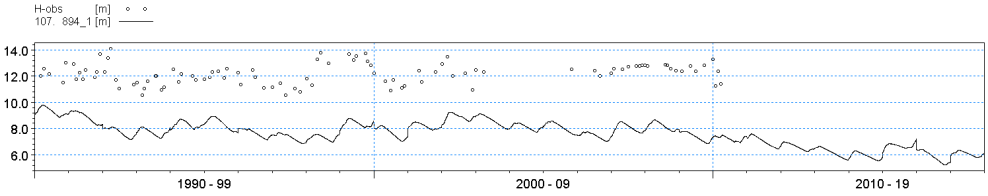
2 GEUS (2014): NOTAT: Præcisering af anbefalinger i GeoVejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande.

3 GEUS (2010): God praksis i hydrologisk modellering. Geo-vejledning 7.

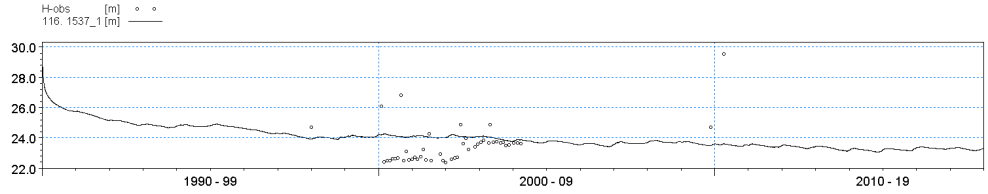
Bilag A Udvalgte pejleboringer



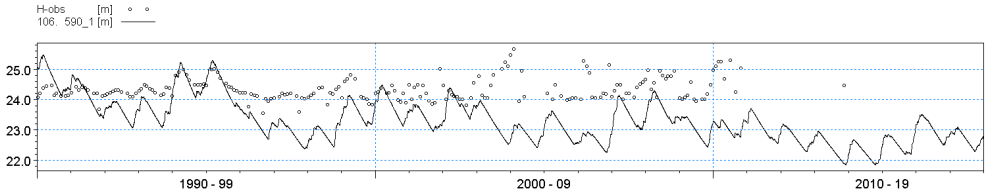
Modellag 4 (øvre sandlag), nordlig del af modelområdet – moniteringsboring.



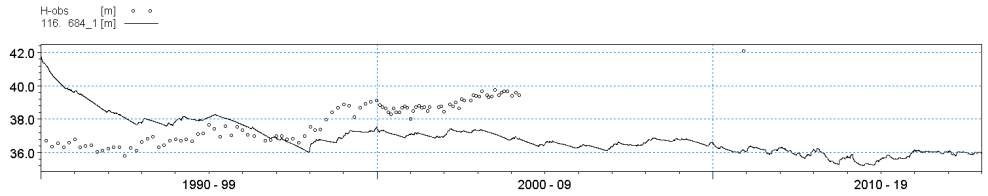
Modellag 6 (mellemliggende sandlag), nordlig del af modelområdet.



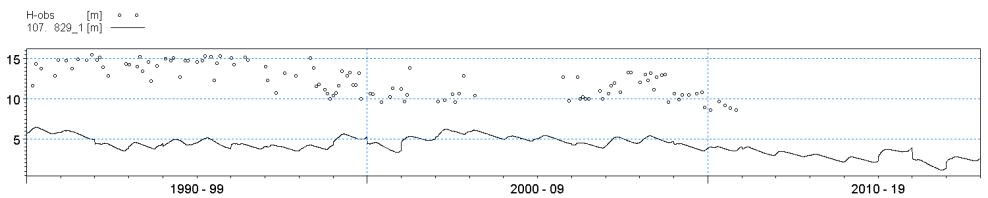
Modellag 11 (nedre sandlag), sydlig del af modelområdet.



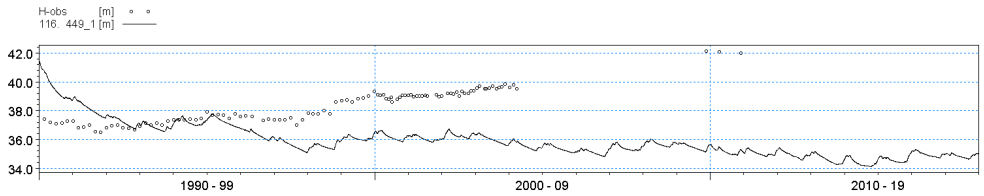
Modellag 4 (øvre sandlag), nordlig del af modelområdet.



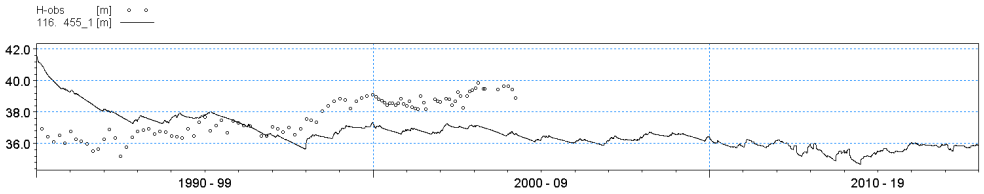
Modellag 4 (øvre sand). Indvindingsboring sløjfet 1/12-2010.



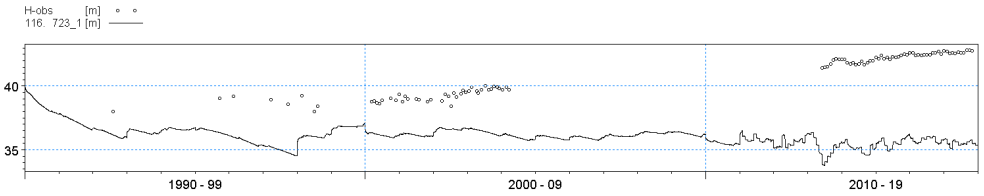
Modellag 6 (mellemliggende sandlag), nordlig del af modelområdet.



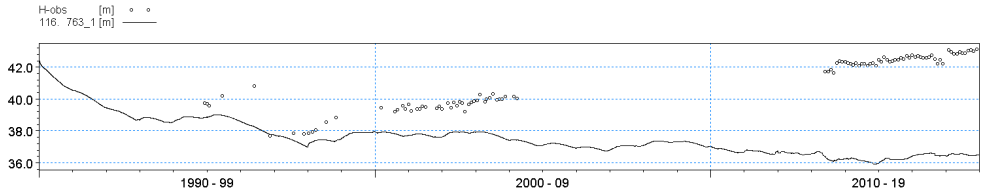
Modellag 9 (mellemliggende sandlag), sydlig del af området.



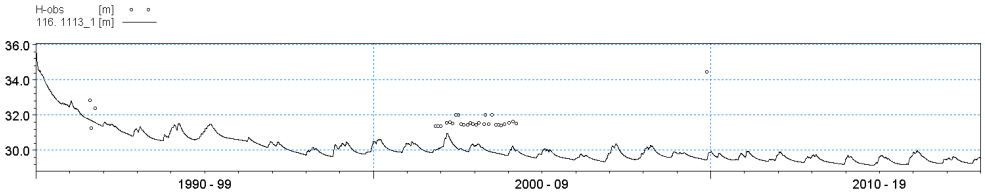
Modellag 7 (mellemliggende lerlag), sydlig del af området.



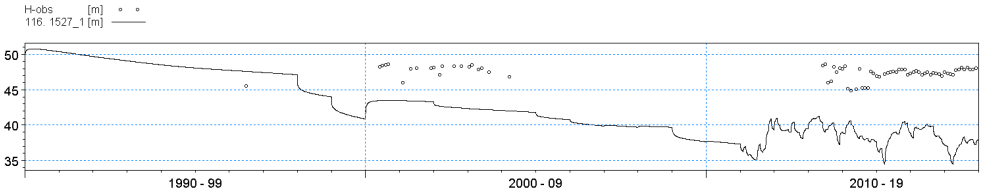
Modellag 11 (nedre sand). Indvindingsboring (Lysholt kildeplads).



Modellag 4 (øvre sand). Indvindingsboring (Lysholt kildeplads).

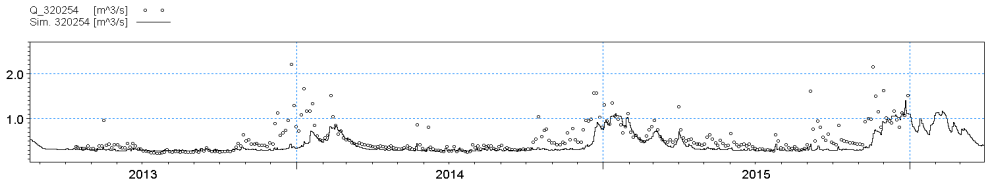


Modellag 7 (mellemliggende lerlag), sydlig del af området.

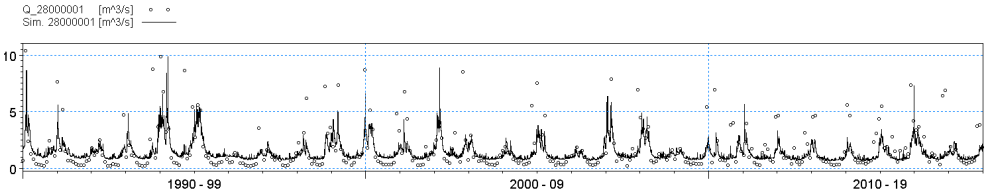


Modellag 11 (nedre sand). Indvindingsboring (Hedensted kildeplads).

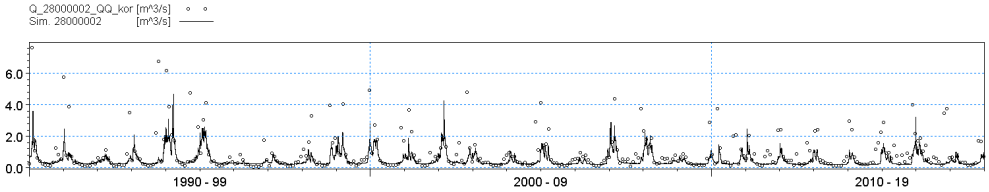
Bilag B Udvalgte eksempler på kalibrering af vandføringen



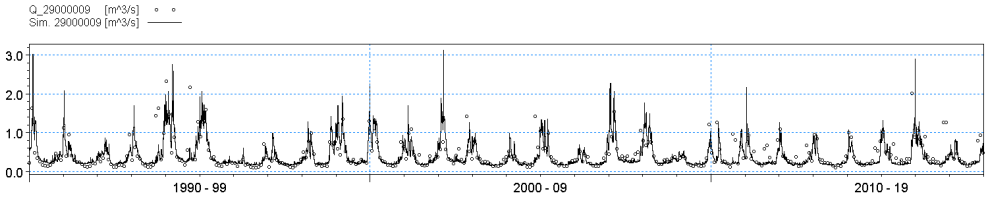
Grejså. Ligger på modelranden, <3 års data. Lave vandføringer ok, men underestimerer de høje vandføringer.



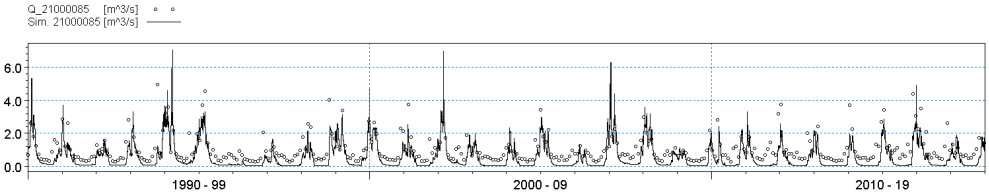
Bygholm Å. Midt i modelområdet, 28 års data. Generelt ok, men overestimerer de lave vandføringer.



Gesager Å. Midt i modelområdet, baseret på en QQ-relation. De lave vandføringer er ok, mens de høje er mindre gode.



Rohden Å. Ligger på modelranden mod syd, 28 års data. OK simulering.



Gudenå. Ligger på modelranden, 28 års data. Underestimerer de lave vandføringer.

Bilag C Afsænkning scenarie 1-5, øvre sand

Bilag D Afsænkning scenarie 1-5, nedre sand

Bilag E Afsænkning scenarie 1-5, terrænnært grundvand

Bilag F Indvindingsoplande basis + scenarie 1-5