

MILJØCENTER NYKØBING FALSTER

MILJØMINISTERIET

## **Opsamling**

### **Oplandsmodel for landovervågningsop- land 1**

Opsamlingsrapport, 27. maj 2009

MILJØCENTER NYKØBING FALSTER

MILJØMINISTERIET

## Opsamling

### Oplandsmodel for landovervågningsop- land 1

Opsamlingsrapport, 27. maj 2009

Revision : version 1  
Revisionsdato : 27-05-2009  
Sagsnr. : W01997  
Projektleder: ULA  
Udarbejdet af : OLJE, THW, ULA  
Godkendt af : THW

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning</b> .....	<b>5</b>
1.1	Konklusioner .....	5
1.1.1	<i>Hovedtræk</i> .....	5
1.1.2	<i>Geologi</i> .....	5
1.1.3	<i>Strømningsmodel</i> .....	6
1.1.4	<i>Redoxfront</i> .....	6
1.1.5	<i>Stoftransportmodel</i> .....	7
1.2	Baggrund for undersøgelsen .....	7
1.3	Formål .....	8
1.4	Metoder .....	9
<b>2</b>	<b>Geologi</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Strømningsmodel</b> .....	<b>12</b>
3.1	Modelopstilling .....	13
3.1.1	<i>Modelområde og randbetingelser</i> .....	13
3.2	Observationsdata .....	14
3.3	Resultater .....	15
3.3.1	<i>Vandbalance</i> .....	16
3.4	Konklusion .....	16
<b>4</b>	<b>Fastlæggelse af redoxfront</b> .....	<b>17</b>
4.1	Fremgangsmåde .....	17
4.2	Følsomhedsanalyse .....	17
4.2.1	<i>Kvantificering af nitratreduktionen ud fra partikelbaneberegninger</i> .....	18
<b>5</b>	<b>Stoftransportmodellering</b> .....	<b>19</b>
5.1	Observationer .....	19
5.2	Opstilling af model .....	20
5.3	Resultater .....	21
5.4	Konklusion .....	23
	<b>Referencer</b> .....	<b>24</b>

## Bilagsoversigt

- Bilag 1** Geologisk model. Delrapport. Oplandsmodel for Landovervågningsopland 1. Alectia, 2008.
- Bilag 2** Opstilling og kalibrering af model. Delrapport. Oplandsmodel for Landovervågningsopland 1. Alectia, 2008.
- Bilag 3** Beregning af nitratomsætning i oplandet. Delrapport. Oplandsmodel for Landovervågningsopland 1. Alectia, 2009.

## 1 Indledning

Denne opsamlingsrapport samler resultaterne vedrørende opstilling og kalibrering af vand- og kvælstofmodel for Landovervågningsopland nr. 1 (LOOP 1).

Opsamlingsrapporten summerer resultater fra tre delrapporter, som omhandler den geologiske model, opstilling og kalibrering af oplandsmodellen, samt beregning af nitratomsætningen i oplandet. De 3 delrapporter ses i Bilag 1, Bilag 2, og Bilag 3.

### 1.1 Konklusioner

#### 1.1.1 Hovedtræk

LOOP1 oplandet er karakteriseret som et lerjordsopland i NOVANA sammenhæng. I LOOP 1 betyder det, at den hurtige og dominerende transport via dræn og grøfter til vandløb er en af de vigtigste transportprocesser i oplandet, men også at omsætningen af nitrat for en stor del foregår i rodzonen. For LOOP 1 oplandet betyder det at 1) betydningen af nitratfrontens placering er lille i forhold til beregning af nitrattransporten til vandløbet, 2) kalibrering af nettonedbør og kvælstofudvaskning fra rodzonen har ikke været mulig, 3) kalibreringsresultatet har vist sig at være skala-afhængig, idet modellen er godt kalibreret på stor skala, oplandsniveau, men ringe kalibreret på lille skala, dræn-niveau, som kun omfatter enkelte eller en enkelt model-celle.

I forbindelse med projektet er der udviklet et modelkoncept, som belyser, hvor en mindskning af gødningsforbruget vil have en effekt. Modelkonceptet kan direkte overføres til andre oplande.

#### 1.1.2 Geologi

Ved opstilling af den geologiske model for oplandet er der taget udgangspunkt i en eksisterende model. Geologiske informationer fra 14 nye boringer i oplandet har bidraget til mere detaljeret viden om de to øverste sandlag, som har hydraulisk kontakt til vandløbene.

### 1.1.3 *Strømningsmodel*

Der er opstillet en strømningsmodel til beskrivelse af det hydrologiske vandkredsløb i LOOP oplandet. Strømningsmodellen skal primært benyttes som baggrund for den efterfølgende nitratmodel.

Strømningsmodellen er kalibreret og valideret mod de eksisterende grundvands- og vandløbsobservationer, og modellen vurderes at have et tilstrækkeligt niveau for at kunne benyttes i de videre beregninger.

Vandbalancen fra den opstillede model viser:

- Ud af en total nettonedbør på 1986 mm sker der en grundvandstilstrømning til vandløbene på 150 mm, og en dræntilstrømning på 1196 mm. Dvs. at hovedparten af tilstrømningen til vandløbene sker gennem dræn. Det skal dog her noteres, at noget af dræntilstrømningen sker via å-nære dræn.
- Den overfladiske afstrømning til vandløbene er på 216 mm i perioden.
- Der sker en marginal nettoudstrømning af grundvand fra LOOP oplandet.

### 1.1.4 *Redoxfront*

Reduktionsfronten bestemmes primært ud fra den tilgængelige information mht. farveskift i PC-Jupiter borer, samt i de etablerede borer i forbindelse med nærværende projekt. Dette giver et antal støttepunkter, hvor dybden til reduktionsfronten antages at være rimelig sikker. Denne flade er efterfølgende justeret ud fra information om nettonedbøren samt enkelte vandanalyser (iltmålinger) fra oplandet.

For at belyse usikkerheden på den specificerede reduktionsfront er partikelbanemodulet i MIKE SHE benyttet til at vurdere følsomheden på reduktionsfronten. I denne proces er placeringen af reduktionsfronten justeret, hvorefter transporten af nitrat kan vurderes som funktion af reduktionsfrontens placering. Analysen viser, at den initiale placering af reduktionsfronten giver en acceptabel overensstemmelse mellem beregnet og målt transport af nitrat til vandløbet.

### 1.1.5 Stoftransportmodel

Der er på baggrund af den kalibrerede strømningsmodel opstillet en nitratmodel, der beregner transport og omsætning af nitrat i grundvandszonen. Modellen er opstillet ud fra den tidligere beskrevne reduktionsfront, og nitratudvaskningen beregnet af DMU. Nitratmodellen er baseret på advektions- og diffusionsmodulet i MIKE SHE.

Resultaterne fra stoftransportmodellen viser overordnet en rimelig overensstemmelse med de observerede værdier, der repræsenterer hhv. nitrattransporten og vandtransporten fra hele oplandet eller fra deloplande. Modellen har derimod en dårlig overensstemmelse i forhold til de observerede værdier fra drænstationerne.

## 1.2 Baggrund for undersøgelsen

LOOP 1 ligger i Miljøcenter Nykøbing Falsters område. Som en del af NO-VANA-programmet skal der opstilles en dynamisk, procesbaseret og areal-distribueret oplandsmodel til beskrivelse af vand- og kvælstoftransport i den mættede zone for LOOP 1 oplandet til vandløbet Højvads Rende.



Figur 1-1: LOOP 1 området. Skala: 1 cm ~ 750 m. ©KMS.

### 1.3 Formål

Den opstillede hydrologiske model for LOOP 1 skal styrke den fremtidige rapportering af udviklingen i sammenhængen mellem dyrkningspraksis og tab af kvælstof til vandmiljøet med fokus på dynamikken i vandtransport og N-omsætning. Formålet med opstillingen af en dynamisk model for vand og kvælstoftransport for LOOP 1 oplandet er at forbedre vidensniveauet og belyse:

- Kvælstofomsætningen i underjord.
- Relationen mellem kvælstofomsætning, landskabstype, hydrogeologi mv.
- Modellering af nitrattransporten skal belyse, hvornår en effekt af ændret kvælstofudvaskning kan observeres i kvælstoftransporten i vandløb i forskellige landskabstyper.
- Medvirke til at validere vandbalancen.
- Tilvejebringe et værktøj, der kan anvendes ved scenarieberegninger af, hvilken effekt ændringer i landbrugspraksis og arealanvendelse har på udvaskning af kvælstof og kvælstofafstrømning.

For at tilfredsstille formålet med modelanvendelsen skal modellen opfylde følgende:

- Kunne beregne transporten af vand fra rodzonen samt udvekslingen af vand mellem grundvand og vandløb. Der er speciel fokus på en korrekt beskrivelse af strømning i hhv. mættet zone, dræn og på overfladen.
- Kunne beregne transporten og nedbrydningen af næringsstoffer fra de vaskes ud fra rodzonen til de løber ud i vandløbene. Beregningen skal tage højde for den arealmæssige fordeling af belastningen og forskelle i transport og nedbrydning af stofferne i de forskellige transportmiljøer (umættet zone, grundvand, dræn, overfladevand, vådområder/enge).
- Kunne beskrive både de strømnings- og transport- og nedbrydningsmæssige ændringer af forskellige tiltag i oplandet, f.eks. braklægning, omlægning af arealanvendelsen, ændret landbrugspraksis, afskæring af dræn og udvikling af vådområder.



#### 1.4 Metoder

For at kunne belyse transporten af nitrat fra rodzonen til vandløb er der opstillet en strømningsmodel, som beskriver de forskellige strømningsveje i oplandet. Strømningsmodellen danner baggrund for opstilling af en kvælstoftransportmodel. I forhold til transport af nitrat er der speciel fokus på en korrekt beskrivelse af strømning i hhv. mættet zone, dræn og på overfladen.

Der er taget udgangspunkt i den eksisterende model for Vesterborgområdet, samt en opdateret beskrivelse af de geologiske forhold i oplandet. Beregning af nettonedbør og kvælstof til strømnings- og stoftransportmodellerne er foretaget med DAISY-modellen af DMU. Den integrerede strømningsmodel indeholder en fuld grundvandsmodel og en detaljeret overfladevandsmodel (MIKE SHE / MIKE 11). De to modeller er distribuerede og dynamisk koblede. Derved simuleres både rumligt og tidsligt varierende udveksling af eksempelvis udsivende grundvand til vandløb og grundvandsindvindings effekt på vandløbenes vandføring samt sammenhængen med dræning fra landbrugsarealer.

For at kunne beskrive kvælstoftransport og omsætning af kvælstof er nitratreduktionsfronten fastlagt ud fra farveskift i boringer, grundvandspejl, grundvandsstrømning og kvælstofkoncentration i vandløb. Hertil er brugt partikelbaneanalyser. Usikkerheden på fronten er vurderet som meget stor.

Endelig er stoftransportmodellen koblet til strømningsmodellen, ved brug af AD modulet i MIKE SHE, og der er dermed etableret en integreret beskrivelse af transporten.

## 2 Geologi

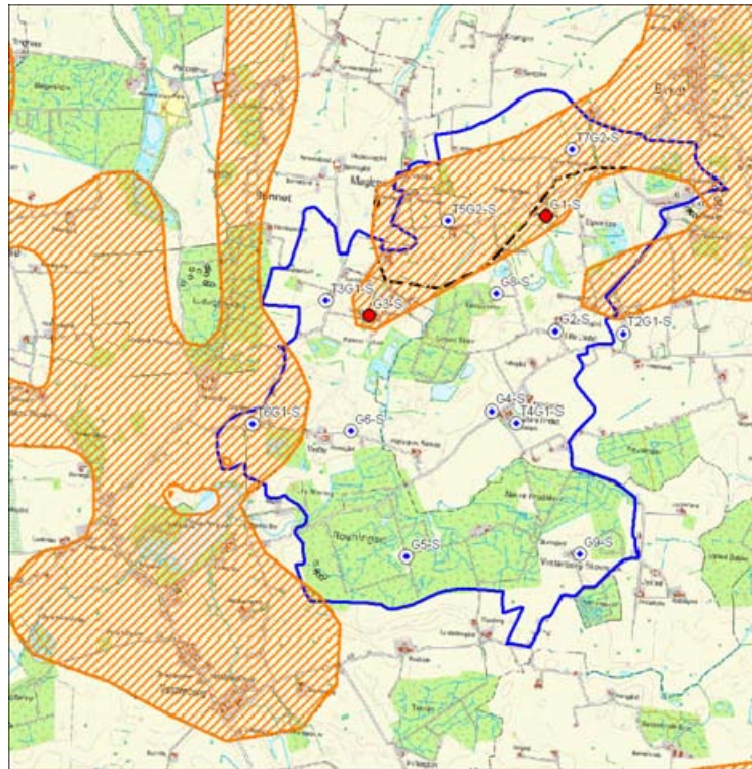
Den geologiske model er en opdatering af en tidligere opstillet model for Lolland (udført i 2003 af RAMBØLL, /1/), som efterfølgende er blevet opdateret af COWI i 2007 /2/ efter udførelsen af geofysiske undersøgelser.

Der er suppleret med udførelsen af 14 korte borer til mellem 5 og 8 meters dybde. Boringerne er udført ved de eksisterende grundvandsreder, da disse ikke blev geologisk beskrevet ved udførelsen.

Den geologiske lagserie består nederst af prækvartært Skrivekridt, som overlejres af kvartære dæklag af hovedsagelig moræneler med flere indslag af sand, der benævnes S1-S4. S1 ligger dybest og S4 er nærmest terræn. I forbindelse med LOOP1 er det kun interessant at vurdere S4 og S3, som er de sandlag, der har direkte eller indirekte hydraulisk kontakt til vandløbene i oplandet.

S3-laget træffes oftest mellem kote -25 og kote -5, men ses helt op til kote 10 enkelte steder. S3-laget varierer i tykkelse fra 30 meter til under 1 meter, men er oftest omkring 5 meter tykt. Udbredelsen af laget ses på Figur 2-1.

S4 træffes øverst i den kvartære lagserie som et mindre sandmagasin. Magasinet er spredt og lokalt aflejret. Sandmagasinet ses fra kote -10 til terræn. De fleste steder er laget dækket af et tyndt lag moræneler.



Figur 2-1 Udbredelsen af S3. Sort stiplet linie indikerer udbredelsen i den originale model i /2/. Røde prikker er nye boringer med S3 og øvrige prikker er nye boringer uden forekomst af S3.

### 3 Strømningsmodel

Der er opstillet en integreret hydrologisk model for oplandet til LOOP 1. Den numeriske model er opsat som en MIKE SHE – MIKE 11 model, hvor MIKE SHE beskriver de landbaserede hydrologiske processer, og MIKE 11 beskriver de hydrauliske forhold i vandløbene. Modellerne er dynamisk koblede, og der beregnes i hvert tidsskridt udveksling mellem grundvandet og vandløbene. Udvekslingen beregnes som strømning mellem grundvandet og vandløbet, tilstrømningen af drænvand til vandløbene, samt overfladisk afstrømning til vandløbene.

Ved beregning af nitrattransporten og omsætningen af nitrat i oplandet er der fokus på at få en korrekt differentiering af strømningsbeskrivelsen i hhv. drænafstrømning, samt grundvandsafstrømning over og under reduktionsfronten. Den del af nitrattransporten, der forekommer gennem dræn, vil typisk ske under oxiderende forhold, idet grundvandet ikke når at strømme under reduktionsfronten. For den del af vandløbsafstrømningen, der udspringer fra grundvandstilstrømning, er det vigtigt at få kortlagt og beskrevet fordelingen af anaerobe zoner, samt at kunne vurdere, hvor stor en del af nitraten, der passerer disse, og dermed forsvinder. Der sker ofte en denitrifikation i de ånære områder. Det drejer sig typisk om områder med grundvandstilstrømning til lag med højt indhold af organisk materiale nær åen eller direkte i åens bund. Når den endelige vurdering af tilstrømningen til vandløbene skal foretages, er det væsentligt, at disse forskellige processer er inddraget. Det gælder ikke mindst, når det skal vurderes, hvor indgreb er nødvendige for at nedsætte den samlede belastning.

Ved opsætningen af strømningsmodellen har der derfor været fokus på en korrekt beskrivelse af følgende processer:

- Fraktionering af strømning til vandløb i hhv. drænafstrømning, grundvandsudveksling samt overfladisk afstrømning.
- For strømningen i grundvandet er der fokuseret på den overfladenære strømning, og specielt på en vurdering af om grundvandet strømmer under eller over reduktionsfronten. De primære grundvandsmagasiner er S4 og S3, da der ikke sker meget strømning fra hhv. S2 og kalk til vandløbssystemet.
- Ved kalibreringen af modellen er vandbalancen fra LOOP 1 oplandet verificeret ved brug af hydrografen for afstrømning ved station 620014.

- Drænastrømningen er afgørende for en korrekt beskrivelse af de store nitratkoncentrationer ("peak" værdier) i vandløbet. Drænstationerne er benyttet til validering / kalibrering af drænoopsætningen ud fra de observerede værdier. Forskelle mellem drænstationerne kan ikke inddrages i modellen, idet dette ikke kan opskaleres til hele oplandet.

På baggrund af den regionale Lollands-model (100x100 m net) /5/ er der opstillet en detailmodel for LOOP 1-oplandet (50x50 m net). Kalibreringsperioden er fra 1990 til 1999 og valideringsperioden er 2000 til 2001.

Den opstillede model har 8 beregningslag. De enkelte beregningslag defineres af den geologiske model.

### 3.1 Modelopstilling

Ved opsætningen af strømningsmodellen for LOOP 1 området tages der udgangspunkt i den allerede opstillede model, se /3/. Da modellen for LOOP 1 opstilles i et finere beregningsnet, og da opgavens formål desuden er et andet end for den regionale model, vil der i alle modellens moduler blive foretaget ændringer, således at det opstillede værktøj opstilles i forhold til opgavens formål og den opstillede konceptuelle model.

#### 3.1.1 Modelområde og randbetingelser

Projektområdet er defineret som oplandet til LOOP1 området, men ved opstillingen af strømningsmodellen er det afgørende at kunne definere validerede randbetingelser langs hele projektområdet. Dette betyder, at projektområdet som minimum dækker oplandet til LOOP1. For at minimere påvirkningen fra de definerede randbetingelser (i den opstillede numeriske model), er det valgt at udvide projektområdet således at modellen kan opstilles med passende randbetingelser.

Som randbetingelser til grundvandsmodellen er det valgt at benytte de beregnede værdier for den regionale model for Lolland. Det betyder at modellen i hvert tidsskridt, som randbetingelse, benytter det grundvandsniveau som den regionale model for Lolland beregnede.

#### 3.1.1.1 Klimatiske data

Den numeriske model opstilles som en grundvands-vandløbsmodel hvor nettonedbøren gives som et separat input. Nettonedbøren fungerer dermed som en øvre randbetingelse til modellen. Beregningerne af nettonedbøren er foretaget med DAISY, og er beskrevet i flere detaljer i /4/.

#### 3.1.1.2 Topografi

Der er i forbindelse med projektet indhentet den nyeste digitale terrænmodel fra KMS. Disse data indeholder flere målepunkter per m<sup>2</sup>, og er meget brugbare i forbindelse med verificeringen af lavbundsområder samt vandløbsplacering. Data er leveret fra KMS som et stort punkttema med ca. 50 millioner punkter. Dette er ikke operationelt i en numerisk model, og det leverede punkttema blev derfor interpoleret ud i en flade med en opløsning på 5 meter. Denne flade er efterfølgende benyttet i modellen.

#### 3.1.1.3 Dræn og indvinding

Den numeriske model opstilles som en grundvands-vandløbsmodel hvor nettonedbøren gives som et separat input. Nettonedbøren fungerer dermed som en øvre randbetingelse til modellen. Beregningerne af nettonedbøren er foretaget med DAISY, og er beskrevet i flere detaljer i /4/.

Der er i forbindelse med projektet indhentet den nyeste digitale terrænmodel fra KMS. Disse data indeholder flere målepunkter per m<sup>2</sup>, og er meget brugbare i forbindelse med verificeringen af lavbundsområder samt vandløbsplacering. Data er leveret fra KMS som et stort punkttema med ca. 50 millioner punkter. Dette er ikke operationelt i en numerisk model, og det leverede punkttema blev derfor interpoleret ud i en flade med en opløsning på 5 meter. Denne flade er efterfølgende benyttet i modellen.

Drænede arealer er beskrevet ved brug af drænmodulet i MIKE SHE. Drænede arealer er defineret ud fra de tilgængelige informationer. Drændybden er estimeret til 1 meter under terræn i hele oplandet.

Alle større indvindinger i LOOP 1 oplandet er medtaget i modellen.

### 3.2 Observationsdata

Ved opstilling af en integreret strømningsmodel er det afgørende at få kalibreret og valideret modellen mod observationer af både grundvandsni-

veauet og afstrømningen i vandløbet. Der er ved opstillingen af modellen benyttet:

- 52 grundvandsobservationer, filtersat mellem 2 og 55 meter under terræn. Der er kun en af de overfladenære borer (L230.250), der er filtersat i S4, resten af de overfladenære borer er filtersat i morænen.
- 3 vandløbsstationer. Station 620014 benyttes til kalibrering og validering af den totale afstrømning fra oplandet. Station 620020 er beliggende i den opstrøms del af Højvads Rende. Station 620019 er placeret på et tilløb til Højvads Rende. Stationen beskriver afstrømningen fra den sydøstlige del af LOOP oplandet.
- 4 drænstationer i oplandet. Der er ved alle stationer daglige observationer siden januar 1990.

### 3.3 Resultater

Kalibreringen af den hydrologiske model indebærer en justering af de benyttede parametre, så der er en acceptabel overensstemmelse mellem de observerede og simulerede værdier. Kalibreringen er udført med AutoCAL til både kvantitative og kvalitative nøjagtighedskriterier for grundvandspotentialer og vandføring er nået.

Ved kalibreringen af vandløbsmodellen er der primært fokuseret på en god bestemmelse af den totale afstrømning fra oplandet (station 620014). Efterfølgende er der foretaget mindre justeringer af drænkonstanten i forhold til drænstationerne 3, 5, 6 og 7. Der er valgt en konstant værdi for drænkonstanten i alle drænede områder (værdien  $6 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ). Der er altså ikke foretaget specifikke justeringer af drænkonstanten i de enkelte drænoplande.

Modellen oversimulerer generelt afstrømningen i vandløbene. For station 620014 og 620020 har modellen en gennemsnitlig fejl på hhv. 12 og 24 % i forhold til de observerede værdier. For station 620019 har modellen gennemsnitligt en fejl på 59 %, og modellen har derved en noget dårligere overensstemmelse med denne station. I forhold til drænstationerne har modellen generelt en dårlig overensstemmelse. Dette skyldes primært mindre oplandsarealer med en usikker afgrænsning samt, samt at modellen ikke beskriver processerne tilstrækkeligt godt på denne skala. Over-

ordnet set vurderes kalibreringen dog at have et tilstrækkeligt niveau, for at kunne benyttes i de videre beregninger af nitrattransporten.

### 3.3.1 Vandbalance

Der er for oplandet udtrukket vandbalancer, der viser den overordnede vandbalance for oplandet.

Ud fra den overordnede vandbalance kan følgende noteres:

- Ud af en total nettonedbør på 198 mm/år sker der en grundvands-tilstrømning til vandløbene på 15 mm/år, og en dræntilstrømning på 120 mm/år. Dvs. at hovedparten af tilstrømningen til vandløb sker gennem dræn. Det skal dog her noteres, at noget af dræntilstrømningen sker via å-nære dræn.
- Der sker en tilstrømning af overfladisk afstrømning til vandløbene på 22 mm/år i perioden.
- Der sker en marginal nettoudstrømning af grundvand fra LOOP oplandet.

### 3.4 Konklusion

Hovedformålet med opgaven er at opstille en dynamisk oplandsmodel til beskrivelse af vand- og kvælstoftransporten i den mættede zone for LOOP 1 oplandet. Dette kræver som udgangspunkt en god beskrivelse af hhv. drænafstrømning, grundvandsstrømningen omkring reduktionsfronten samt af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand. Ud fra den opstillede model vurderes der at være skabt et grundlagt, hvormed modellen kan benyttes som værktøj til mere detaljerede analyser af nitratomsætningen i LOOP1 oplandet. Ved beregningen af den samlede nitrattransport og omsætning i oplandet, skal usikkerheden og de beskrevne fejl på vandstrømningen tages med i betragtning.



## 4 Fastlæggelse af redoxfront

Nitratreduktionsfronten er defineret som den grænse, der adskiller nitratholdigt vand fra nitratfrit vand. Nitratfronten findes under reducerede forhold, det vil sige anaerobe, iltfrie forhold. Redoxfront definerer fronten af forskellige redoxparametre (ilt, nitrat, pyrit, org., farve). I forhold til den totale reduktion af nitrat i et opland, vil den reduktion, der foregår omkring nitrat reduktionsfronten typisk være den dominerende proces. Ved opstilling af en nitratreduktionsmodel er det derfor afgørende at reduktionen i den mættede zone og derved også nitratreduktionsfronten medtages på den mest korrekte måde.

### 4.1 Fremgangsmåde

Reduktionsfronten bestemmes ud fra den tilgængelige information i PC-Jupiter borer, samt de etablerede borer i forbindelse med nærværende projekt. Dette giver et antal støttepunkter, hvor dybden til reduktionsfronten antages at være rimelig sikker. Da antallet af borer i oplandet er begrænset, er det nødvendigt at foretage en vurdering i alle områderne mellem punkterne, således at den endelige reduktionsfront placeres ud fra den bedst mulige vurdering. Følgende datakilder benyttes ved placeringen af reduktionsfronten:

- Lavbundsområder med stor organisk pulje. Det antages at reduktionsfronten i disse områder ligger tæt på overfladen.
- Grundvandsdannelsen. Den modelberegnete grundvandsdannelse benyttes til vurdering af hvor dybt reduktionsfronten er placeret.
- Grundvandsspejlet, benyttes ligeledes som en indikator på, hvor dybt reduktionsfronten er placeret.

De ovenstående datakilder benyttes ved generering af et antal støttepunkter således at der kan foretages en endelig interpolering af en flade, der dækker hele oplandet.

### 4.2 Følsomhedsanalyse

Der er foretaget en følsomhedsanalyse på redoxfrontens placering. Først er der opstillet en simpel partikelbanemodel, hvor tætheden af partikler i modellen svarer til den DAISY-beregnete nitratbelastning. Partiklerne er udlagt i modellen og partikler som når under redoxfronten mærkes. Antallet af partikler som når under redoxfronten optælles herefter. Følsomhedsanalysen viser, at jo dybere fronten ligger, desto færre partikler når fron-

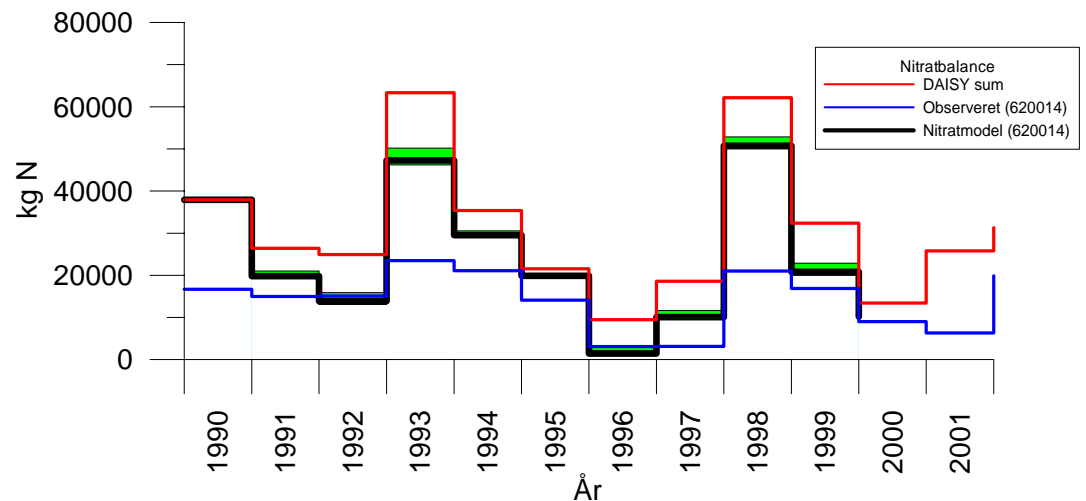
ten. Ved en frontplacering på x2 dybde er det således lidt over halvdelen af partiklerne, som når under fronten.

Frontplaceringen viser desuden, at jo dybere fronten er placeret, jo større tidsforsinkelse er der i systemet. Der er ikke i observationsdata tegn på en klar tidsforsinkelse.

#### 4.2.1 Kvantificering af nitratreduktionen ud fra partikelbaneberegninger

Herefter er der foretaget udtræk af vandbalancen i MIKE SHE og nettonedbøren er herefter separeret i grundvand, dræn og overfladisk afstrømning. Vandbalancen viser at 7 % (modelberegnet 1991-2000) af den samlede vandvolumen i station 620014 kommer fra grundvand, og derved har frontplaceringen ikke så stor en betydning for den endelige nitrattransport.

Figur 4.1 viser den partikelbaserede nitrattransport. Med grønt er angivet den variation man får i den samlede transport ved en nitratfrontsdybde på 75 % og 150 % af den estimerede dybde. Det ses, at usikkerheden på dybden til redoxfronten ikke har så stor betydning for den samlede nitrattransport.



Figur 4.1: Partikelbaseret nitrattransport for tre scenarier sammenholdt med samlet DAISY input samt målt ved station 620014. Med grønt er markeret forskellen i den samlede nitrattransport ved en nitratfronts placering på hhv. 75 % og 150 % af den fastlagte dybde.

## 5 Stoftransportmodellering

Der er på baggrund af den kalibrerede strømningsmodel opstillet en nitratmodel, der beregner transport og omsætning af nitrat i grundvandszonen. Modellen er opstillet ud fra den tidligere beskrevne reduktionsfront, og nitratudvaskningen beregnet af DMU. Nitratmodellen er baseret på advektions- og diffusionsmodulet i MIKE SHE.

Ved opsætning af modellen til beregning af kvælstoftransporten og omsætningen i oplandet har der været fokus på følgende processer:

- Det antages, at den kalibrerede strømningsmodel giver en korrekt beskrivelse af vandtransporten i området. I transportmodellen fokuseres på at få beskrevet de forskellige processer i oplandet korrekt.
- Placeringen af reduktionsfronten er vigtig for nitratreduktionen i grundvandszonen. Det antages, at den nitrat der strømmer under reduktionsfronten omsættes helt.
- I de ånære områder er der fokus på den strømning, der sker gennem organiske jordlag samt udveksling mellem grundvandet og vandløbets bund. Da den benyttede vandløbsmodel er en 1D model, beskrives udvekslingen med vandløbets bund ved den strømning, der sker fra dybere modellag end det øverste.
- Ved kalibreringen af transportmodellen er der primært fokus på at få en god overensstemmelse med observationerne ved station 620014, da denne station benyttes til en validering af den totale stofbalance for oplandet. Målingerne fra drænstationer benyttes til verificering af transporten via dræn, og resultaterne fra disse områder benyttes efterfølgende for hele oplandet.

### 5.1 Observationer

I LOOP oplandet er der foretaget observationer af nitratkoncentrationen fra de tre vandløbsstationer 620014, 620019 og 620020. Station 620014 indeholder observationer af nitrattransporten fra hele oplandet, mens stationerne 620019 og 620020 beskriver transporten af nitrat fra deloplande indenfor LOOP 1.

Der er målt nitratkoncentrationer ved alle 6 drænstationer, men det er kun observationerne fra station 3, 5, 6 og 7, der benyttes til validering af modellen.

## 5.2 Opstilling af model

Der er med baggrund i den kalibrerede strømningsmodel opstillet en nitratmodel for oplandet til LOOP 1. Udvaskningen af nitrat fra rodzonen er beregnet ved brug af DAISY modellen, og introduceres i modellen som en tidsserie med nitrat i kg N/ha/år til grundvandszonen.

Ved transport af nitrat fra rodzonen til vandløb, kan der primært ske omsætning af nitraten gennem to processer:

- Reduktion når nitraten passerer reducerede områder i grundvandet.
- Reduktion af nitrat i oversvømmede områder tæt på vandløbene.  
Dette vil typisk være på organiske jorde med reduktionskapacitet.

Ved opstillingen af modellen er reduktionsfronten indlagt som det øverste beregningslag. Dette er ikke strengt nødvendigt, men medfører at resultaterne fra nitratmodellen lettere kan vurderes. Der er i forbindelse med inkluderingen af et ekstra beregningslag foretaget en validering af strømningsresultaterne for at sikre, at det ændrede beregningslag ikke påvirker resultaterne. I grundvandet fjernes nitrat ud fra reduktionsforholdene og indholdet af organisk materiale. Over reduktionsfronten, vil der primært være aerobe forhold, og nitraten vil i denne zone transporteres stort set uden at blive omsat. I virkeligheden vil der i denne zone muligvis være mindre områder med en høj denitrifikationskapacitet men grundet de tilgængelige oplysninger, ses der i modellen bort fra sådanne områder. I engområder vil der ligeledes kunne ske en reduktion i de øverste organiske jordlag. Det er i modellen valgt at trække reduktionsfladen tæt på terræn i disse områder, og derved vil der i modellen ske en omsætning af nitrat i disse områder. Under reduktionsfronten er der i modellen indlagt en meget effektiv fjernelse af nitraten, hvilket er udtrykt ved en halveringstid på 1 dag. Dette betyder, at omsætningen af nitrat sker meget hurtigt for den del der transporteres under den specificerede reduktionsflade. I de aerobe områder er der indført en halveringstid på 100 år, hvilket taget transporttiden i denne zone i betragtning, betyder at der stort set ingen omsætning vil ske.

Vandløbene er defineret i den opstillede MIKE 11 model. I nitratmodellen er der benyttet en kobling mellem hhv. MIKE SHE og MIKE 11, hvilket medfører at vandløbene modtager nitratbelastning fra hhv. overfladisk afstrømning, dræntilstrømning og grundvandstilstrømning. I den opstillede model er det antaget, at alle dræn er forbundet direkte til vandløbene. Hvis der er steder, hvor drænudstrømningen sker via vådområder eller andre lavbundsområder, vil der i modellen ikke tages hensyn til den nedbrydning, der sker i disse områder.

Der kan ske en omsætning af nitrat ved transport gennem de aflejrede sedimenter i vandløbsbunden. Der er i denne model ikke taget hensyn til denne proces, og ved tilstrømningen af nitrat fra grundvandet sker omsætningen udelukkende hvis nitrattransporten sker under den definerede reduktionsfront.

Generelt vurderes det, at nitratomsætningen i strømmende vandløb er lille. Den afgørende proces er, hvis der sker nitrattransport fra vandløbet og ud på oversvømmede enge eller organiske aflejringer. Dette er medtaget i modellen ved at reduktionsfronten er trukket meget tæt på terræn i disse områder. Det medfører, at der sker en omsætning af det nitratholdige vand, der infiltrerer til grundvandet og dermed ned i de reducerede zoner fra disse områder.

### 5.3 Resultater

Tabel 5.1 viser omsætningen af nitrat samt udvaskningen til vandløbet fra de forskellige komponenter i den opstillede model. Massebalancen er udtrukket for hele oplandet til LOOP, og tallene er udtrukket som procent af den totale nitratudvaskning i perioden. Det ses, at hovedparten af nitratudvaskningen til vandløbet sker gennem dræn, idet 37 % af den totale nitratudvaskning fra rodzonen ender i vandløbet via dræn. Til sammenligning er der kun 2 og 3 % af den totale nitratudvaskning der kommer gennem hhv. grundvandet og overfladisk afstrømning. Ca. 45 % af nitraten omsættes i den mættede zone og de resterende 13 % er ved afslutningen af beregningerne stadig i systemet.

Tabel 5.1 Omsætning af nitrat i oplandet

	% af total N udvaskning
Grundvand til vandløb	2
Dræn til vandløb	37
Overfladisk afstrømning til vandløb	3
Omsat i den mættede zone	45

Massebalancen for nitratmodellen svarer godt til de tidligere vandbalancer for strømningsmodellen som viste, at dræntilstrømningen til vandløbet (119 mm/år) udgør ca. 60 % af den totale nettonedbør (198 mm/år), mens grundvandstilstrømningen og den overfladiske tilstrømning udgør hhv. 7 og 11 %. For LOOP 1 oplandet er drænafstrømningen dermed afgørende for både transporten af vand og nitrat til vandløbene.

Nitratmodellen er valideret mod hhv. observationer i vandløb og ved de 4 benyttede drænstationer. Vandløbsobservationerne repræsenterer nitrattransporten på oplands- eller del-oplandsniveau, og på oplandsskala kan modellen repræsentere de observerede værdier, Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Beregnet og observeret middel nitrattransport for vandløbsstationer i LOOP 1 og fejl på beregnet.

Station	Observeret nitrattransport [kg/år]	Beregnet nitrattransport [kg/år]	Fejl [%]
620014 (1991–2001)	15368	12510	+ 18
620014 (1993-1997)	14673	14055	+ 4
620019 (1993-1997)	4586	2437	+ 46
620020 (1993-1997)	4216	2719	+ 35

På den lokale skala, som er repræsenteret ved drænstationerne, er overensstemmelsen mellem de observerede og beregnede nitratkoncentrationer relativt dårlig, mellem -59% og +50%. Dette skyldes bl.a. at strømningsmodellen også har en dårlig repræsentation ved disse stationer, samt at modellen generelt ikke beskriver de enkelte processer detaljeret nok til at resultaterne kan udtrækkes på den helt lokale skala.

#### 5.4 Konklusion

Resultaterne fra den opstillede nitratmodel er valideret mod observationer fra hhv. vandløbsstationer og drænstationer. De enkelte stationer repræsenterer forholdene på forskellige skalaniveauer:

- Hele oplandet er repræsenteret ved station 620014
- Deloplande, der udgør 15 – 20 % af det totale opland, er repræsenteret ved stationerne 620020 og 620019.
- Alle drænstationerne repræsenterer oplande, der kan karakteriseres som detailskala, eller markskala.

De benyttede stationer giver dermed en god mulighed for at vurdere modellens evne til at repræsentere både de hydrologiske forhold og omsætningen af nitrat på forskellige skalaniveauer.

Resultaterne fra modellen, både strømnings- og nitratmodellen, viser generelt at den opstillede model har en rimelig god overensstemmelse på oplandsskala (station 620014), på deloplandsskala (station 620019 og 620020) er overensstemmelsen mindre god, og på den helt fine skala (drænstationerne) er overensstemmelsen relativt dårlig.

Ved opstillingen af både strømnings- og nitratmodellen, er der dog foretaget en række objektive vurderinger. Dette gælder specielt for grundvandsforholdene, hvor de geologiske forhold og placeringen af reduktionsfronten er baseret på punktobservationer. Forholdene mellem de enkelte observationer er derefter vurderet ud fra erfaring og viden om området. Afstrømning af vand og transporten af nitrat fra oplandet er til stor del styret af drænastrømningen. Det betyder, at beskrivelsen og konceptualiseringen af drænsystemet samt kalibreringen af det overfladenære grundvand, er afgørende for en korrekt beskrivelse af denne proces. Generelt kan det konkluderes, at beskrivelsen af de enkelte processer i både strømningsmodellen og nitratmodellen er foretaget ud fra et givent datagrundlag, der beskriver forholdene indtil et givent skalaniveau. Når man bevæger sig under det skalaniveau, som datagrundlaget understøtter, vil resultaterne i høj grad være afhængig af den konceptualisering og de vurderinger, der er foretaget ved opstillingen af modellen. I forbindelse med denne opgave er det meget tydeligt, at modellens evne til at beskrive både det hydrologiske vandkredsløb og nitrattransporten i oplandet, bliver ringere jo længere ned i skala man bevæger sig.

## Referencer

- /1/ Rambøll (2003). Regional strømningssmodel for Lolland. Opstilling af geologisk model. Rapport udarbejdet for Storstrøms Amt, april 2003.
- /2/ COWI (2007). Opdatering af geologisk model for NV-Lolland. Rapport udarbejdet for Miljøcenter Nykøbing F., september 2007
- /3/ Strømningssmodel for Lolland, Modelopstilling, Modelkalibrering og validering, Miljøcenter Nykøbing Falster, juni 2008, udført af ALECTIA.
- /4/ Oplandsmodellering af vand og kvælstof i umættet zone for oplandet til Højvads Rende, Ruth Grant, Peter Mejlhede Andersen og Gitte Blicher-Mathiesen, DMU 2006
- /5/ Storstrøms Amt (2004). Regional strømningssmodel af Lolland. Hydrogeologisk model. Udarbejdet af DHI, juli 2003.