

# **Modellering af vand og stoftransport i mættet zone i landovervågningsoplandet Odderbæk (LOOP2)**

## **Delrapport 1 Beskrivelse af modelopsætning**

Jeppe Rølmer Hansen  
Per Rasmussen  
GEUS 31.03.2006

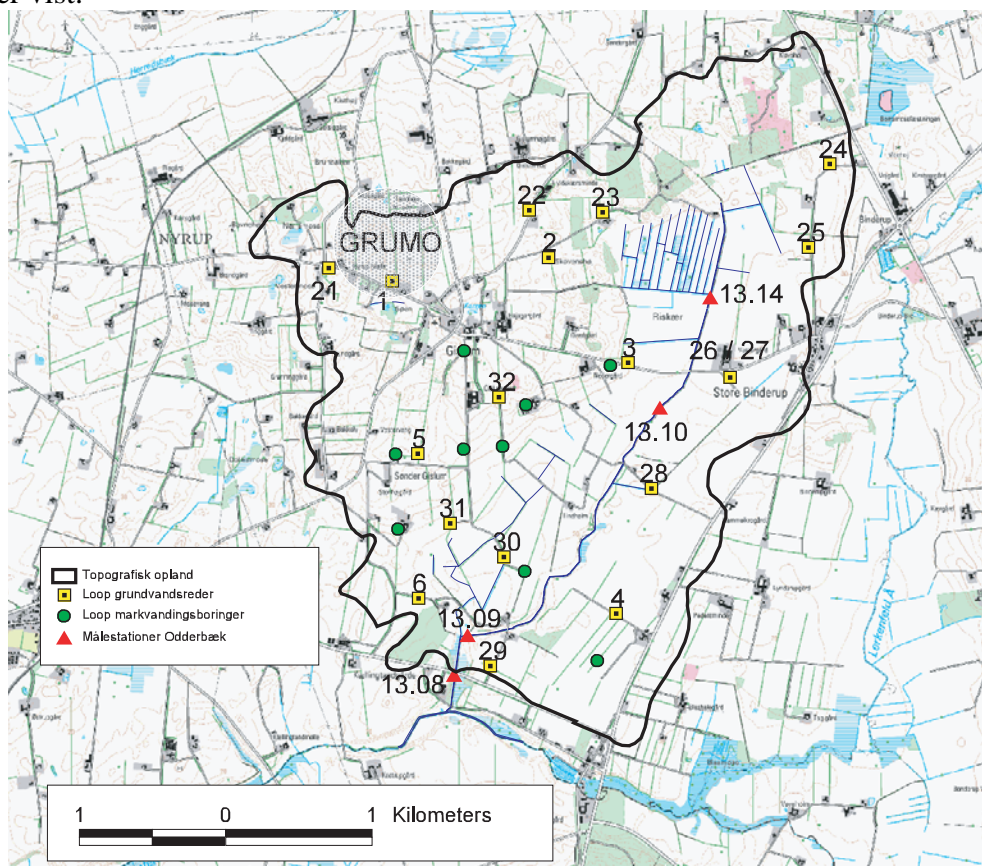
# Indholdsfortegnelse

<b>BESKRIVELSE AF MODELOPSÆTNING .....</b>	<b>2</b>
OPLANDSBESKRIVELSE .....	2
<i>Beskrivelse af observationsdata</i> .....	2
PROBLEMSTILLING .....	3
BESKRIVELSE AF ANVENDTE MODELKODER OG KOBLING MELLEM DEM .....	3
<i>Nettonedbør i MIKE SHE</i> .....	4
<b>REVISION OG OPDATERING AF EKSISTERENDE GRUNDVANDSMODEL .....</b>	<b>5</b>
BESKRIVELSE AF DHI PESTICID MODEL .....	5
<i>Konvertering til ny model version</i> .....	6
<i>Konvertering til nyt datum</i> .....	6
HYDROGEOLOGISK MODEL .....	6
<i>Den geologiske model</i> .....	6
<i>Højdemodel</i> .....	7
<i>Den hydrologiske model</i> .....	8
<b>KONCEPT FOR KVÆLSTOF MODELLERING .....</b>	<b>14</b>
ANALYSE AF EKSISTERENDE DATA .....	15
OPSTILLING AF KONCEPT FOR NITRATREDUKTION I DEN MÆTTEDE ZONE .....	17
<i>Mættet zone</i> .....	17
<i>Vådområder</i> .....	17
<i>Linser</i> .....	18
<i>Indkøring af koncept i forhold til modellens beregningslag</i> .....	18
<b>MODELBEREGNINGERNE .....</b>	<b>21</b>
KVALITATIVE KRAV TIL MODELLEN .....	21
KVANTITATIVE KRAV TIL MODELLEN .....	21
<i>Trykniveauer</i> .....	22
<i>Vandføring</i> .....	22
RESULTATER FRA INDLEDENDE TESTKØRSLER .....	22
<i>Den gamle modelopsætning</i> .....	22
<i>Den nye modelopsætning</i> .....	27
STOFTRANSPORT .....	33
<b>SAMMENFATNING .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCER .....</b>	<b>35</b>

## Beskrivelse af modelopsætning

### Oplandsbeskrivelse

Landovervågningsoplandet Oddebæk (LOOP2) har et topografisk opland på ca. 11450 ha. Oddebæk oplandet er vist i figur 1.1, hvor også Oddebæk og Lerkenfeld Å, som Oddebæk løber ud i, er vist.



Figur 1.1: Det topografiske opland til landovervågningsoplandet Oddebæk samt placeringen af LOOP grundvandsreder, LOOP markvandingsboringer, målestationer og GRUMO område. KMS 1:25000 grundkort.

### Beskrivelse af observationsdata

I oplandet til Oddebæk er der oprettet 6 stationsmarker med jordvandsstationer, 2 grundvandsreder og 1 pejleboring pr. lokalitet (lokalitet 1-6 i figur 1.1). Ydermere 12 grundvandsreder med pejleboring uden jordvandsmålinger (lokalitet 21-32). Udover prøvetagning i grundvandsreder er der lejlighedsvis udtaget prøver fra en række markvandingsboringer, som er vist med grønne prikker i figur 1.1. Derudover ligger der et GRUMO område i den nordvestlige del af oplandet. Se figur 1.1. Der er udført afstrømningsmålinger 3 steder langs Oddebæk (station 13.08, 13.09 og 13.14) og desuden målt udstrømning fra et drænoiland ved station 13.10.

### Pejledata

Der foreligger 17 mere eller mindre komplette pejleserier fra perioden 1991-2005 fra LOOP pejleboringer ved grundvandsrederne placeret som vist i figur 1.1. Derudover findes 9 pejleserier fra GRUMO boringer fra perioden 1989-1999.

### Grundvandskoncentrationer

Ved hver grundvandsrede er der filtre 1.5 meter under terræn (mut), 3 mut og 5 mut. Der er dog ikke prøver fra alle filterdybder ved de pågældende grundvandsreder. I alt findes nitratmålinger ved

16 grundvandsreder i perioden 1989-2004. For grundvandsrederne 3, 4 og 6 er der målinger to sæt målinger (fra venstre og højre grundvandsrede). Ud over nitratmålinger i grundvandsrederne er målt nitratkoncentrationer i 9 markvandingsboringer med filterdybder mellem 7 og 58 mut. I disse boringer er primært målinger foretaget i perioden fra 1989-1997. Ud over disse findes målinger af nitrat i 12 GRUMO boringer med filterdybder fra 9 til 109 mut i perioden 1989-2004.

#### *Vandføring og kvælstof transport*

Der er målinger af daglige vandføringer i Odderbæk ved:

- Station 13.08 i perioden 1989-2004. Ved denne station er der ligeledes målinger af totalkvælstof.
- Station 13.14 ved udløb fra Riskjær i perioden 1989-1997.
- Station 13.09 opstrøms indløbet fra afløbet fra Gislum Enge i perioden 1989-1992

Desuden er der målinger af drænafstrømning fra drænoplandet ved stationen 13.10 i perioden 1989-2004.

#### *Problemstilling*

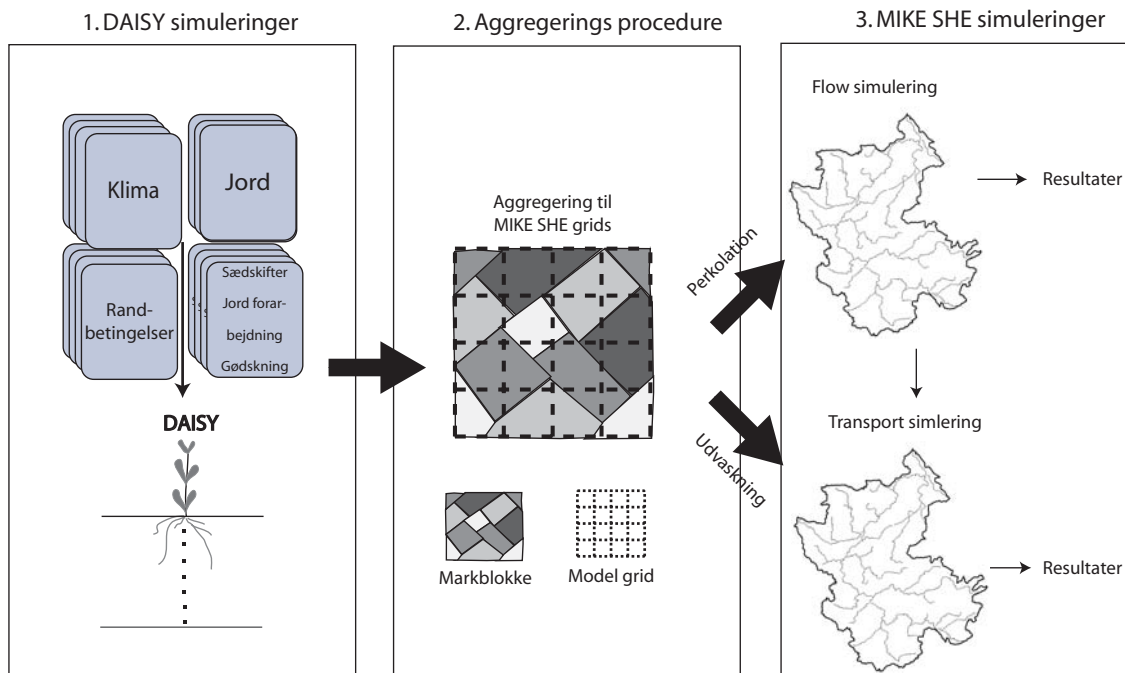
Landovervågningsprogrammet blev iværksat i 1989. Målet med dette program er at kortlægge udviklingen i landbrugspraksis, at bestemme næringsstofudvaskningen og næringsstoftransporten til vandløbene samt at vurdere landbrugspraksis betydning for grundvandskvaliteten som følge af vandmiljøplanerne. En udbredelse af DAISY til hele oplandet vil gøre det muligt at lave modelberegninger for næringsstofudvaskningen for hele oplandet, dette udføres i parallelprojekt af DMU. Desuden vil det være muligt at lave scenarieberegninger af hvilke effekter ændringer i landbrugspraksis har på udvaskning af kvælstof fra rodzonen. Anvendes disse resultater sammen med en grundvandsmodel giver det samtidigt mulighed for at belyse effekter på grundvandskvalitet samt på kvælstofafstrømning til vandløbet.

Formålet med oplandsmodelleringen er:

1. At afstemme vandbalancer, herunder at få afgrænset det hydrologiske opland
2. At vurdere tidsforsinkelser i kvælstofafstrømning til vandløb
3. At tilvejebringe værktøjer der fremover kan anvendes til at lave scenarieberegninger af hvilken effekt ændringer i landbrugspraksis har på udvaskning af kvælstof fra rodzone samt på kvælstofafstrømning til vandløb

#### *Beskrivelse af anvendte modelkoder og kobling mellem dem*

Ved hjælp af den dynamiske model DAISY laves beregninger på vandbalancen og nitratudvaskningen for rodzone og umættet zone for hele oplandet. DAISY beregningerne anvendes som vand og stof input til en integreret grundvands- og overfladevandmodel for oplandet (MIKE SHE / MIKE 11). Modellerne er ikke koblet men i stedet køres modellerne sekventielt. Det vil sige først gennemføres alle kombinationer af DAISY beregninger for hele oplandet. Disse søjle beregninger distribueres i grundvandsmodellen, hvor der først simuleres vandets strømning og dernæst stoftransport. Dette forløb er illustreret i figur 1.2. DAISY beregningerne udføres og fordeles i de markblokke, hvor de er repræsenteret i oplandet. Herefter aggregeres DAISY output til grid værdier, som kan bruges som nettonedbørs og nettonitratudvaskning i MIKE SHE. Dernæst simuleres grundvands- og vandløbsafstrømning med grundvandsmodellen. Til sidst simuleres transport og nedbrydning af nitrat i oplandsmodellen på baggrund af strømningsmodellen og DAISY simuleret udvaskning. En nærmere beskrivelse af modelkoderne DAISY og MIKE SHE og deres anvendelse til kvantificering af næringsstoffers transport er behandlet af Nielsen et al. (2003).

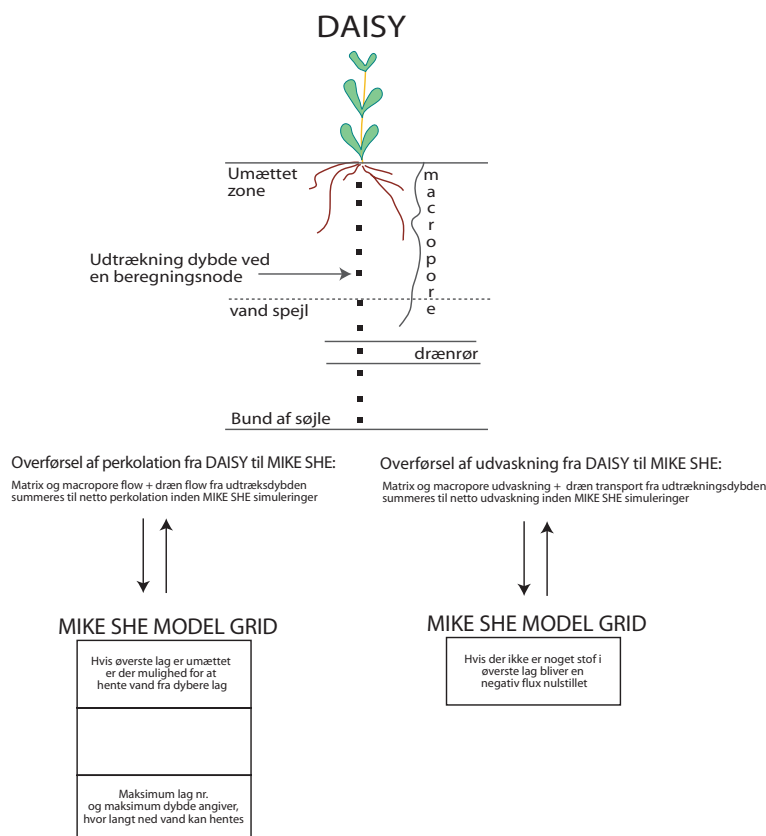


Figur 1.2. Illustration af det sekventielle forløb ved kombinerede DAISY og MIKE SHE oplandsberegninger.

### Nettonedbør i MIKE SHE

De klimatiske data beskrives i detaljer i forbindelse med DAISY modellering for oplandet af DMU i parallelt projekt.

MIKE SHE modtager nettonedbør fra DAISY som direkte input til den mættede zone, da beregninger i den umættede zone udføres i DAISY. Nettonedbøren er summen af matrix perkolatión, makropore og drænstrømning i DAISY modellen. MIKE SHE fordeler selv vandet mellem drænastrømning og infiltration til dybere lag. Begrebet nettonedbør dækker over at der også kan angives et negativt input i grundvandsmodellen. Det er muligt at trække vand fra den øverste del af den mættede zone svarende til den angivne negative nettonedbør. Dette kan være nødvendigt i perioder med stor fordampning, hvor der kan simuleres en opadgående vandflux med DAISY i den dybde man har valgt at trække den simulerede perkolatión ud fra DAISY – kaldes udtræknings eller log-dybden, se figur 1.3. I MIKE SHE kan man specificere hvor langt nede man tillader at den negative nettonedbør kan hentes (max dybde og modellag). Dette er illustreret i figur 1.3. Hvis den negative nettonedbør overstiger den tilgængelige vandmængde i øverste modellag anvendes vand fra laget nedenunder, hvis den specificerede maksimale dybde og modellag tillader det. Såfremt den nødvendige vandmængde ikke er tilstede oven over den maksimale dybde og modellag, bliver den overstigende negative nettonedbør ikke anvendt, men nul-stillet. Det er vigtigt at nulstillede vandmængde i MIKE SHE ikke er for stor, da man således ikke regner med den samme vandbalance, som beregnet med DAISY.



Figur 1.3: Anvendelse af nettonedbør og nettonitrogen flux ved sekventiel kobling mellem DAISY og MIKE SHE.

Analogt med nettonedbøren simuleres også en nettonitrogen flux i den valgte udtrækningsdybde i DAISY. Netto fluxen er summen af ammonium-N og nitrat-N via de samme transportveje som nettonedbøren. I perioder med en negative vandflux vil der også simuleres en negativ nitrogen flux. Det er også muligt at angive en negativ nitrogen flux i grundvandsmodellen, dog er det ikke muligt at angive hvor langt ned man vil tillade dette, men blot specificere i hvilket modellag nettonitrogen fluxen skal anvendes, som regel øverste lag. I tilfælde af at der ikke er noget stof tilgængeligt i den pågældende lag pga. nedbrydning eller transport væk der fra vil en eventuelt negativ nitrogen flux nulstilles, da der naturligvis ikke tillades negative stofmængder i MIKE SHE. Se figur 1.3. På grund af den manglende kobling er derfor en risiko for at udvaskningen anvendt i MIKE SHE overestimeres, hvis en del negativ nitrogen flux nul-stilles.

## Revision og opdatering af eksisterende grundvandsmodel

### Beskrivelse af DHI pesticid model

I forbindelse med et pesticid modellerings projekt udført for Miljøstyrelsen (Styczen et al., 2004) blev der opstillet en integreret oplandsmodel for landovervågningsoplandet Oddebæk. Den pågældende oplandsmodel er en MIKE SHE og MIKE 11 model, som indeholder en koblet beskrivelse af den umættede og mættede zone samt overflade og vandløbsafstrømning. Modellen er opstillet i et 50 x 50 meter grid (0.25 ha) for et område som er lidt mindre end det topografisk opland i et forsøg på at få vandbalancen til at passe ved at afgrænse grundvandsoplandet til Oddebæk. Det anvendte modelopland havde et areal på 982.25 ha (3929 beregningsceller inden for modelranden). Opstillingen af denne model er beskrevet i detaljer i (Styczen et al., 2004). Modellen vil herefter blive refereret, som "den gamle model".

### **Konvertering til ny model version**

Den gamle model lå ved projektstart, som input filer til en ældre version af MIKE SHE model koden (version 2001). Da der er sket forbedringer af såvel modelkode samt grafisk brugerflade blev den gamle model konverteret til det nye format fra starten af projektet. Dette indebar en konvertering af alle modelfiler samt observerede data, som anvendes i modelsammenhæng, til de filformater der anvendes i den nyeste modelversion (MIKE SHE version 2005 Service Pack 3).

### **Konvertering til nyt datum**

I forbindelse med omarbejdning af den gamle model til den nyeste version af MIKE SHE blev det valgt at konvertere alle modeldata fra det forældede UTM 32 datum ED50 til det nyere EUREF89 datum. Ved konverteringen blev alle input filer hentet ind i GIS programmet ArcView og gemt som shape filer, som dernæst blev konverteret til nye shape filer med EUREF89 datum. Denne konvertering blev udført med Kort og Matrikelstyrelsens transformationsværktøj "KMS ESRI Shape Transformation 1.7". Generelt lå forskellen fra det gamle til nye datum på 81 meter i vestlig og 207 meter i sydlig retning. Efter kontrol af at de transformerede shape filers placering i ArcView blev de eksporteret til MIKE SHE og MIKE 11 filer.

### *Hydrogeologisk model*

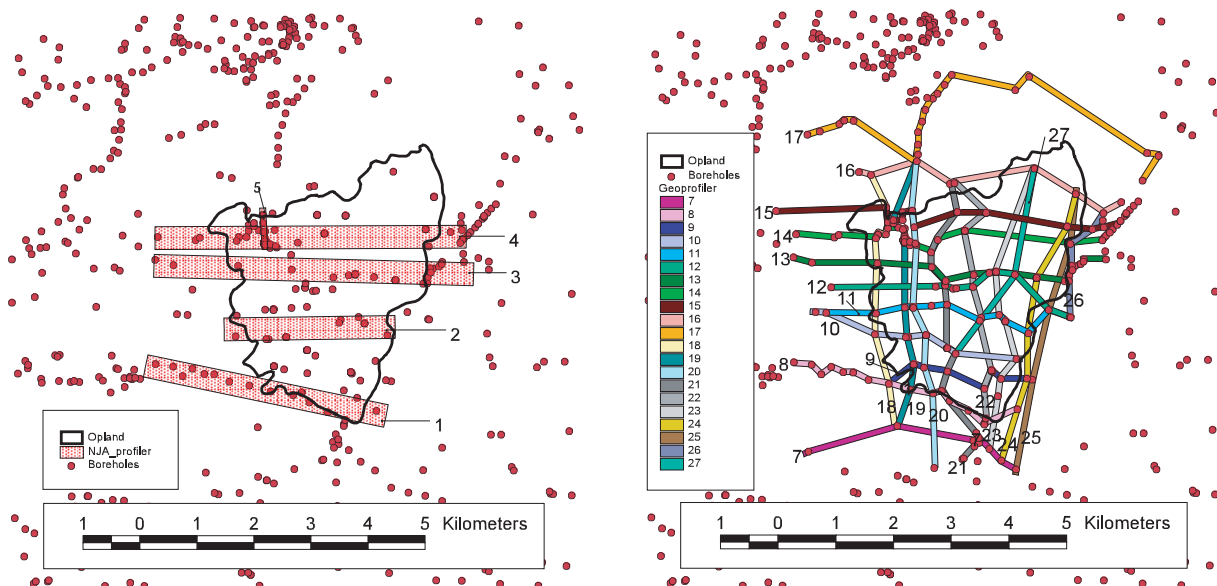
#### **Den geologiske model**

Den geologiske model anvendt i den gamle model opstilling for Odderbæk var tolket i ArcView værktøjet GeoEditor af Styczen et al. (2004) på baggrund eksisterende boringer på dette tidspunkt samt de hydrogeologiske rapporter (DGU, 1989) og (Nordjyllands Amt, 1998). Geologien i området blev konceptualiseret i den geologiske tolkning ved to sandlag adskilt af et sammenhængende lerlag. Bunden af det nederste sandlag antages at have kontakt med endnu et lerlag, dette er ikke medtaget i den geologiske model i MIKE SHE, men bunden af grundvandsmodellen antages at være impermeabel. Der eksisterer sandsynligvis et tredje og dybere magasin i nogle dele af området, men dette blev heller ikke medtaget i den geologiske model i MIKE SHE, da det ikke menes at have ringe kontakt til Odderbæk og dermed ingen betydning for vandbalance og kvælstoftransport i bækken. Endvidere blev der indført en større lerlinse omkring Gislum GRUMO området på baggrund af boringer og tilstedeværelsen af en sø i området, hvor vandspejlet ellers generelt ligger adskillige meter under terræn. Den eksisterende geologiske model dækkede kun et begrænset område svarende til det topografiske opland, hvorfor det var nødvendigt at udvide den geologiske tolkning til et større område i tilfælde af at modelafgrænsningen dækker et større område.

Ved den nærværende gennemgang og revision af den geologisk model blev der oprettet en nyt GeoEditor projekt, hvor den geologiske model blev undersøgt langs 26 profiler og sammenholdt med nedenstående data:

- 435 boringer i Jupiter databasen med lithologisk information inden for 10 x 10 km kvadrat (startpunkt i E 527000, N 6286000), hvoraf de 85 ligger inden for de topografiske opland til Odderbæk, se figur 1.4.
- Digitalt jordartskort (1:25000) baseret på scanning af jordartskort publiceret i (DGU, 1988)

Placeringen af profilerne er vist i figur 1.4. Profil 1-5 er placeret omtrent samme sted, som de geologiske profiler i tidligere rapport (Nordjyllands Amt, 1998). Resten af profilerne (7-27) er trukket gennem borerne, hvorfor der stort set ikke er nogen projektfjøl. Alle profilerne er vist i bilag 1.



Figur 1.4: Placeringen af borer i Oddebæk oplandet og omegn og placeringen af de 26 profiler anvendt i revideringen af den geologiske model.

Med baggrund i de 26 profiler blev det besluttet at bibeholde den overordnede geologisk tolkning, men revidere forløbet af de tolkede lag, hvor der var dårlig overensstemmelse med den lithologiske information beskrevet i borerne. Den tolkede dybde til de geologiske enheder blev angivet som punkter langs profilerne 7-27 (Profilene 1-5 blev ikke anvendt i den geologiske retolkning pga. for store projektfjøl). Hvor borer understøttede eksisterende laggrænser blev placeringen af lagene bibeholdt, men hvor borer pegede på en alternativ og mere sandsynlig placering blev denne angivet som nye punkter.

Ydermere blev udbredelsen af den oprindelige lerlinse ved GRUMO området vurderet for stor, mens der blev indført lerlinsler i det øverste sand lag i en del andre område af oplandet, hvor borer og jordartskortet indikerede indslag af ler. Udbredelsen og tykkelsen af lerlinslerne er vist i bilag 2.

De angivne punkter for geologiske tolkning langs alle profiler blev dernæst interpoleret til sammenhængende overflader i 50 x 50 meter grid opløsning. Den anvendte interpolations rutine var GeoEditor's indbyggede Inverse Distance Weighting Method, hvor der anvendtes en lineær interpolation baseret på de 4 nærmeste punkter. Tykkelsen, dybden og koten af de 3 lag og lerlinsler er vist i bilag 2

## Højdemodel

I forbindelse med revision af den geologiske model blev Nordjylland Amts nyeste KMS højdemodel anvendt som afgrænsning af overfladen (Ian Berg Sonne, Nordjyllands Amt). Denne højdemodel er i 10x10 meter opløsning, ved grundvandsmodellens opløsning i 50 x 50 meter grid anvendes den gennemsnitlige højde i hvert model grid til afgrænsning af topografien.



## Den hydrologiske model

Den reviderede MIKE SHE og MIKE 11 oplandsmodel er en dynamisk model med mulighed for at inkludere MIKE SHE's egen umættede zone (UZ) model eller kun at bruge modellens grundvands-, overfladevands- og vandløbsdel ved anvendelse af nettonedbør fra f.eks. DAISY, som beskrevet ovenfor.

Køres modellen med den indbyggede koblede UZ model anvendes daglige værdier for nedbør, temperatur og reference fordampning. Opstillingen af den umættede zone i den reviderede udgave er en ren konvertering fra den gamle til nye version af MIKE SHE, da en revision og gennemgang ikke er omfattet af dette projekt. Modellen for den umættede zone er dog konverteret til en køreklar udgave i den reviderede model, da den er interessant i forhold til sammenligning med DAISY nettonedbørs beregninger. Køres modellen uden UZ anvendes i stedet daglige nettonedbørsværdier fra DAISY.

Anvendelsen af nettonedbør direkte i grundvandsmodellen har den fordel at man modelteknisk kan simulere stationære trykniveauer fra en given periode som startbetingelser til dynamiske model beregninger. Inkluderes den koblede UZ model kan modellen ikke køres stationært, hvorfor det er nødvendigt at specificere fornuftige startbetingelser for trykniveauer ud fra tidligere simuleringer.

For strømningsberegninger køres med 5 minutters tidskridt i MIKE 11, maksimale tidskridt for umættet zone og overflade afstrømning på 4 timer samt maksimalt tidskridt for mættet zone på 12 timer. Der gemmes resultater for hvert døgn i både MIKE SHE og MIKE 11. Det tager blot 2 timer at gennemføre en 20 års simulering af grundvands modellen med DAISY nettonedbør, mens simuleringer indeholdt den koblede UZ model tager væsentligt længere tid (5-50 gange)

Transportberegninger baseres på de gemte strømningsresultater og nettonitrogen flux simuleret med DAISY. Beregningerne køres med 1 minuts tidskridt i MIKE 11 og maksimum tidskridt på 24 timer i den mættede zone. Simuleringstiden svinger afhængigt af den specificerede dispersion, som udgangspunkt jo større dispersion jo længere beregningstid. Dette hænger sammen med de angivne maksimum kriterier for hvor meget stof, der må flyttes pr. tidskridt, i MIKE SHE.

### Hydrauliske parametre

Som udgangspunkt er der arbejdet videre med de hydrauliske parametre fra den gamle modelopsætning. I den gamle modelopsætning var de hydrauliske ledningsevner i det øverste sandlag distribueret på baggrund af jordtyper og profiloplysninger. Denne distribuering er fjernet og i stedet er benyttet de hydrauliske parametre for sand i hele laget. Dette er sket på baggrund af at områder med lavere hydraulisk ledningsevne nu i langt højere grad er inkluderet som lerlinser end var tilfældet i den gamle model. De hydrauliske egenskaber for geologiske lag og lerlinse er angivet i tabel 1.1

Geologisk lag	Horisontal hydraulisk ledningsevne (m/s)	Vertikal hydraulisk ledningsevne (m/s)	Frit magasintal (-)	Spændt magasintal (-)
Sand top (sand1)	$1.25 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$	0.3	0.0004
Ler	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	0.35	0.0005
Sand bund (sand2)	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	0.3	0.0004
Lerlinse	$1.4 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$	0.35	0.0005

Tabel 1.1 De hydrauliske egenskaber for de geologiske enheder.

### *Beregningslag*

Hvert af modellens geologiske lag er delt op i 2 modelberegninglag, som udgangspunkt er laget delt i to lige store tykkelser. Hvert modellag tilskrives hydrauliske egenskaber på baggrund af de geologiske enheder inden for pågældende lag. I modellens ler- og nederste sandlag vil beregningslaget bestå af rene henholdsvis ler og sand egenskaber. I det øverste lag bliver de resulterende egenskaber i beregningslagene imidlertid et komposit af egenskaberne bestemt af sand og lerlinse, hvor disse er udbredt.

### *Randbetingelser*

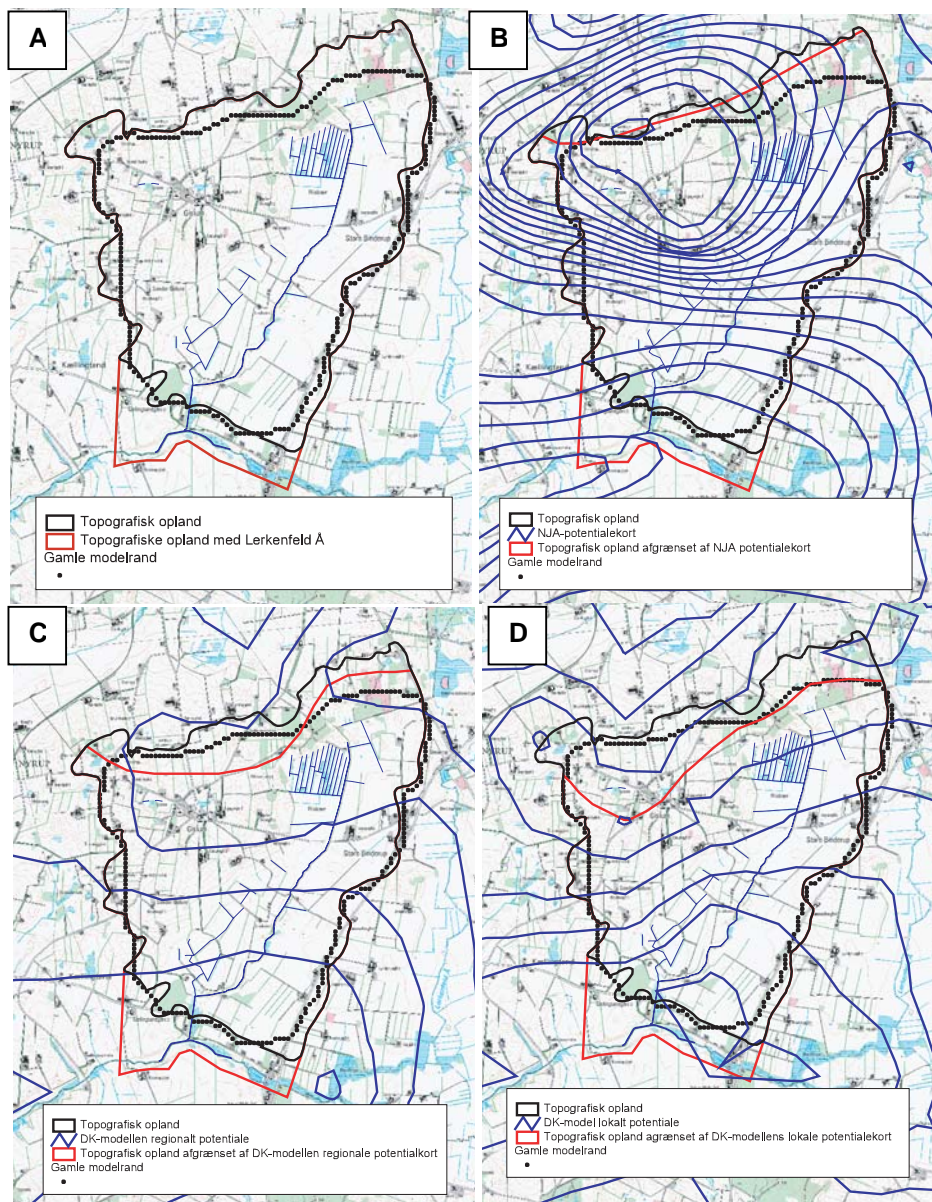
I den gamle model opstilling var modelområdet afgrænset af en modifikation af det topografiske opland i et forsøg på at tilnærme det hydrologiske (grundvands) opland til Oddebæk. Modelranden var generelt lukket bortset fra den sydlige modelrand, hvor der var specificeret en fastholdt trykniveau langs modelranden med henblik på at tillade en del af nedbøren i oplandet at løbe over randen til Lerkenfeld Å i stedet for at strømme til Oddebæk (Styczen et al., 2004).

I den nærværende modelopstilling blev randbetingelserne revurderet.

Det topografiske opland til Oddebæk blev sammenholdt med følgende:

- Nordjyllands Amts regionale potentialekort
- Simuleret regionalt trykniveau fra Den Nationale Vandressource Model herefter DK-modellen (Henriksen og Sonnenborg, 2003)
- Simuleret terrænnært trykniveau fra DK-modellen.

Ovennævnte informationer pegede samstemmende på et øst vest gående vandskel beliggende i den nordlige del af det topografiske opland samtidigt indikerer de også strømning over den sydlige afgrænsning af oplandet mod Lerkenfeld Å (se figur 1.5a-d). De simulerede trykniveauer fra DK-modellen er forbundet med nogen usikkerhed i forhold til udpegning af den eksakte placering af et grundvandskel eftersom DK-modellens opløsning er ret grov dvs. 1000 x 1000 meter. Ligeledes er Oddebæk ikke inkluderet i DK-modellens vandløbsopsætning, hvorfor specielt det terrænnære trykniveau fra DK-modellen bør benyttes med en del forsigtighed. I figur 1.5 er angivet fire forskellige modelafgrænsninger hvor modelranden i nord er afgrænset af det topografiske opland (figur 1.5a) eller de forskellige forslag til vandskel (figur 1.5b-d). Mod syd er arealet ned til Lerkenfeld Å samt et lille område på den sydlige bred medtaget i alle forslag til modelrand. Således er det muligt at inkludere en del af Lerkenfeld Å i modelopstillingen og ved denne fremgangsmåde opnås mere fysisk korrekte simulering af grundvandets strømning fra Oddebækoplundet direkte mod Lerkenfeld Å.



Figur 1.5a-d. Odderbæks topografiske opland og den gamle model rand sammenholdt med de nye bud på modelafgrænsninger: a) Det topografiske opland samt arealet ned til Lerkenfeld Å, b) Baseret på regionalt potentialekort (ækvidistance 1m), c) Baseret på simuleret regionalt trykniveau (ækvidistance 2.5m) d) Baseret på simuleret terrænnært trykniveau (ækvidistance 2.5m).

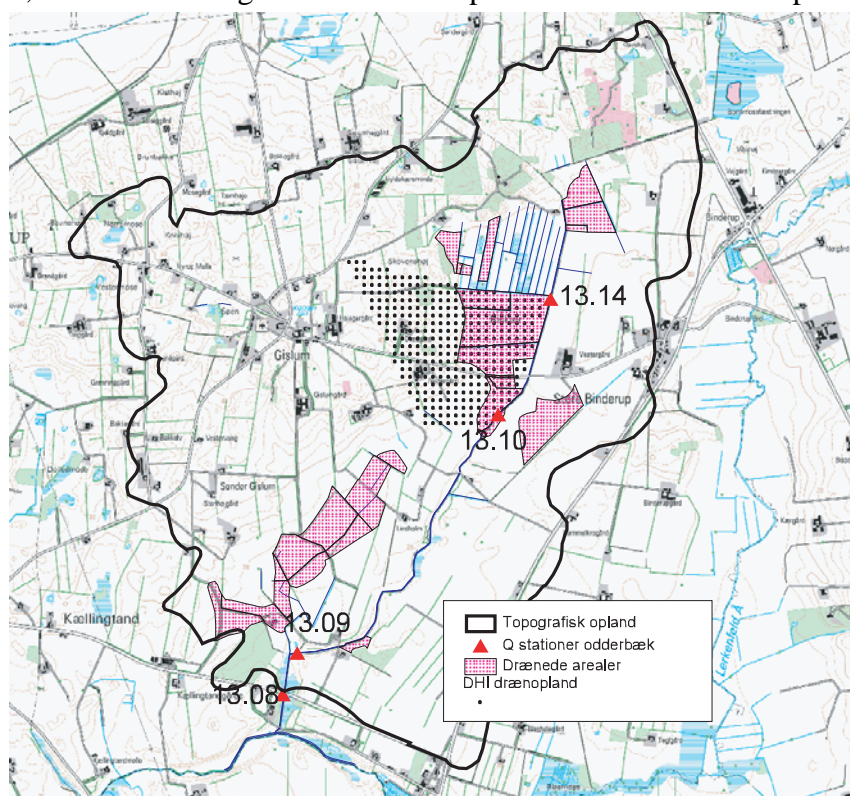
Test kørsler med DAISY input indikerer at de bedste resultater opnås ved at anvende en modelafgrænsning, hvor en del af det topografiske opland er afskåret af et vandskel i nord. Dette er underbygget af modelresultaterne fra den gamle model opstilling. Dette beskrives nærmere i et senere afsnit.

### Dræn

I forhold til den gamle model opsætning er der lidt usikkerhed omkring den anvendte drændybde. I afrapporteringen af modellen er der angivet en drændybde på 1 mut (Styczen et al., 2004), mens der er specificeret en dybde for dræn på 1.5 mut i de udleverede opsætningsfiler. Som udgangspunkt er der ingen grund til at tro at dræn er gravet dybere ned end 1 mut, hvorfor der modelopdateringen ikke er lagt dræn ind dybere end 1 mut.

Rent teknisk drænes der overalt i MIKE SHE modellen, når grundvandspejlet står højere end 1 m under terræn. Så snart grundvandstanden kommer over dette niveau begynder dræn at lede vand mod vandløbene med en angivet tidsforsinkelse kaldet drænkonstanten. I MIKE SHE svarer drænkonstanten til en reciprok tidsforsinkelse ( $s^{-1}$ ) i en 1. ordens funktion, som afspejler, hvor hurtigt der strømmer vand via dræn til MIKE 11 pr. tidsenhed. Der er benyttet en drænkonstant på  $5 \cdot 10^{-5} s^{-1}$  ved anvendelse af nedbørsinput fra DAISY i den nye model mens der i den gamle model opsætning blev benyttet en værdi på  $5 \cdot 10^{-6} s^{-1}$ . Den højere drænkonstant er anvendt i et forsøg på at få drænvand hurtigere ud til vandløbet og dermed forbedre afstrømningsdynamikken, som man fra tidligere lignede studier ved er forsinket og udjævnet, når man anvender DAISY som nettonedbør i oplandsmodellen (Nielsen et al., 2004).

Der findes afstrømningsmålinger fra et drænudløb i Oddebækken. Oplandet til dette dræn menes at være det skraverede opland i figur 1.6 mellem station 13.14 og 13.10 på den vestlige bred af Oddebæk. For at simulere den samlede drænafstrømning fra præcis dette opland er medtaget et kunstigt tilløb i MIKE 11 vandløbsopsætningen, placeret der hvor drænrøret rent fysisk løber ud. Alt drænvand fra dette drænopland ledes til det kunstige tilløb og det er muligt at estimere den samlede drænafstrømning fra lige netop dette drænopland. I opsætningen af den gamle model fandt man drænafstrømningen fra det optegnede opland for lille. I stedet lod man modellen selv finde frem til drænoplandet ved at lade alt drænvand løbe til nærmeste vandløb, hvorved det i figur 1.6 med sorte prikker markerede drænopland blev fundet.



Figur 1.6. GIS optegnelse af drænede arealer ifølge Hedeselskabet samt drænopland til drænvandsstation 13.10 ifølge DHI modelopsætning.

Som led i bestræbelserne på at kortlægge de kunstigt drænede områder i Oddebækoplandet blev der udført simulering med grundvandsmodellen uden dræn således at grundvandet tillades at stige over 1 m uden at det drænes af til vandløbet. Således får man på baggrund af modelresultaterne en

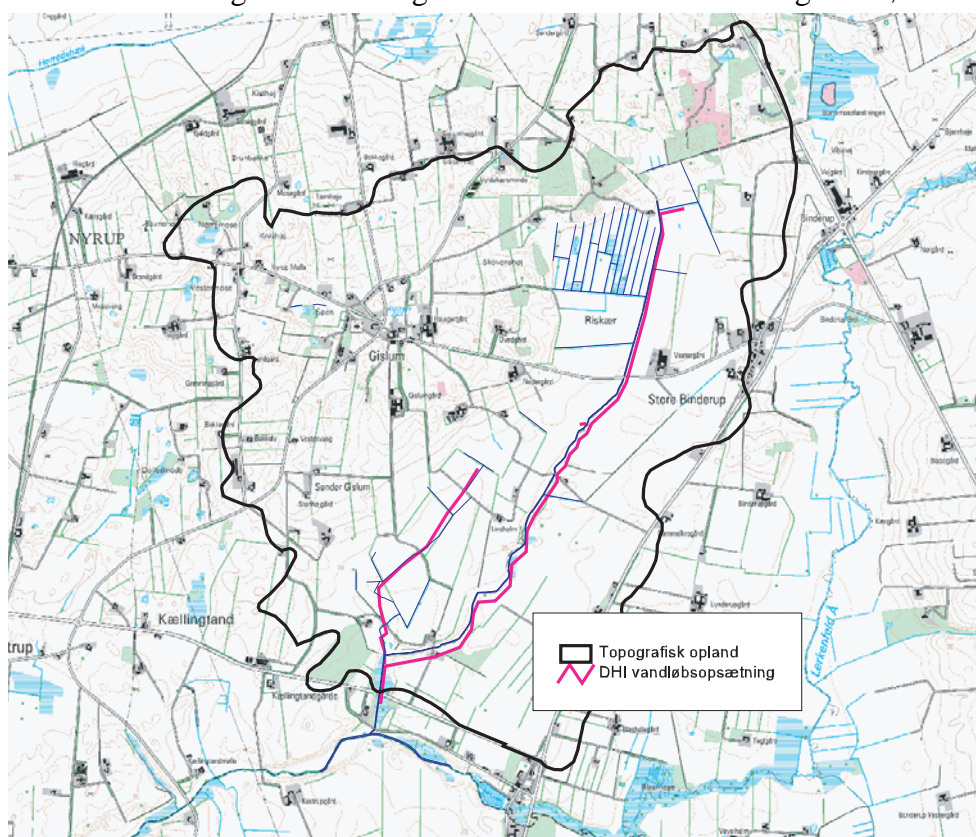
ide om, hvor der vil være kan have været vandlidende områder som af samme årsag er blevet drænet i løbet af sidste århundrede. Dette behandles nærmere i senere afsnit vedr. modelresultater.

### Oppumpinger

- Den gamle models oppumpinger er konverteret til den nye modelopsætning
  - Der er på nuværende tidspunkt kun oppumpningsdata frem til 2000
  - Der er rekvireret opdaterede informationer om oppumper fra Nordjyllands Amt - afventer svar

### Ny vandløbsopsætning

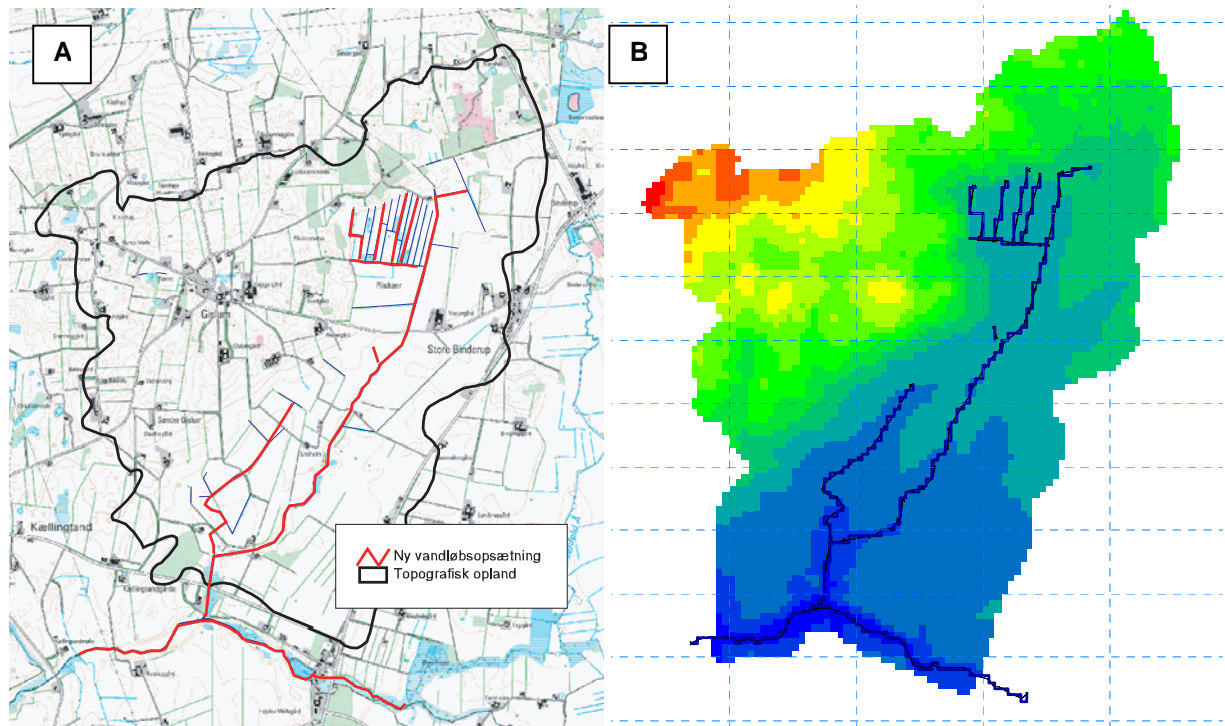
Det ser ud til at den gamle MIKE 11 vandløbsopsætning ligger forskudt i forhold til LOOP vandløbstema specielt på midterste og nedstrøms stykke af Oddebæk. Figur 1.7. Dette indebærer en risiko for forkert simulering af udveksling mellem den mættede zone og vandløbet.



Figur 1.7. Gamle mike11 vandløbsopsætning (lilla) i forhold til fysisk placering af vandløb

I den nye vandløbsopsætning er udover Oddebæk og afløbet fra Gislum Enge også inkluderet afløbet fra grøfterne i Riskjæret i den nordlige del af oplandet samt et mindre stykke af Lerkenfeld Å. Se figur 1.8a

På baggrund af GIS vandløbstema for LOOP oplandene og orthofoto er inkluderet nogle af grøfterne ved Riskjæret på grund af grundvandsmodellens opløsning på 50 x 50 meter er det ikke muligt at medtage alle de optegnede grene af grøft systemet, da de medtagne vandløb skal kunne placeres langs kanten af modellens grid celler uden at overlape hinanden som vist i figur 1.8b



Figur 1.8: a) Oversigt over de medtagne vandløbsstrækninger i MIKE 11 modellen. b) Placering af MIKE 11 vandløb langs modellens 50 x 50 meter grid ved kobling med MIKE SHE.

### Stationering og tværsnit

Ved opsætning af den nye vandløbsmodel er anvendt Aars Kommunes regulativ for stationering af afløbet fra Gislum Enge og Odderbæk og Nordjylland og Viborg Amters regulativ for stationering af Lerkenfeld Å (Jørgen Kristensen, Aars Kommune; Lars Bille Hansen, Nordjyllands Amt). For Odderbæk og Lerkenfeld Å er der inkluderet opmålte tværsnit i vandløbsmodellen. Tværsnit i afløb fra Gislum Enge er inkluderet som kunstige tværsnit, men lagt ind i det niveau, som er angivet i regulativet. En del af afløbet fra Gislum Enge er lagt i dræn i oplandet, dette stykke er medtaget i modelopsætningen, som en åben rende, men uden udveksling med den mættede zone. Tværsnit i Riskjæret er også kunstige og niveauet er bestemt efter den nyeste højdemodel. Statistik for vandløbs bundens beliggenhed ifølge tværsnit i forhold til 10 x 10 meter højdemodellen er vist i tabel 1.2. Bunden ligger generelt fornuftigt for både de gamle og nye vandløbsmodeller, men 4% af de inkluderede tværsnit i den nye modelopsætning har indmålte bundkoter, som ligger over terræn. Det må antages at de har en mere korrekt kotebestemmelse end højdemodellen, hvorfor dette kan accepteres.

Vandløbsopsætning	Antal tværsnit	Bund over terræn	Bund dybere end 5 mut	Bund højere end 1 mut	Bund dybere end 2 mut	Terræn minus tværsnit-bund (m) middel	maks.	min.
Gammel	65	0	1 (2%)	7 (11%)	47 (72%)	-2.78	-0.13	-5.22
Ny – Alle tværsnit	110	4 (4%)	0	35 (32%)	35 (32%)	-1.75	0.32	-4.85
Ny – Reduceret antal	55	2 (4%)	0	15 (27%)	19 (35%)	-1.82	0.30	-4.7

Tabel 1.2 Statistik for beliggenhed af vandløbsbund i forhold til den nye KMS 10 x 10 m højdemodel.

Bunden af de kunstige tværsnit i Riskjæret og afløb fra Gislum Enge ligger fornuftigt i forhold til højdemodel. Her er i alt indlagt 20 kunstige tværsnit i opsætningen med reducerede antal tværsnit,

hvor terræn minus tværsnit bund havde en middelværdi på -1.36 m , maksimum: -0.57 m og minimum: -3.06m (ikke vist i tabel 1.2).

En vandløbsopsætning med alle opmålte tværsnit er fremstillet, men antallet af tværsnit blev reduceret af hensyn til transport simuleringerne. Ved transportsimuleringerne skal det såkaldte *Courant kriterium* overholdes for at minimere de numeriske fejl i vandløbsmodellen. *Courant kriteriet* er defineret som:

$$(v \cdot \Delta t) / \Delta x \leq 1$$

Hvor ( $v$ ) er strømningshastigheden i vandløbet, ( $\Delta t$ ) er det anvendte tidskridt i modellen og ( $\Delta x$ ) er afstanden mellem hvert numerisk beregningspunkt i dette tilfælde langs vandløbsmodellen. Man kan sige at Courant kriteriet udtrykker at vand og dermed stof i vandløbet ikke må bevæge sig længere end afstanden mellem hvert beregningspunkt i hvert tidskridt.

Strømningshastigheden er bestemt af den simulerede vandføring i vandløbet og tidskridtet ved transportsimuleringerne kan kun defineres som en fast størrelse i MIKE 11 f.eks. 1 min. I nogle perioder vil der simuleres en stor strømningshastighed. Eftersom man ikke har mulighed for at køre med et mindre tidskridt i disse perioder kan Courant kriteriet ikke altid overholdes, hvis der er en lille afstand mellem beregningspunkterne. Den eneste mulighed man har for at overholde kriteriet og minimere de numeriske fejl er derfor noget kontroversielt at reducere tætheden af beregningspunkter. Da der oprettes et beregningspunkt i hvert indlagte tværsnit samt et beregningspunkt opstrøms og nedstrøms hvert tværsnit er løsningen at reducere antallet af indlagte tværsnit. Rørføringer af Oddebækken under veje defineret i den gamle vandløbsopsætning blev også fjernet af ovennævnte årsag, da der kræves både opstrøms og nedstrøms tværsnit. Modelsimuleringer med henholdsvis alle tværsnit og reducerede antal tværsnit viste at der ikke var nogen effekt på den simulerede afstrømning af at køre med den forsimplede vandløbsopsætning.

### *Randbetingelser*

Fra den sydøstlige del af modelområdet strømmer Lerkenfeld Å ind i modelområdet. Der er ingen afstrømningsmålinger ved indløbet til modelområdet. Der findes en afstrømningsstation længere nedstrøms Lerkenfeld Å, denne afstrømningsstation er beliggende sydvest uden for modelområdet (Hedeselskabs nr. 13.04). Oplandet til målestationen har et areal på 11529 ha (hvoraf Oddebæks topografiske udgør 1145 ha). Det topografiske opland til den opstrøms del af Lerkenfeld Å, som løber ind i modelområdet, har areal på 6643 ha. Et godt bud på en dynamisk indstrømning randbetingelse til vandløbsmodellens del af Lerkenfeld Å er derfor den observerede afstrømning ved station 13.04 skaleret efter forholdet ( $6643 \text{ ha} / 11529 \text{ ha} = 0.576$ ). Ved Lerkenfeld Å's udløb af modelområdet er benyttet en fast vandstand på 9.2 meter. Koncentrationen af total kvælstof ved indløbet er ikke fastlagt endnu, men specificeres som en fast koncentration eller en målt tidsserie i Lerkenfeld Å. Det er ikke afgørende, da man primært vil kigge på stoftransport i oplandet og vandløbet Oddebæk, men bør ligge på et passende niveau for ikke at få for meget stof ind i modeloplandet eller omvendt fortynde koncentrationer i grundvandet omkring Lerkenfeld Å.

## **Koncept for kvælstof modellering**

Undersøgelser af kvartære sedimenter i Danmark har vist en sammenhæng mellem udbredelsen af geokemiske zoner og forekomsten af nitratholdigt vand. Således forekommer nitrat typisk i iltede jordlag med gule, gulbrune, brune og gråbrune farver, mens jordlag med grå, brungrå og sorte farver normalt ikke indeholder nitrat. Overgangen fra iltede jordlag til reducerede jordlag kan beskrives ved redox-grænsen (Nielsen et al., 2004). På baggrund af begrænsede oplysninger om

farveskift og redox-grænsens beliggenhed i oplandet er informationer omkring fund af nitrat i grundvandet i oplandet også indgået i opstillingen af det nedenfor beskrevne koncept for nitratreduktion i den mættede zone.

### *Analyse af eksisterende data*

Boringsoplysninger vedrørende farveskift fra gullige/brunlige til grålige nuancer eller nitratkoncentrationer i oplandet blev gennemgået i forbindelse med opbygningen af et koncept for nitratreduktion i den mættede zone.

Målinger af nitrat i grundvandet findes i GRUMO boringer, LOOP markvandingsboringer samt ved LOOP grundvandsreder.

- For GRUMO boringer findes der nitrat i alle boringer med filter bund højere end 29 mut. De to boringer med filtertop under denne dybde er nitratfrie, hvor filtertop i boring 40.847 ligger højest i 43 mut. Det andet nitratfrie filter starter først 104 mut og ligger under modellens bund.
- Alle LOOP markvandingsboringer indeholder nitrat. Selv boring 40.545 har filtertop så dybt som 52 mut og ligger under næsten 25 meter ler indeholder nitrat.
- Ovennævnte viser er der ikke blot findes nitrat i modellens øverste sandlag men også i det nederste magasin.
- LOOP grundvandsrederne har alle nitrat i filtrene i 1½, 3 og 5 meters dybde. Med undtagelse af grundvandsrederne 3, 26/27, 28 og 30 har alle viser lave nitratkoncentrationer i 5 meters dybde. Der ses tydeligt faldende nitratkoncentrationer fra 1½ til 3 og ned til 5 mut. De pågældende grundvandsreder ligger i nærheden af Oddebæk

Brugbare oplysninger om farveskift fandtes i 14 forskellige boringer inden for oplandet, hvoraf der også var målt nitrat i halvdelen af dem.

I alt indeholdt 31 boringer information om enten farveskift eller nitratkoncentration, eventuelt begge. Findes der kun informationer om farveskift bruges dette som estimat for redox-grænsen. Ved tilfælde af nitrat målinger er tolket en redox-grænse efter følgende procedure:

- Er boringen nitratfri over farveskiftet anvendes filtertoppen som estimat for redox-grænsen.
- Findes der nitrat under farveskiftet anvendes filterbunden, som estimat for redox-grænsen.
- Findes der kun oplysninger om nitratindhold i boringen bruges:
  - Filtertop som estimat hvis der ikke er nitrat i boringen
  - Filterbund som estimat hvis der er er nitrat i boringen

7 boringer blev valgt fra pga. urealistisk høj redox-grænse.

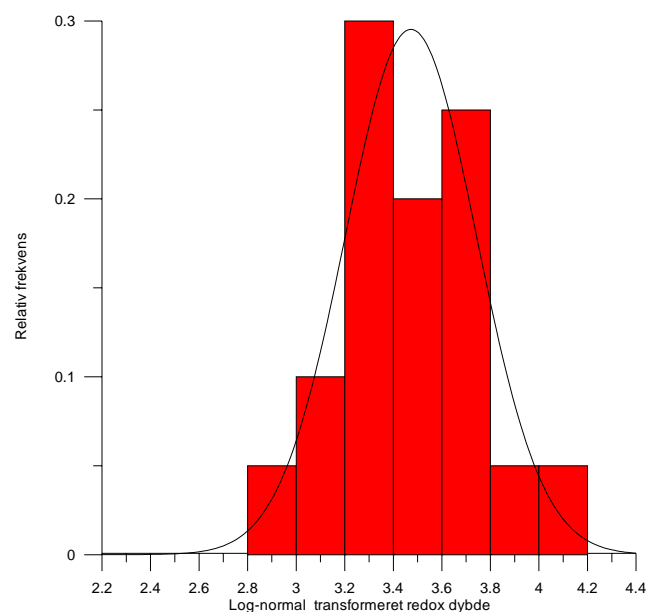
I alt blev udvalgt 20 boringer til at estimere fordeling af redox-grænsen i oplandet. Se tabel 1.3



DGUNR	Filtertop (mut)	Filterbund (mut)	XUTM	YUTM	GRUMO el. LOOP nr.	Nitrat i boring	Redox-grænse i forhold til nitrat i filter (mut)	Redox-grænse fra farveskift i boring (mut)	Tolket redox-grænse (mut)
40. 450	27.5	33.5	532172	6290916	02.71.41.31	Ja	33.5	.	33.5
40. 492	19	27	531910	6291570	02.75.41.31	Ja	27	.	27.0
40. 511	19	29	531476	6292024	80.14.01.01	Ja	29	29	29.0
40. 533	.	.	532637	6291434	.	?	.	29.5	29.5
40. 539	32.5	41.5	532333	6291198	02.76.41.31	Ja	41.5	.	41.5
40. 545	52	58	531442	6290864	02.77.41.31	Ja	58	.	58.0
40. 553	17.5	28.8	531464	6292059	80.14.02.01	ja	28.8	1	28.8
40. 846	38	44	531907	6290898	02.72.41.31	ja	44	.	44.0
40. 847	43.3	53.3	531422	6292013	80.14.11.01	nej	43.3	40	40.0
40. 912	16	22	531395	6292524	80.14.04.01	ja	22	.	22.0
40. 913	14	23	531609	6292264	80.14.05.01	ja	23	.	23.0
40. 917	17.5	23.5	531407	6292389	80.14.09.01	ja	23.5	26	26.0
40. 918	104	109	531436	6292098	80.14.10.01	nej	104	30	30.0
40. 920	.	.	531484	6292038	.	?	.	30	30.0
40. 995	21	29	531406	6292520	80.14.12.01	ja	29	.	29.0
40. 1006	.	.	533081	6290735	.	?	.	31	31.0
40. 1022	.	.	531463	6292012	.	?	.	42	42.0
40. 1158	.	.	531150	6292352	.	?	.	40	40.0
48. 996	39.5	45.5	531458	6290350	02.78.41.31	nej	45.5	.	45.5
48. 1171	.	.	532181	6289750	.	?	.	19	19.0

Tabel 1.3: De 20 udvalgte borer med estimater for redox-grænser.

I en variogram analyse blev det undersøgt om der var en geografisk korrelation over dybden til redox-grænsen i de udvalgte borer. Datamængden eller kvaliteten af data var imidlertid ikke god nok til at finde en korrelationslængde, dvs. data viser at det er fuldstændigt tilfældigt hvilken dybde man vil træffe redox-grænsen i lige ved siden af en boring, hvor redox-grænsen er fundet i x antal meters dybde. Det antages at redox-grænsen i de udvalgte borer følger en log-normal fordeling med middelværdi=33.4 mut og en spredning på 9.2 m. Se figur 1.9



Figur 1.9: Histogram over fordelingen af log-normal transformerede redox-grænser i de udvalgte borer. Den tynde sorte linje illustrerer fittet for en log-normal fordeling. Fittet svarer til middelværdi 33.4 mut og spredning på 9.2 m.

### *Opstilling af koncept for nitratreduktion i den mættede zone*

Der arbejdes som udgangspunkt med én redox-grænse i hvert model grid selv om man godt ved at der kan træffes oxiderede sekvenser i f.eks. sand under den første redox dybde i ler ovenfor. Ligesom der kan være ganske stor variation inden for et område i samme størrelse, som et model grid (Hansen et al., in prep. 1). Da de tilgængelige data er forholdsvis begrænset er det som udgangspunkt forsøgt at holde konceptet så enkelt og gennemskueligt som muligt. Det bør understreges at konceptet sigter på en korrekt simulering af nitratreduktion på oplandsskala, hvilket vil sige: Er i stand til at simulere kvælstof afstrømningen i Oddebæk og generelle trends for nitratkoncentrationer i den mættede zone (middelkoncentration evt. fordeling af nitratkoncentrationer). Dermed bør modellen ikke benyttes til at vurdere miljøtilstand og tiltag på markniveau. Dette vil kræve en nærmere feltundersøgelse af redoxforhold og en forfinet opbygning og udbredelse af et koncept for nitratreduktion i den mættede zone.

### **Mættet zone**

For udbredelse af redox-grænsen i hele oplandet oprettes et punkttema dækkende det topografiske opland og arealet ned til Lerkenfeld Å med et punkt placeret i midten af hvert model grid (i alt 5406 punkter). Herefter tilskrives hvert punkt en værdi på baggrund af ovennævnte data efter proceduren beskrevet nedenfor.

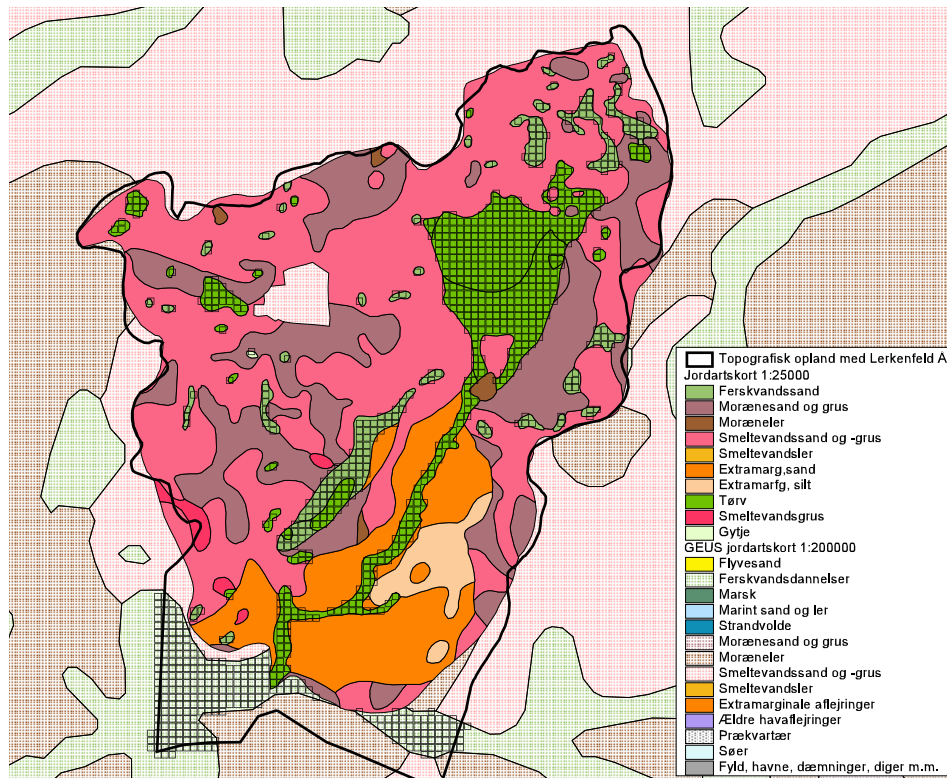
Punkter nærmere end 71 meter (diagonalen i et grid) på en boring med en brugbar værdi for redox-grænsen, bliver konditioneret efter denne værdi. (i alt lå 125 punkter inden for denne afstand til en boring med tolket dybde). Hvis redox-grænsen i en boring f.eks. tolkes til 30 mut lægges redox-grænsen ind 30 mut i alle punkter inden for en afstand på 71 meter af denne boring.

I udstrømningsområder fra det nederste sandlag til modellens vandløb antages det at det udsivende vand er reduceret. Disse områder er defineret, som der hvor der er en gennemsnitslig opadrettet flux gennem lerlaget. Denne information fordelt over hele oplandet er kun tilgængelig, som et modelresultat. Der er brugt simulerede gennemsnits værdier (1991-2000) fra en udgave af modellen, hvor der anvendes et midlertidigt DAISY input. I udstrømningsområder fastlægges redox-grænsen som toppen af lerlaget, hvis det laveste simulerede vandspejl ligger over ellers anvendes dybden til det laveste vandspejl. Det simulerede vandspejl ligger altid over bunden af lerlaget (antallet af punkter i udstrømningsområder er 1639).

I det resterende antal punkter tilskrives tilfældige værdier for dybden til redox-grænsen genereret ud fra log-normal fordeling fundet ud fra de udvalgte boringer (antallet af punkter med tilfældige værdier er 3647). Det vil sige der er uendeligt mange muligheder for hvordan dybder i disse punkter kan fordeles i forhold til konceptet. Dette koncept kan heller ikke anvendes til simulering af stedspecifikke forhold pga. den tilfældige fordeling.

### **Vådområder**

I følge GOI typologien (Dahl et al., 2004) vil der ved nitratholdigt vands strømning gennem et ådals magasin med et højt indhold af omsætteligt organisk carbon være potentiale for denitrifikation. I grundvandsmodellen er dette søgt inkluderet ved arealer, hvor jordartskortet viser tørve- og gytjedannelser (figur 1.10). Hvor 1:25000 jordartskortet ikke dækker er benyttet informationer fra GEUS landsdækkende 1:200000 jordartskort. Disse arealer er defineret som værende to meter tykke målt fra terræn med en halveringstid for nitrat på 1-2 år, men denne er ikke fastlagt (kalibreret) endnu. Hvor vandet kommer over 2 mut inden for disse områder og der sker en gennemstrømning mod vandløbet vil der ske en reduktion af nitrat i overensstemmelse med typologien.



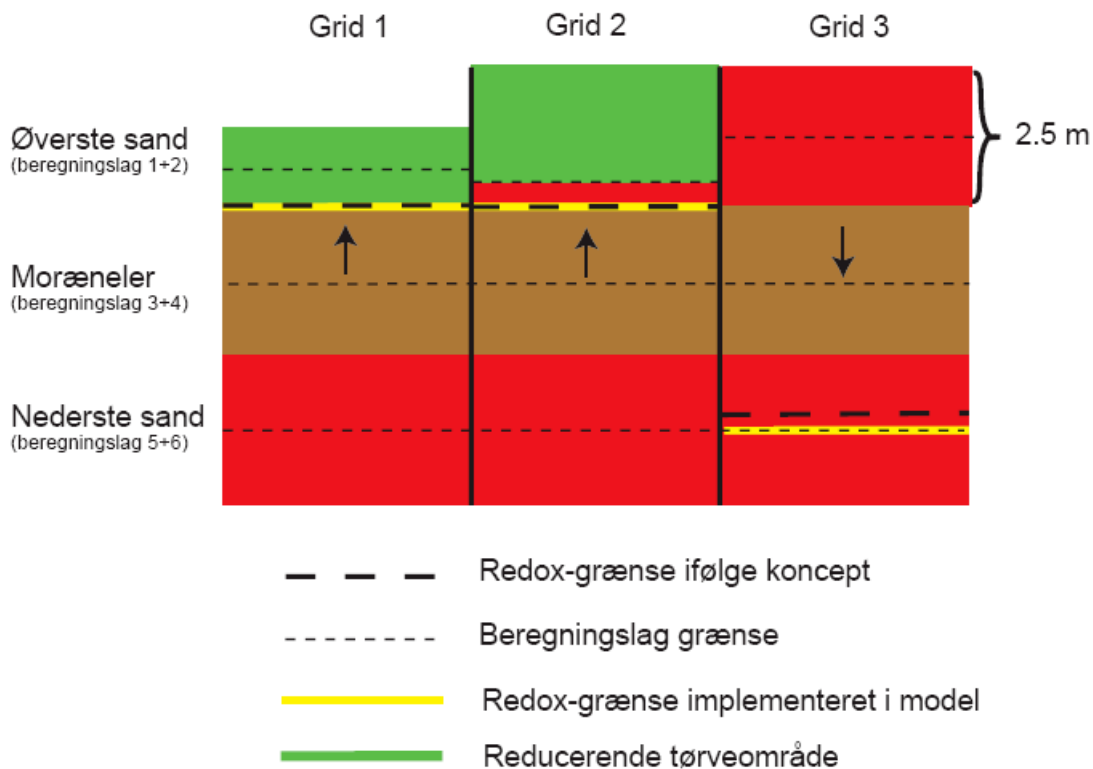
Figur 1.10 viser GIS optegnelsen og den griddede udbredelse af potentielle tørveområder med reduktion

## Linser

Det overvejes om der skal inkluderes en vis reduktion i lerlinserne i det øverste sandlag. Baseret på viden om at ler over sand kan være reducerende selvom et dybere sandlag kan være oxideret.

## Indkøring af koncept i forhold til modellens beregningslag.

Ved implementering af redox-grænsen i modellen står man over for nogle valg, når dybden af redox-grænsen ikke er sammenfaldende med et beregningslag i modellen. Dette er illustreret i figur 1.11 med snit ned gennem 3 fiktive beregningsceller (grid) og de tre geologiske lag inddelt i 6 beregningslag som eksempel.



Figur 1.11: Forklaring af procedure ved implementering af redoxkoncept i grundvandsmodellens beregningslag. Pilene angiver hvorvidt der er tale om et grid i et udstrømningsområde (pil op) eller ej (pil ned)

### 1. grid (venstre) figur 1.11

Dette grid befinder sig i et udstrømningsområde, som angivet med den opadrettede pil, derfor placeres redox-grænsen i samme dybde som toppen af lerlaget eller beregningslag tre. Overfladen er tilmed klassificeret, som et tørveområde, hvorfor de to øverste meter i modellen ifølge konceptet skal være reducerende. Da sandlaget er mindre end 2 m tykt regnes hele laget som reducerende, hvilket svarer til de to øverste beregningslag.

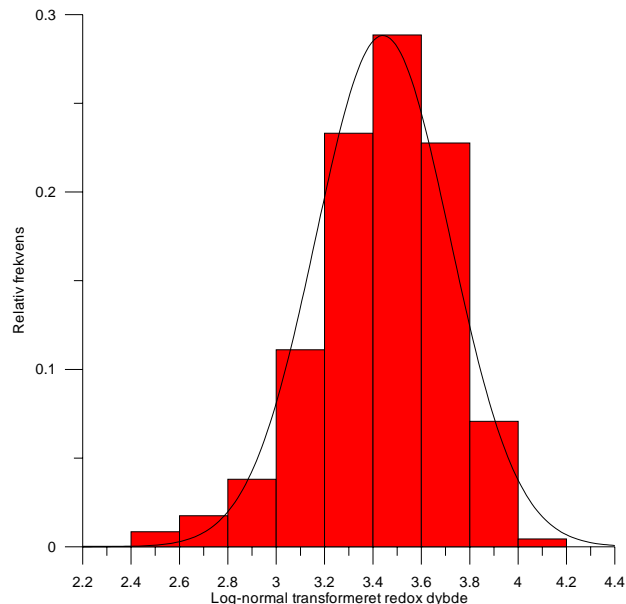
### 2. grid (midt) figur 1.11

Dette grid befinder sig også i et udstrømningsområde, hvorfor redox-grænsen placeres i samme dybde som toppen af lerlaget. Dette grid ligger også i et tørveområde, men sandlaget er mere end 2 meter tykt. I denne situation flyttes øverste beregningslag fra midten af sandlaget, hvor det er placeret som udgangspunkt, i stedet til præcis 2 meters dybde, hvorefter det kun er det øverste beregningslag, som regnes reducerende.

### 3. grid (højre) figur 1.11

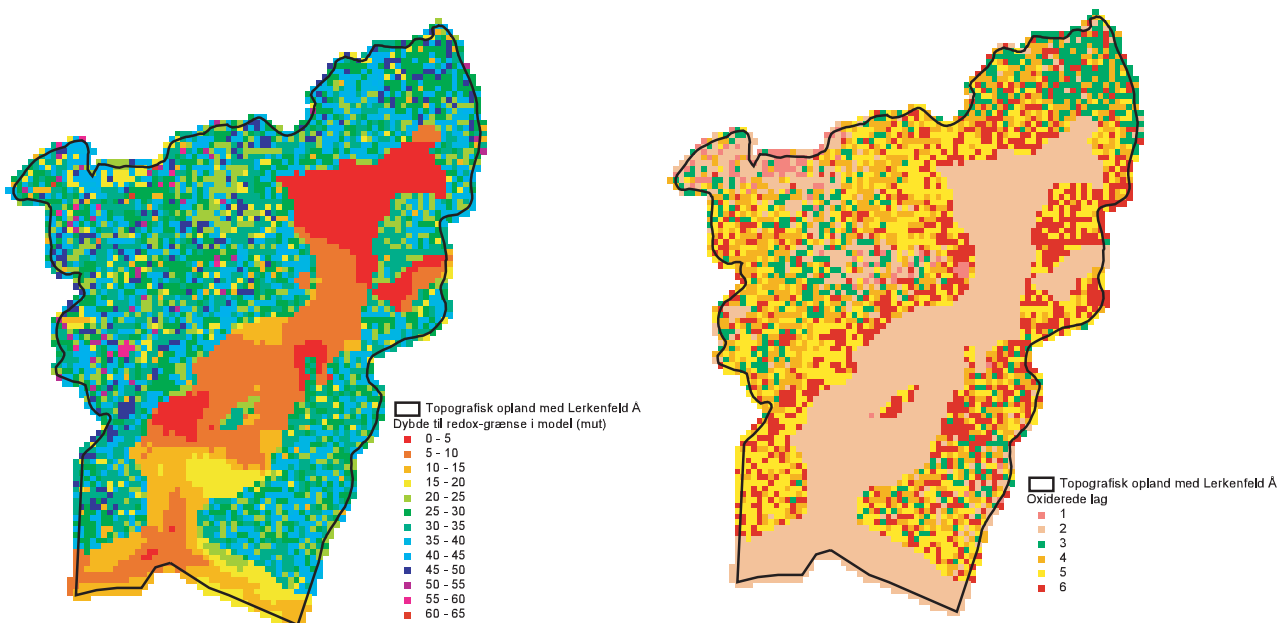
Dette grid ligger ikke i et udstrømnings men grundvandsdannende område, hvilket er illustreret med den nedadrettede pil. Den tilfældigt fordelte redox-grænse ligger i dette tilfælde i modellens nederste sandlag. I denne situation lægges den tolkede redox-grænse ind efter bunden af det nærmeste beregningslag, hvilket her er beregningslag 5 i midten af sandlaget. Samme procedure er anvendt hvis redox-grænsen ligger i modellens lerlag.

Med placering af de tilfældigt genererede redox-grænser efter beregningslag kan man genfinde den i figur 1.11 viste log-normal fordeling dog med en middelværdi 32.5 mut og spredning 9.2 mut se figur 1.12. Den lidt lavere middelværdi skyldes at de dybeste redox-grænser lægges ind efter bunden af det laveste modellag uanset hvor meget dybere de ligger i forhold til bunden af modellen.



Figur 1.12: Histogram over de tilfældigt fordelte redox-grænser placeret efter nærmeste beregningslag i modellen. Den tynde sorte linje illustrerer fittet for en log-normal fordeling. Fittet svarer til middelværdi 32.5 mut og spredning på 9.2 m.

Punkttemaet med oplysninger om dybden af den oxiderede zone i forhold til modellens beregningslag eksporteres fra ArcView til MIKE SHE. I MIKE SHE benyttes en beregningsprocedure, hvor nitrat nedbrydes stort set momentant så snart det transporteres under modellens redox-grænse (I praksis en meget kort halveringstid på 1 time). Figur 1.13 viser dybden til redox-grænsen (venstre) og antallet af oxiderede lag (højre) i modellen for hele modelområdet.



Figur 1.13: Venstre) Dybden til redox-grænsen i modellen. Højre) Antallet af oxiderede lag i modellen)

## Modelberegningerne

### *Kvalitative krav til modellen*

Grundvands- og vandløbsmodellen bør være i stand til at beskrive vandets strømning og nitrat transport og omsætning i en sådan grad at den simulerede vandløbsafstrømning og vandløbskvalitet svarer til den observerede. Det tilstræbes at opnå god dynamik og overensstemmelse mellem simulerede og observerede dagsværdier. Dette er dog meget afhængigt af hvorledes de løst koblede DAISY og MIKE SHE fungerer sammen i dette tilfælde.

DAISY modelopsætningen for Oddebæk forventes på en rimelig måde i stand til at beskrive nitratudvaskningen fra landbrugsarealer i oplandet (rapporteret af DMU).

Grundvandsmodellen forventes ikke at kunne simulere stedspecifikke nitratkoncentrationer eller udpege områder med lav eller høj nitratreduktion. Modellen forventes som minimum være i stand til at simulere middelkoncentrationen af nitrat i oplandet til et givent tidspunkt og kunne simulere en eventuel udvikling over tid, samt gerne være i stand til at reproducere den observerede fordeling af nitrat på oplandsskala.

### *Kvantitative krav til modellen*

I forbindelse med modelleringen opstilles en række af kvantificerbare nøjagtighedskriterier for modelberegninger i overensstemmelse med GEUS egne anbefalinger (Henriksen & Sonnenborg, 2005). Herunder forklares 3 størrelser som kan anvendes til vurdering af modellens evne til at simulere de observerede værdier.

Middelfejlen, som udtrykker den gennemsnitlige afvigelse mellem observeret  $\psi_{\text{obs}}$  og simuleret  $\psi_{\text{sim}}$  tilstandsvariabel f.eks. trykniveau eller vandføring. ( $n$ ) er antallet af observationer. ME lig nul er den optimale værdi.

$$ME = 1/n \cdot \sum (\psi_{\text{obs}} - \psi_{\text{sim}})$$

Root mean squared error (RMSE) er et mål for spredningen på residualerne (forskellene mellem simulerede og observerede værdier). RMSE værdi lig nul er den optimale værdi.

$$RMSE = \sqrt{(1/n \cdot \sum (\psi_{\text{obs}} - \psi_{\text{sim}})^2)}$$

Model effektiviteten eller Nash Sutcliffe ( $R^2$ ) er et mål for hvor stor en del af den totale variation i observationsdata, som bliver forklaret af modellen. Nash Sutcliffe er velegnet til at vurderet hvor godt en model simulerer variationer i vandløbsafstrømning. Nash Sutcliffe må ikke forveksles med korrelations koefficienten  $r^2$ , som kun er et mål for sammenhængen mellem simulerede og observerede værdier.

$$R^2 (\text{Nash Sutcliffe}) = (\sum (\psi_{\text{obs}} - \langle \psi_{\text{obs}} \rangle)^2 - \sum (\psi_{\text{obs}} - \psi_{\text{sim}})^2) / \sum (\psi_{\text{obs}} - \langle \psi_{\text{obs}} \rangle)^2$$

Hvor  $\langle \psi_x \rangle$  angiver gennemsnitsværdier.

Omskrives udtrykket ses at en  $R^2$  værdi på 1 er det optimale.

$$R^2 = 1 - \sum (\psi_{\text{obs}} - \psi_{\text{sim}})^2 / \sum (\psi_{\text{obs}} - \langle \psi_{\text{obs}} \rangle)^2$$

På baggrund af ovennævnte størrelse og anbefalingerne fra Henriksen og Sonnenborg (2005) kan bl.a. opstilles nedenstående kvantitative krav til strømningsmodellen.

### Trykniveauer

Den absolutte middelfejl  $|ME|$  på de simulerede trykniveauer skal overholde kriteriet:

$$\begin{aligned} |ME|/\Delta h_{\max} &< \alpha \\ \alpha &= 0.01 \text{ for high fidelity model} \\ \alpha &= 0.05 \text{ for en overslagsberegning} \end{aligned}$$

Hvor  $\Delta h_{\max}$  er forskellen mellem højeste observerede trykniveau og laveste trykniveau inden for oplandet. I Odderbæk er forskellen mellem maksimum og minimum (35.6-14.5meter),  $\Delta h_{\max} = 21.1$ . Hvilket svarer til  $|ME| < 0.21\text{m}$  for en high fidelity model og  $|ME| < 1.06\text{m}$  for en overslagsberegning.

Spredningen på residualerne skal overholde følgende kriterium:

$$\begin{aligned} \text{RMSE}/\Delta h_{\max} &< \beta \\ \beta &= 0.05 \text{ for high fidelity model} \\ \beta &= 0.15 \text{ for overslagsberegning} \end{aligned}$$

Det vil sige at  $\text{RMSE} < 1.06$  og  $\text{RMS} < 3.17$  bør overholdes for henholdsvis high fidelity modeller og overslags beregninger.

Den gamle model blev opstillet efter nogle ældre og mindre skrappe krav, hvorfor kriteriet  $|ME| < 1\text{m}$  og  $\text{RMSE} < 2\text{m}$  blev anvendt til opstilling af ”an excellent model” (Styczen et al., 2004)

### Vandføring

Den simulerede vandløbsafstrømning fra Odderbæk oplandet (nedstrøms station) bør ligge inden for  $\pm 10\%$  af den observerede for en high fidelity model og inden for  $\pm 30\%$  af den observerede for en overslagsberegning.

Henriksen og Sonnenborg (2005) foreslår at  $R^2$  værdien bør være større end 0.75 for en high fidelity model og større end 0.4 for en overslagsberegning. Tidligere studier viser at der er problemer med at simulere afstrømningsdynamikken i oplandsmodeller, hvor DAISY er anvendt til beregning af nettonedbør. Mulige årsager hertil er diskuteret af Nielsen et al. (2004). På denne baggrund opstilles der ikke noget minimums krav for Nash Sutcliffe  $R^2$ , ud over det tilstræbes at denne skal være så tæt på 1 som muligt.

### *Resultater fra indledende testkørsler.*

#### Den gamle modelopsætning

I kalibreringen og valideringen af den gamle model indgik data fra 2 vandføringsstationer, 1 drænstation og pejleserier fra de 17 grundvandsreder, dvs. primært det øvre grundvand. Kalibrering blev ifølge Styczen et al., (2004) udført i perioden 1994-1996. For undersøgelse af den kalibrerede models evne til at simulere en anden periode blev de kvantitative krav undersøgt i en uafhængig validerings periode 1997-2000. De afrapporterede nøjagtighedskrav for den gamle model i perioden 1990-2000 er vist i tabel 1.4 sammenlignet med modelkørsler af den samme model blot konverteret

til den nyeste MIKE SHE version med dræn i henholdsvis 1 mut, som angivet af Styczen et al., 2004, og 1.5 mut, som angivet i opsætningsfilerne for den gamle model.

		Styczen et al., 2004 1990-2000			Konverteret dræn 1mut 1990-2000			Konverteret dræn 1.5mut 1990-2000		
<b>Vandløbsafstrømning</b>										
Obs. ID	Obs Q gns. (m <sup>3</sup> /s)	ME (m <sup>3</sup> /s)	ME (%)	R <sup>2</sup>	ME (m <sup>3</sup> /s)	ME (%)	R <sup>2</sup>	ME (m <sup>3</sup> /s)	ME (%)	R <sup>2</sup>
Station 13.08	0.0782	-0.0040	-5	0.51	-0.0013	-2	0.58	-0.0077	-10	0.43
Station 13.14 *	0.0183	0.0023	13	0.42	0.0041	22	0.56	0.0022	12	0.41
Dræn st.13.10	0.0099	0.0066	67	-1.73	0.0016	16	0.55	0.0007	7	-0.28
<b>Trykniveauer</b>										
Station	DGU	ME (m)	RMSE (m)	ME (m)	RMSE (m)	ME (m)	RMSE (m)	ME (m)	RMSE (m)	
1	40.962	-1.3	1.33	-1.52	1.53	-1.39	1.41			
2	40.963	-0.85	0.88	-0.78	0.95	-0.53	0.76			
3	40.978	-1.96	1.97	-2.12	2.14	-1.71	1.71			
5	40.965	-3	3.01	-3.23	3.24	-3.01	3.02			
21	40.966	1.23	1.28	1.29	1.35	1.34	1.4			
22	40.967	-0.05	0.16	-0.24	0.32	-0.07	0.2			
23	40.968	0.69	1.07	0.43	0.79	0.73	1			
24	40.969	1.04	1.71	0.34	0.79	0.67	0.97			
25	40.970	0.15	0.5	-0.2	0.38	0.19	0.41			
26	40.971	-0.21	0.47	-0.14	0.38	0.24	0.47			
32	40.972	-2.02	2.05	-2.18	2.2	-1.91	1.91			
28	40.973	0.41	0.94	0.52	0.94	0.91	1.18			
4	48.999	0.23	0.37	-0.02	0.26	0.17	0.31			
6	48.1000	0.41	0.45	0.87	0.90	1.01	1.03			
29	48.1001	3.07	3.07	-2.60	2.60	2.83	2.83			
30	48.1002	2.07	2.09	-2.85	2.88	3.02	3.04			
31	48.1003	0.2	0.35	-0.16	0.43	0.19	0.47			
Middel		0.01	1.28	-0.74	1.30	0.16	1.30			

Tabel 1.4 Nøjagtighedskrav for den gamle model rapporteret af Styczen et al. (2004) sammenlignet med konvertering til nyeste MIKE SHE version. \*kun observationer indtil 1997

Det ses af tabel 1.4 at der er en god overensstemmelse mellem de afrapporterede nøjagtighedsværdier og de beregnede med modellen i den nye version af MIKE SHE. Den største overensstemmelse ses mellem værdierne fra Styczen et al., (2004) og modellen med dræn 1.5 mut, både når man sammenligner nøjagtighed for trykniveauer og afstrømning. Nøjagtigheden for afstrømningen med station 13.08 er dog noget dårligere for modellen med dræn i 1.5 meters dybde end værdierne fra rapporten. Ligesom drænastrømningen er bestemt noget bedre (7% mod 67%). Det er meget sandsynligt at der er en indtastningsfejl for ME for drænstation i Styczen et al., (2004). Forskellen svarer nemlig til en faktor 10 eller et manglende 0. Det må antages at de afrapporterede resultater stammer fra den gamle model med dræn 1.5 mut selvom der er skrevet 1 mut af Styczen et al., (2004).

Der kan være forskellige grunde til at de ens modeller i henholdsvis den gamle og nye version af MIKE SHE ikke har helt ens nøjagtighedsværdier f.eks. konverteringen fra gamle til nye UTM datum, små forskelle i start- og randbetingelser samt små ændringer i den nye modelversions kode.

Ser man på nøjagtighedsværdierne i forhold til de opstillede krav for high fidelity modeller og overslagsberegninger ovenfor. Kan man for den gamle modelopsætning udlede:

- Vandbalancen er inden for  $\pm 10\%$  ved station 13.08 (Udløb af topografisk opland)
- R<sup>2</sup> værdierne for afstrømningen i Odderbæk ligger mellem 0.4 og 0.5
- ME for trykniveauer er mindre end 0.21 meter
- RMSE for trykniveauer er større end 1.06 meter



På baggrund af dette kan det kort siges at den gamle model ikke levede op til de her inkluderede nøjagtighedskrav til en high fidelity model baseret på de nyeste anbefalinger (Henriksen & Sonnenborg, 2005).

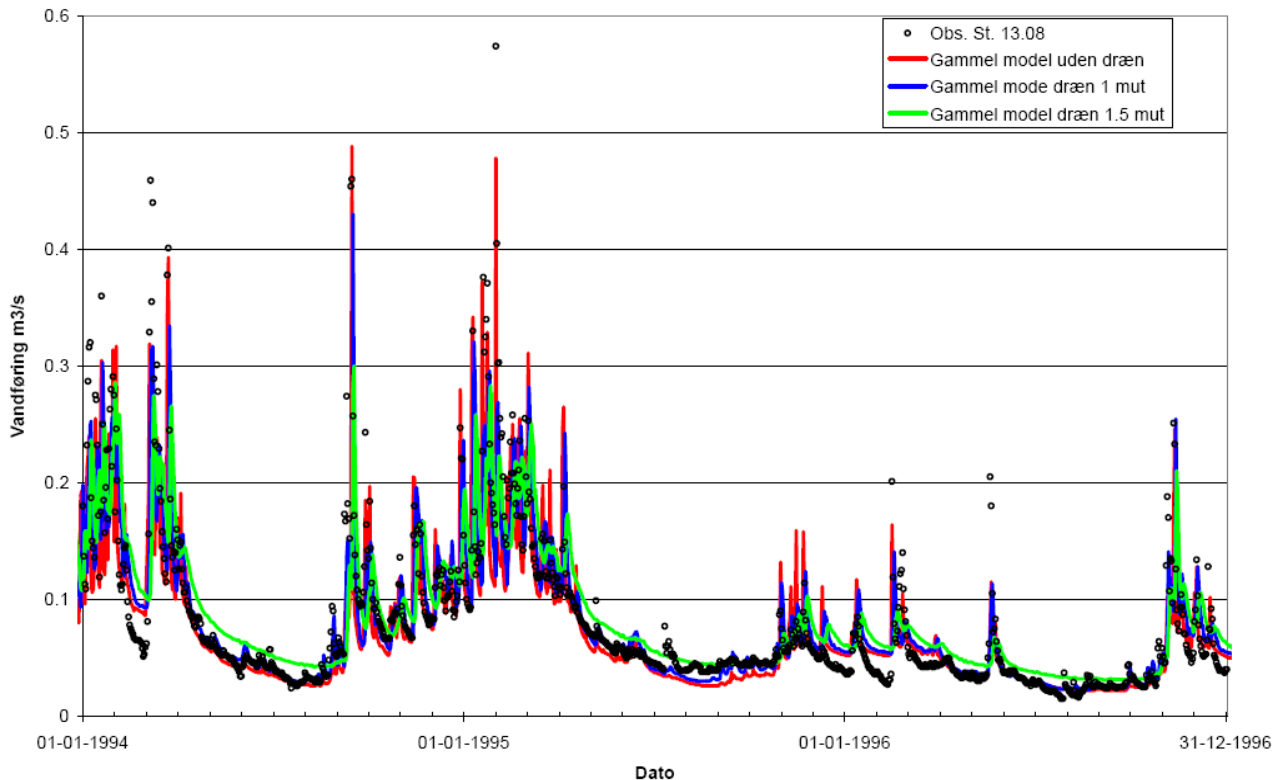
### *Kørsel uden dræn*

Der er bemærkelsesværdigt at nøjagtighedsværdierne stiger en del for afstrømningen med dræn i 1 meters, samtidigt ses dog også en forringelse af middelfejlen for trykniveauerne, se tabel 1.4. Den simulerede afstrømning ved station 13.08 i kalibreringsperioden 1994-1996 er vist i figur 1.13 for den gamle model med dræn henholdsvis 1 mut og 1.5 mut. Den observerede vandføring er vist i samme periode. Der ses en klart bedre overensstemmelse mellem den observerede vandføring og den simulerede med dræn 1 mut end med dræn 1.5 mut både hvad angår simulering af dynamik og et passende afstrømningsniveau i perioder med jævn lav vandføring (sommerperioderne). Dette understreges af tabel 1.5, hvor nøjagtighedskriterierne for vandføring ved station 13.08 er vist for kalibreringsperioden 1994-1996. Middelfejlen er mindre og  $R^2$  værdien højere for modellen med dræn 1 mut.

Udover de to forskellige drændybder blev det også forsøgt at køre modellen uden dræn, således at vandspejlet har mulighed for at stige helt op til terræn. I tilfælde af vandspejlet står over terræn, vil vand på overfladen strømme overfladisk mod vandløbet. Dette gælder også den del af nedbøren i fuldt mættede områder, som ikke fordamper. I figur 1.13 og tabel 1.5 ses at der er mere dynamik i den simulerede afstrømning uden dræn, i nogle tilfælde større udsving end observeret. Dette at skyldes at en nedbør over områder med høj vandstand strømmer overfladisk til vandløbet i stedet for først at infiltrere gennem umættet zone for derefter at løbe via dræn til vandløbet. På baggrund af denne simulering kan man ikke sige at der ikke er nogen dræn i området, det ved man jo at der er, men blot konstatere at dele af oplandet reagerer hurtigere på regnhændelser end man er i stand til at simulere med den gamle modelopsætning med dræn overalt i 1 eller 1,5 meters dybde. De områder, som reagerer hurtigere pga. naturligt forekommende overfladisk afstrømning kan være områder mellem dræn, hvor vandstanden er højere end drændybden, disse repræsenteres p.t. ikke i MIKE SHE, hvor der drænes i hele model grid, når vandstanden er højere end drændybden. Overflade afstrømning er generelt ikke udtalt under danske forhold, hvorfor områder med hurtigt respons på nedbør i høj grad bør tilskrives andre heterogeniteter inden for oplandet, som ikke er inkluderet i modelopstillingen for oplandet (Hansen et al., in prep. 2). F.eks. variation i nedenstående forhold:

- Jordfysiske parametre i rodzonen, som markkapacitet, retentionsforhold, ledningsevner.
- Præferentiel strømning i områder med lave hydrauliske ledningsevner (Bioporer, sprækker, sandlinser)
- Variabel grundvandsstand og hængende vandspejl inden for modelgrid pga. geologiske heterogeniteter, som ikke er med i modelopstillingen
- Topografisk variation inden for modelgrid

Oplandsheterogeniteten, som ikke kan håndteres ved anvendelse af middelværdier, slås ofte sammen i en by-pass funktion i den umættede zone for oplandsmodeller. I MIKE SHE er der således mulighed for at inkludere en by-pass funktionen, som lader en del af nedbøren perkolere direkte til den mættede zone, som en funktion af vandindholdet i rodzonen, selvom vandindholdet er under markkapacitet. Denne by-pass funktion er ikke forsøgt anvendt her.



Figur 1.13: Observeret vandløbsafstrømning ved station 13.08 (cirkler) samt simuleret afstrømning med den gamle model med dræn 1 mut (blå) og 1.5 mut (grøn) samt uden dræn (rød).

<b>Gamle model</b>		ME (m <sup>3</sup> /s)	ME (%)	R <sup>2</sup>
<i>Odderbæk station 13.08, Gennemsnits vandføring 1994-1996: 0.0801 m<sup>3</sup>/s</i>				
Dræn 1.5 mut (Styczen et al, 2004)		-0.00522	-6.5	0.54
Dræn 1.0 mut		0.00121	1.5	0.67
Uden dræn		0.00859	10.7	0.78
DAISY input fra stationsmarker		-0.0153	-19.1	0.43
DAISY input fra stationsmarker + vådområder		-0.0130	-16.2	0.54
<b>Nye model</b>		ME (m <sup>3</sup> /s)	ME (%)	R <sup>2</sup>
<i>Odderbæk station 13.08, Gennemsnits vandføring 1994-1996: 0.0801 m<sup>3</sup>/s</i>				
DAISY - Topografisk opland		-0.0271	-33.8	0.47
DAISY - Rand afgrænset af regionalt trykniveau (DK-model)		-0.0118	-14.7	0.59
DAISY - Rand afgrænset af terrænnært trykniveau (DK-model)		0.0000782	0.1	0.60
MIKE SHE UZ, reduceret grid 10215 nedbør og ref. fordampning		-0.00174	-2.2	0.65
MIKE SHE UZ, ny grid nedbør og ref. fordampning		-0.0131	-16.4	0.68
MIKE SHE UZ uden dræn, reduceret grid 10215 nedbør og ref. fordampning		0.00248	3.1	0.72
MIKE SHE UZ uden dræn, ny grid nedbør og ref. fordampning		-0.0084	-10.5	0.76
<i>Dræn station 13.10, Gennemsnits vandføring 1994-1996: 0.0101 m<sup>3</sup>/s</i>				
MIKE SHE UZ, DHI drænoiland (Styczen et al., 2004), reduceret grid nedbør		0.00585	57.6	-0.42
MIKE SHE UZ, DDH drænoiland syd for Riskjæret, reduceret grid nedbør		0.00608	59.8	-0.53

Tabel 1.5 Nøjagtighedskriterier for vandløbsafstrømning i kalibreringsperioden 1994-1996.

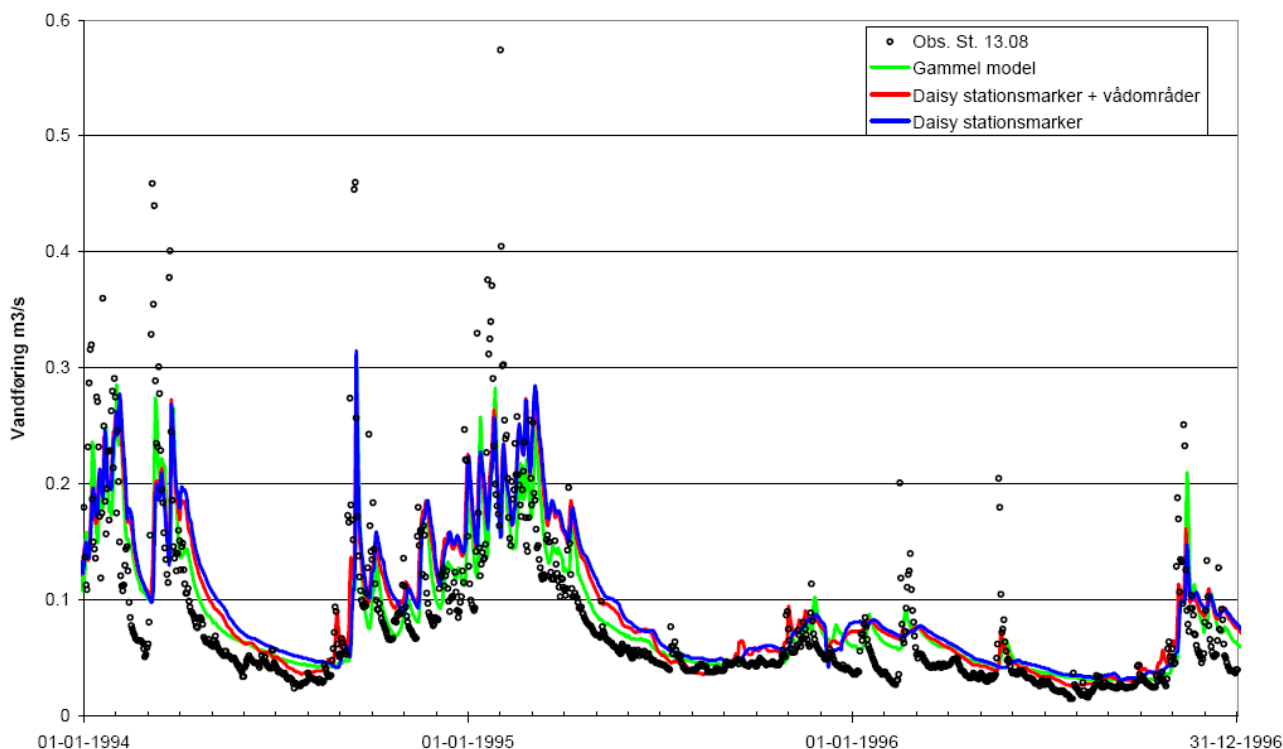
I nærværende projekt er det hensigten af den umættede zone model i MIKE SHE skal udbyttes med DAISY beregninger for nettonedbør. I et forsøg på at teste modellen med DAISY input blev de simulerede output fra stationsmarkerne 2-6 (WaterTech og DMU) fordelt inden for oplandet i den gamle model. DAISY randbetingelser og simuleret middel perkolations i perioden 1991-2000 er vist for DAISY søjlerne opstillet for stationsmarkerne 2-6 i tabel 1.6. På baggrund af vandspejlets niveau i DAISY opsætningerne blev output fra stationsmarkerne fordelt i områder med vandspejl

inden for områder i oplandet med simuleret vandspejl i samme interval, som vist i tabel 1.6. Det laveste simulerede vandspejlsniveau i grundvandsmodellen blev anvendt. Disse områder blev først udpeget ud fra en tidligere simulering med MIKE SHE's umættet zone model, dernæst defineret igen ud fra den første simulering med input fra stationsmarkerne. Denne procedure blev anvendt i et forsøg på at få overensstemmelse mellem de ikke koblede modeller.

Id	Vandspejl i DAISY opsætning (mut)	Simuleret perkolation (mm/dag)	Fordelt efter MIKE SHE områder med laveste vandspejl (mut)
station 2	6	1.13	Mellem 3.5 og 6
station 3	1-2	0.89	Højere end 2
station 4	2-3.5	0.89	Mellem 2.75 og 3.5
station 5	12.5	0.98	Dybere end 6
station 6	1.75-2.75	0.78	Mellem 2 og 2.75
Simpelt gennemsnit		0.95	
vådområde	0.9	0.72	Højere end 1.5
Oddebæk		0.84 (8 km <sup>2</sup> ) – 0.61 (11 km <sup>2</sup> )	

Tabel 1.6 Input fra de 5 stationsmarker - (middeltal perioden 1991-2000)

Den simulerede afstrømning i kalibreringsperioden med input fra stationsmarkerne er vist i figur 1.14 sammen med den simulerede afstrømningen med MIKE SHE's model for umættet zone. Ved input fra DAISY er som tidligere omtalt benyttet en højere drækonstant ( $5 \cdot 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) med henblik på at forbedre afstrømningsdynamikken, som man fra tidligere studier ved er forsinket og udjævnet. Generelt ser den simulerede afstrømningen nogenlunde ud, men afstrømningen er generelt simuleret for højt nemlig 19 %, som det ses i tabel 1.5. Ligesom dynamikken og  $R^2$  værdien som forventet heller ikke er ligeså god, som den oprindelige model med den koblede MIKE SHE UZ model.



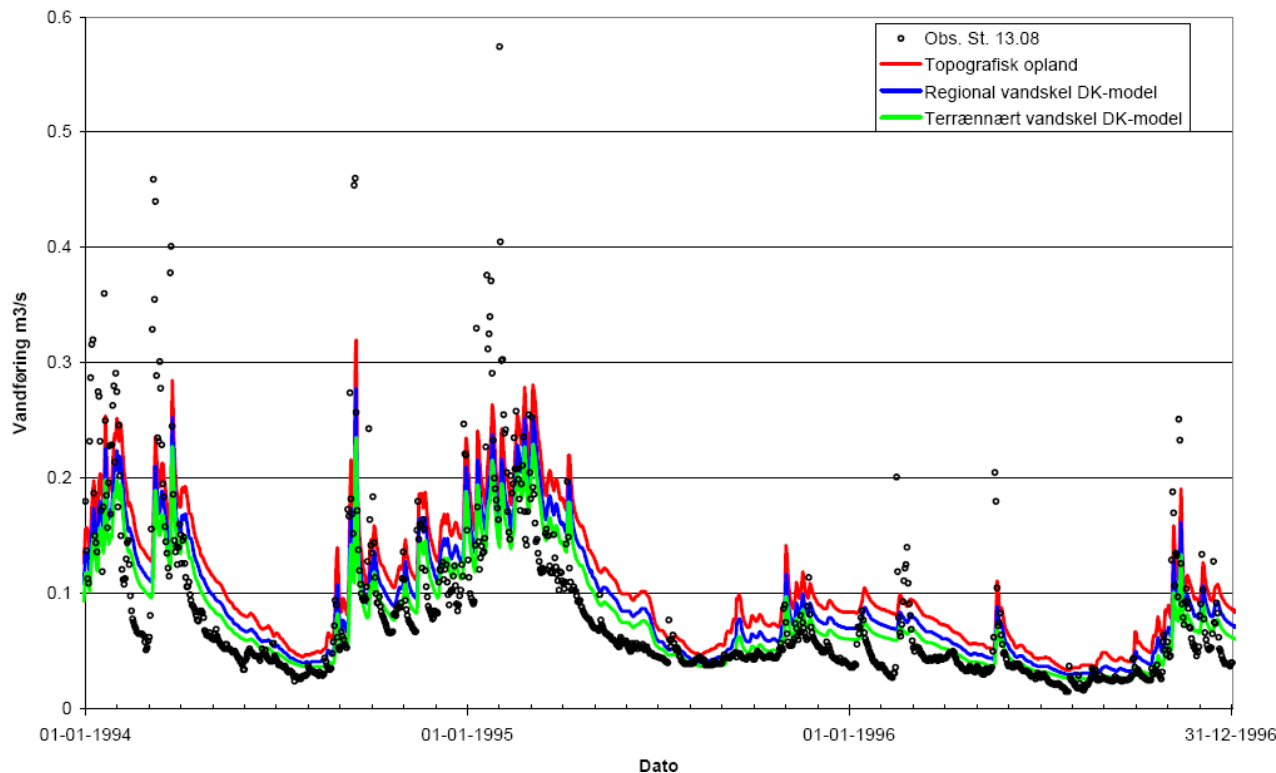
Figur 1. 14: Observeret vandløbsafstrømning ved station 13.08 (cirkler) samt simuleret afstrømning med den gamle model med dræn 1.5 mut (grøn). Simuleret afstrømning med input fra DAISY beregninger for stationsmarker (blå) samt input fra stationsmarker og DAISY opstillingen for "vådområder"

Når man sammenligner det simple (aritmetiske) gennemsnit af den simulerede perkolation fra stationsmarkerne 0.95 mm (se tabel 1.6) med middelfafstrømningen i Odderbæk på 0.84 mm eller 0.61 mm ved et opland på henholdsvis 8 km og 11 km<sup>2</sup> kunne det tyde på at den simulerede perkolation fra DAISY samlet set er for stor på oplandsskala. Gamle generalstabskort og nutidige luftfotos som DMU har fremskaffet og analyseret i parallelprojekt for Odderbæk indikerer områder påvirket af terrænnært vandspejl. Dette peger på at der findes områder i oplandet, hvor vandspejlet ligger tættere på terræn end intervallet for station 3 (1-2 mut). På denne baggrund blev opstillet en hypotetisk DAISY søjle med fast vandstand kun 90 cm under terræn. Output fra denne søjle erstattede input fra station 3 i grundvandsmodellen, hvor med den laveste simulerede vandstand var højere end 1.5 mut. Den simulerede afstrømning med stationsmarker med "vådområder" er vist i figur 1.14 og nøjagtighedsværdierne er angivet i tabel 1.5. Vandbalancen er lidt bedre men stadig overestimeret med 16%. Dynamikken er visuelt lidt forberet og R<sup>2</sup> værdien er lige så høj, som den gamle model.

### Den nye modelopsætning

Som beskrevet ovenfor blev der i forbindelse med modelrevisionen opstillet en ny geologisk model, en ny vandløbsmodel og forskellige forslag til afgrænsning af modelområde og randbetingelser. Nedenstående modelresultater er resultater fra den nye version af modellen for Odderbækoplandet. I forhold til opsætningen af den nye model version er der indtil videre ikke fokuseret på en endelig kalibrering af trykniveauer og afstrømningen, men gennemført en lang række forskellige testkørsler til belysning af forhold af betydning for vandbalance og afstrømnings dynamik ved anvendelse af DAISY nettonedbør, hvoraf nogle af de vigtigste resultater præsenteres her.

I forhold til afgrænsning af modeloplandet blev den opdaterede model kørt med randbetingelserne vist i figur 1.5. Som nettonedbør blev i alle simuleringerne anvendt input fra stationsmarkerne og "vådområde" søjlen. Modellerne blev først kørt stationært for at finde nogle fornuftige startbetingelser til de dynamiske model simuleringer. I figur 1.15 er vist de simulerede afstrømninger ved modelafgrænsning af det topografiske opland og regionalt og terrænnært potentiale simulerede med DK-modellen.



Figur 1.15: Observeret vandløbsafstrømning ved station 13.08 (cirkler) og simuleret afstrømning med input fra DAISY stationsmarker og "vådområde" søjle. Opland afgrænset af det topografiske opland figur 1.5A (rød). Opland afgrænset af vandskel i nord baseret på regionale potentiale linjer fra DK-modellen figur 1.5C (blå). Opland afgrænset af vandskel i nord baseret på terrænnære potentiale linjer fra DK-modellen figur 1.5D (grøn).

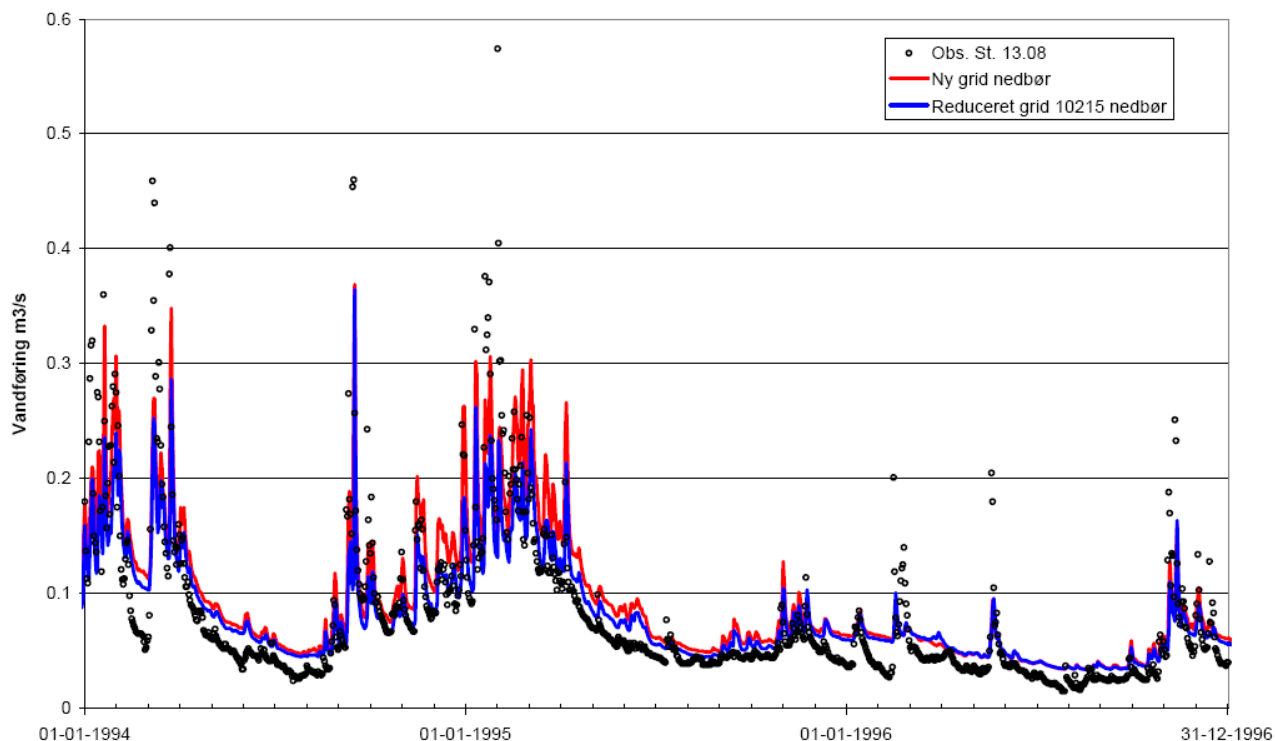
Som det ses af figuren bliver den simulerede afstrømning mindre, som modelområdet afgrænses fra det topografiske opland til det mindste modelområde afgrænset af det terrænnære potentiale billede fra DK-modellen. I tabel 1.5 ses at afstrømningen er overestimeret med næsten 34 % med det topografiske opland. Overestimeret med næsten 15 % med afgrænsning fra DK-modellens regionale trykniveau, dette område svarer nogenlunde til modelafgrænsningen for den gamle model. Endelig passer vandbalancen perfekt for den mindste afgrænsning af oplandet. På grund af det anvendte simple DAISY input kan den endelige modelafgrænsning dog ikke fastlægges før et DAISY input for hele oplandet foreligger, men resultaterne understreger vigtigheden af at finde en fornuftig modelafgrænsning.

Da der ikke foreligger et DAISY input for hele oplandet blev det forsøgt at anvende den af Styczen et al. (2004) opstillede MIKE SHE model for den umættede zone. Opsætningen af denne model blev udbredt til det udvidede modelområde ved antage tilfældig fordeling af landbrugspraksis og sandjord i den af det nye modelområde, som ikke var defineret i henhold til den gamle model. På denne måde var det ligeledes muligt at undersøge effekten af at anvende en ny og højere grid

nedbør (gennemsnit beregnet af DMU for grid 10215 og 10216 korrigeret med faste nedbørskorrekationer (21%)) i stedet for den reducerede grid nedbør (DMI grid nr. 10215) anvendt i den gamle model. I tabel 1.7 er de gennemsnitlige årlige nedbørsmængder og reference fordampninger for de to forskellige klima input angivet. Reference fordampningen er i begge tilfælde beregnet ud fra Makkink's formel sandsynligvis pga. forskel i temperatur i mellem grid 10215 og 10216 er den beregnede reference fordampning ikke ens. Forskellen mellem nedbør og reference fordampning er ca. 20% højere for det nye klima input end for det gamle klima input. Til sammenligning er gennemsnits afstrømningen i Odderbæk mellem 307 og 223 mm/år, hvis man regner med et opland på henholdsvis 8 km<sup>2</sup> eller 10 km<sup>2</sup>. Ved anvendelsen af det nye klima input må den aktuelle fordampning derfor være ret stor for at få vandbalance til at passe for Odderbæk eller alternativt må en del vand strømme ud af oplandet til et regionalt vandløb f.eks. den inkluderede del af Lerkenfeld Å.

Middeltal 1991-2000 for klima input	Gennemsnits nedbør (mm/år)	Gennemsnits reference fordampning (mm/år)	Forskel nedbør og reference fordampning (mm/år)	Gennemsnit afstrømning Odderbæk (mm/år) Ved opland på 8km <sup>2</sup> /11km <sup>2</sup>
Gammel klima input Reduceret grid 10215	791	565	226	307 /223
Nyt klima input Gennemsnit (10215 og 10216)	853	578	275	

Tabel 1.7 Nedbør, reference fordampning og afstrømning i Odderbæk.



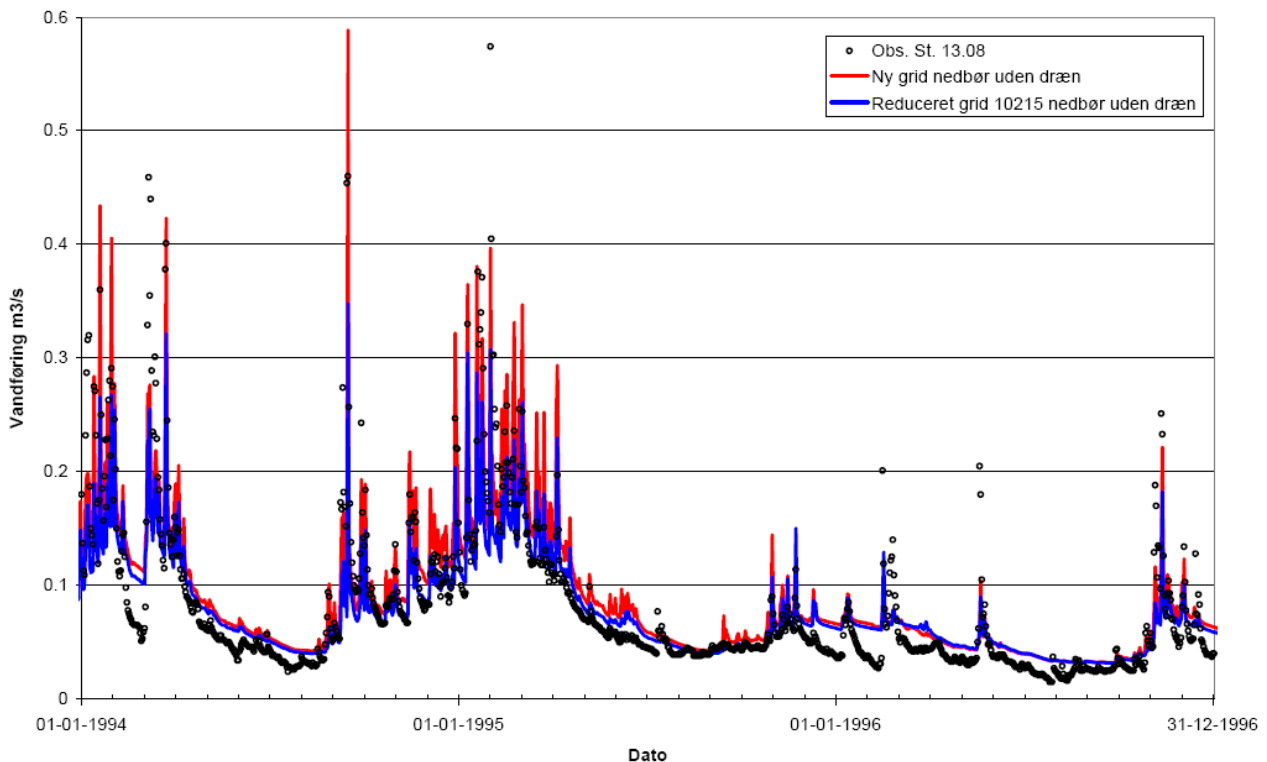
Figur 1.16: Observeret vandløbsafstrømning ved station 13.08 (cirkler) og simuleret afstrømning med klima input fra reduceret grid 10215(blå) og det nye klima input(rød).

I figur 1.16 er vist den simulerede afstrømning ved anvendelse af de to forskellige klima input i MIKE SHE's umættet zone model og værdierne for nøjagtighedskravene er vist i tabel 1.5. I begge tilfælde er modelområdet afgrænset af det regionale potentialebillede simuleret med DK-modellen. De simulerede afstrømninger minder meget om hinanden, men afstrømningen overestimeres med 16 % for det nye input og kun 2% med det gamle. For begge simuleringer er afstrømningen for høj i perioder med lav vandføring. Dette er sandsynligvis et spørgsmål om kalibrering af grundvandsmodellen, da høj sommervandføring kan skyldes en overestimering af trykniveau i den mættede zone og dermed et for stort grundvandsbidrag til modellen. I tabel 1.7 er vist nøjagtighedsværdier for simulerede trykniveauer ved begge klima input i forhold til 16 observerede pejleserier. De opstillede nøjagtighedskrav til en high fidelity model er ikke overholdt for nogen af modellerne. Det tyder på at de simulerede trykniveauer er overestimerede, men det kan først afklares når det endelige DAISY oplandsinput foreligger og en finkalibrering kan påbegyndes.

Pejleboring	Beregningslag	Reduceret grid 10215 nedbør		Ny gridnedbør	
		ME (m)	RMSE (m)	ME (m)	RMSE (m)
40.911	1	-2.05	2.07	-2.72	2.74
station 1	2	-1.64	1.67	-2.37	2.39
station 2	2	0.45	0.70	0.00	0.54
station 3	1	-1.51	1.53	-1.69	1.71
station 4	1	0.38	0.49	0.15	0.35
station 5	4	-3.97	3.98	-4.40	4.40
station 6	1	1.04	1.06	0.86	0.90
station 21	2	0.94	0.96	0.35	0.40
station 24	2	0.26	0.73	0.18	0.72
station 25	3	-0.16	0.50	-0.17	0.50
station 26	5	-0.12	0.41	-0.18	0.41
station 28	2	0.86	1.15	0.78	1.11
station 29	2	2.60	2.60	2.53	2.53
station 30	2	2.28	2.30	2.21	2.23
station 31	3	-0.05	0.47	-0.09	0.47
station 32	2	-2.41	2.43	-2.72	2.74
Middel		-0.19	1.44	-0.45	1.51

Tabel 1.7: Nøjagtighedskrav for de simulerede trykniveauer med henholdsvis reduceret 10215 grid nedbør og det nye gennemsnit at 10215 og 10216. Perioden 1991-2000.

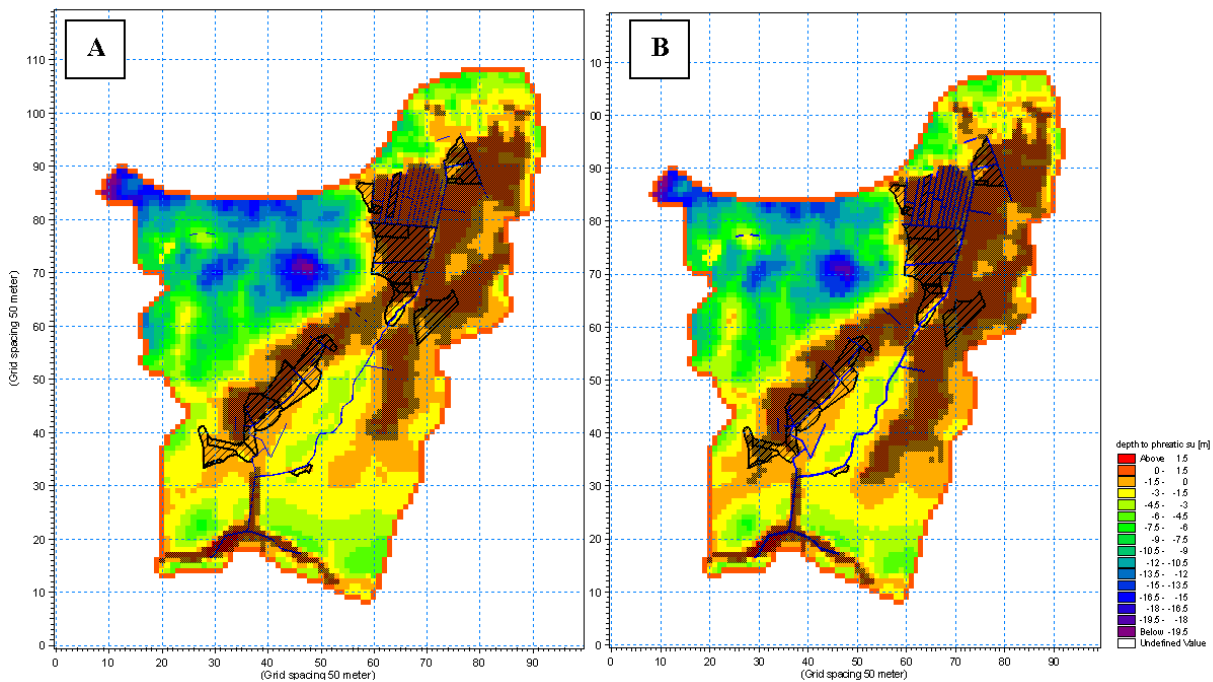
I figur 1.17 er den simulerede afstrømning med de samme klima input, som i figur 1.16, men her er modellerne kørt uden dræn. Der er mere dynamik, som tilfældet var med den gamle model kørt uden dræn. Dette ses også i tabel 1.5 med de høje  $R^2$  værdier for de to kørsler. Afstrømningen med det nye klima input er nu kun overestimeret med lidt mere end 10% (se tabel 1.6). Dette skyldes at der simuleres en større fordampning i dette tilfælde, hvor vandspejlet tillades at stige til terræn. Som nævnt tidligere er det naturligtvis ikke korrekt, at der ikke er dræn i oplandet. De bedre nøjagtighedskrav med modellen kørt uden dræn indikerer, at der findes områder, som responderer hurtigere på nedbør end modellen med dræn i 1 meters dybde er i stand til at beskrive. Samtidigt viser forskellen på den simulerede vandbalance, når modellerne køres henholdsvis med eller uden dræn, at koblingen mellem umættet zone og mættet zone er overordentligt afgørende. Ved anvendelse af DAISY nettonedbør som input til grundvandsmodellen havde det ikke gjort nogen forskel på den simulerede vandbalance om grundvandsmodellen køres med dræn eller ej. Fordampningen ændrer sig nemlig ikke, som en funktion af vandspejlets niveau, eftersom der ikke er nogen feedback fra den mættede til den umættede zone, når DAISY benyttes i stedet for MIKE SHE's egen model for umættet zone.



Figur 1.17: Observeret vandløbsafstrømning ved station 13.08 (cirkler) og simuleret afstrømning uden dræn i modellen med klima input fra reduceret grid 10215 (blå) og det nye klima input (rød).

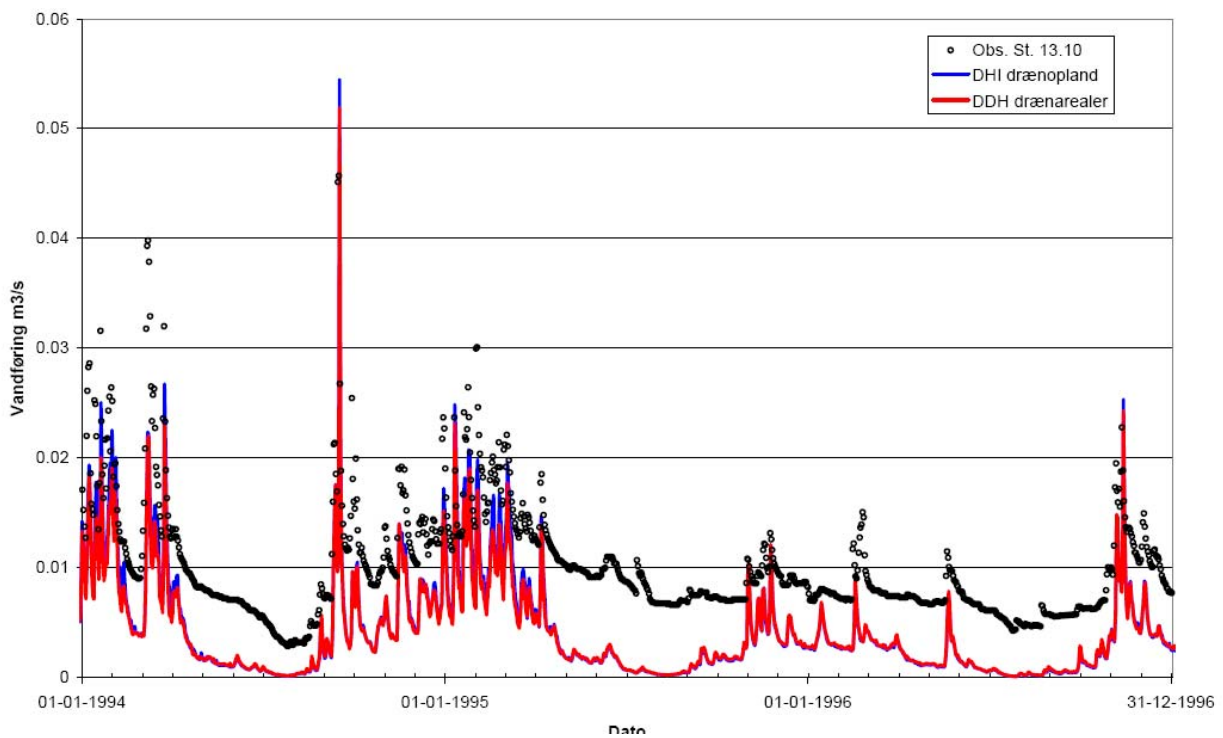
Som tidligere nævnt kan modelsimuleringerne uden dræn give en idé om hvor der naturligt er vandlidende jorde, som er blevet drænet i forrige århundrede. I figur 1.18 er områder, hvor vandspejlet ligger mindre end  $\frac{1}{2}$  meter under terræn på et tidspunkt i perioden 1991-2000, markeret som mørke områder, som et mål for potentielt vandlidende jorde. I figuren er samtidigt vist de områder som Hedeselskabet har registreret, som værende drænede. I begge tilfælde vist i figur 1.18 er der et sammenfald mellem de markerede og optegnede områder, men de potentielt vandlidende områder strækker sig samtidigt langt ud over disse. Der er altså indikationer på at større områder i oplandet er drænede end hidtil antaget, dette hænger godt sammen med tidligere studier, hvor man mente at drænoilandet til det monitorerede drænudløb station 13.10 var underestimeret (Styczen et al., 2004).





Figur 1.18. Dybden til det højest beliggende vandspejl simuleret i perioden 1991-2000. Områder med højeste vandspejl mindre end  $\frac{1}{2}$  meter under terræn er markeret som brunlige områder, ligesom dræned områder registreret af Hedeselskabet er vist som skraverede polygoner. Desuden er vist vandløb i oplandet med blå linjer. A) Simuleret vandspejl med reduceret grid nedbør. B) Simuleret vandspejl med ny grid nedbør.

I figur 1.19 er den simulerede drænafstrømning med den opdaterede model vist for et drænoiland henholdsvis som det foreslåede af Styczen et al. (2004) og for det optegnede område syd for Riskjæret (se figur 1.6 hvor disse oplande er vist). Det ses at dynamikken er udmærket, men afstrømningen er tydeligvis underestimeret. Dette ses også på middelfejlene angivet i tabel 1.5, som er over 50% med begge afgrænsninger af drænoiland. For den gamle model var middelfejlen kun 7%. Forskellen kan skyldes at der i den nye modelopsætning er medtaget nogle af grøfterne i Riskjæret, hvorfor en mindre vandmængde nu drænes fra de pågældende drænoilande. Det kunne være en ide at forsøge at estimere drænafstrømningen ved station 1.6 ved nogle alternative drænoilande på baggrund af resultater lignende figur 1.18 i de forestående modelberegninger med er DAISY input for hele oplandet.



Figur 1.19 Afstrømning ved drænufløbet ved station 13.10. Observeret afstrømning (cirkler) og simuleret fra DHI's forslåede oplande (blå) og det af Hedeselskabet indtegnede opland (rød).

### Stoftransport

Resultater vedr. stoftransport vil blive behandlet i senere delrapport, når der foreligger et brugbart DAISY input for nettonedbør og nitratudvaskning for hele oplandet. Her vil blive præsenteret simulerede nitratkoncentrationer i grundvand samt kvælstoftransport i vandløb og monitorerede drænoiland.

Her vil eventuelt også indgå en præsentation af et endeligt koncept for nitratreduktion i den mættede zone og vådområder. Det vil eventuelt findes relevant at inkludere en vis nedbrydning i lerlinser i øverste sandlag. Ligesom en vurdering af dispersionen i stofkørslerne er en vigtig parameter, da de simulerede grundvandskoncentrationer er følsomme over for denne.

## Sammenfatning

- Den gamle modelopsætning er konverteret til nyt datum og ny model version
- Der er fremstillet en opdateret model med revideret geologisk model, ny vandløbsmodel og et koncept for nitratreduktion i den mættede zone.
- Den nye model med DAISY test input simulerer lige så god afstrømningsdynamik som den gamle model
- Der er opstillet alternative bud på randbetingelser, som kan testes når DAISY input for hele oplandet foreligger.
- Den nye model simulerer en bedre vandbalance og dynamik end den gamle model ved anvendelse af MIKE SHE's UZ (umættet zone model)
- Hurtigt responderende områder mht. vandløbsafstrømning er ikke passende repræsenteret i modellen, da oplandsheterogeniteten ikke er inkluderet i tilstrækkelig grad.
- Det nye klima input som ønskes anvendt i oplandsberegninger for Odderbæk giver anledning til en større afstrømning end det tidligere anvendte klima input.
- Anvendelsen af den koblede UZ model både med dræn og uden dræn viser, hvor afgørende en kobling mellem den umættede og mættede zone er for simulering af fordampning i oplandet og dermed vandbalancen.
- Den simulerede dræn afstrømning ved det målte drænudløb er afhængig af størrelsen på det estimerede drænopland, som påpeget af Styczen et al., (2004). Underestimering af drænastrømningen med den nye modelopsætning indikerer dog at afstrømningen i højere grad er kontrolleret af modelstrukturer som: vandløbsopsætning, den geologiske model m.m som er ændret fra den gamle til nye model

## Referencer

- DGU (1988) Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Landovervågningsoplande. LOOP 2. *Geologisk jordartskort. Oddebæk (1216 II NV)*. Danmarks Geologiske Undersøgelser. Intern rapport nr. 44.
- DGU (1989): Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Landovervågningsoplande. LOOP 2. *Hydrogeologisk kortlægning. Oddebæk (1216 II NV)*. Danmarks Geologiske Undersøgelser. Intern rapport nr. 24.
- Dahl, M., Langhoff, J.H., Kronvang, B., Nilsson, B., Christensen S., Andersen H.E., Hoffmann, C.C. 3, Rasmussen, K.R., von Platen-Hallermund F. & Refsgaard; J.C. (2004). *Videreudvikling af ådalstypologi- Grundvand- Overfladevand Interaktion (GOI)*. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 16 2004
- Hansen, J.R., Ernstsens, V, Refsgaard, J.C. & Hansen, S. (in prep. 1) Field scale heterogeneity of nitrate transport and reduction in the saturated zone – towards distributed and physically based catchment scale models
- Hansen, J.R., Refsgaard, J.C., Hansen, S. & Ernstsens, V. (in prep. 2) Problems with heterogeneity in distributed physically based agricultural catchment models.
- Henriksen, H.J. & Sonnenborg A. (2003). *Ferskvandets Kredsløb, NOVA 2003 Temarapport*. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Nielsen, K., Thorsen, M., Markager, S., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Refsgaard, J.C., Styczen, M., Dahl-Madsen, K.I., Børgesen, C.D., Wiggers, L., Pedersen, S.E & Madsen, H.B.(2003). *Kvantificering af næringsstoffers transport fra kilde til recipient samt effekt i vandmiljøet. Modeltyper og deres anvendelse illustreret ved eksempler*. Danmarks Miljøundersøgelser. 114 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 455 <http://faglige-rapporter.dmu.dk>
- Nielsen, K., Styczen, M., Andersen, H.E., Dahl-Madsen, K.I., Refsgaard, J.C., Pedersen, S.E., Hansen, J.R., Larsen, S.E., Poulsen, R.N., Kronvang, B., Børgesen, C.D., Stjernholm, M., Villholth, K., Krogsgaard, J., Ernstsens, V., Jørgensen, O., Windolf, J., Friis-Christensen, A, Uhrenholdt, T., Jensen, M.H., Hansen, I.S., Wiggers, L. (2003). *Odense Fjord – Scenarier for reduktion af næringsstoffer*. *Danmarks Miljøundersøgelser*. 276 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 485 <http://faglige-rapporter.dmu.dk>
- Nordjyllands Amt (1998). Vandmiljøplanens grundvandsovervågning. Miljøkontoret. Rapport maj 1998.
- Henriksen, H.J & Sonnenborg. T.O., (2005). *Nøjagtighedskriterier*. I: Håndbog i grundvandsmodellering, Sonnenborg & Henriksen (eds). Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser GEUS
- Styczen, M., Petersen, S., Kristensen, M., Jessen, O.Z., Rasmussen D., Andersen, M.B. & Sørensen, P.B. (2003). *Calibration of Models Describing Pesticide Fate and Transport in Lillebæk and Oddebæk Catchment*. Pesticides Research Nr. 62 2004. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen