

MILJØCENTER NYKØBING FALSTER

MILJØMINISTERIET

Beregning af nitratomsætning i oplandet

Oplandsmodel for landovervågningsopland 1

Delrapport, 30. april 2009

MILJØCENTER NYKØBING FALSTER

MILJØMINISTERIET

Beregning af nitratomsætning i oplandet

Oplandsmodel for landovervågningsopland 1

Delrapport, 30. april 2009

Revision : version 1
Revisionsdato : 30-04-2009
Sagsnr. : W01997
Projektleder : ULA
Udarbejdet af : OLJE, THW, ULA
Godkendt af : THW

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	5
2	Bestemmelse af reduktionsfronten i LOOP 1 oplandet	6
2.1	Fremgangsmåde til bestemmelse af reduktionsfronten.....	6
2.1.1	<i>Metode til fastlæggelse af nitratreduktionsfronten</i>	7
2.1.2	<i>Diskussion af en stokastisk tilgang til nitratfronten</i>	8
2.1.3	<i>Følsomhedsanalyse af nitratfronten</i>	9
2.1.4	<i>Vurdering af sub-skala usikkerhed</i>	10
2.1.5	<i>Kvantificering af nitratreduktionen ud fra partikelbaneberegninger</i>	11
2.2	Bestemmelse af reduktionsfronten i LOOP 1 oplandet	11
2.2.1	<i>Bestemmelse af nitratreduktionsfronten ud fra PC-Jupiter boringer</i>	12
2.2.2	<i>Vådområder og søer i LOOP oplandet</i>	15
2.2.3	<i>Grundvandsreder i LOOP1 oplandet</i>	16
2.2.4	<i>Endelig placering af reduktionsfront</i>	18
3	Evaluering af nitratfrontens placering	22
3.1	Nitrattransport til vandløb	22
3.2	Følsomhed på nitratfrontens placering	24
3.3	Grundvandets alder (strømningstid).....	30
3.4	Vandbalancebetragtninger	33
3.5	Konklusioner	37
4	Nitratmodel	39
4.1	Nitratudvaskning fra rodzonen	39
4.2	Observationer	41
4.2.1	<i>Vandløbsobservationer</i>	42
4.2.2	<i>Drænoobservationer</i>	44
4.3	Opstilling af model	46
4.3.1	<i>Nitratfjernelse i grundvand</i>	46
4.3.2	<i>Nitratfjernelse i vandløb</i>	47
4.4	Resultater	47
4.4.1	<i>Massebalance</i>	48
4.4.2	<i>Nitrat i vandløb</i>	49
4.4.3	<i>Nitrat i dræn</i>	55

4.5	Diskussion af resultaterne fra nitratmodellen.....	60
5	Sammenfatning	63
6	Referencer.....	65

1 Indledning

Denne rapport er en del af projektet "oplandsmodel for overvågningsopland nr. 1". Hovedformålet med projektet er at opstille en dynamisk, procesbaseret og arealdistribueret oplandsmodel til beskrivelse af vand- og kvælstoftransport i den mættede zone for LOOP 1 – oplandet til vandløbet Højvads Rende.

Denne rapport omhandler transporten og omsætningen af nitrat i LOOP 1 oplandet. Beregningerne baseres på en opstillet og kalibreret grundvandsmodel, som er beskrevet i en tidligere delrapport. Den opstillede og kalibrerede grundvandsmodel er udgangspunktet for en korrekt beskrivelse af nitratomsætningen i oplandet, idet den beregner strømninger i den mættede zone, på overfladen og i vandløbene.

Formålet med beregningerne af transporten og omsætningen af nitrat i oplandet er at undersøge, hvorledes numeriske modeller kan benyttes til at kvantificere belastningen og omsætningen i et opland. Dette er meget aktuelt i forbindelse med implementeringen af Miljømålsloven, hvor der netop kommer fokus på en prioriteret indsats mod nitratbelastningen fra oplande. Denne opgave kan derfor være med til at skabe ny viden om de metoder, og ikke mindst det datagrundlag som skal benyttes for at skabe et troværdigt grundlag til de videre beslutninger. Der vil ligeledes være fokus på den skala hvormed metoden og datagrundlaget giver et troværdigt resultat.

Rapporten omhandler i) metode til placeringen af reduktionsfronten, ii) vurdering af nitratomsætningen i forhold til placeringen eller usikkerheden på reduktionsfronten samt iii) beregninger af nitrattransporten i oplandet.

2 Bestemmelse af reduktionsfronten i LOOP 1 oplandet

Nitratreduktionsfronten er defineret som den grænse, der adskiller nitratholdigt vand fra nitratfrit vand. Nitratfronten findes under reducerede forhold, dvs. anaerobe eller iltfrie forhold. I forhold til den totale reduktion af nitrat i et opland, vil den reduktion, der foregår omkring nitratreduktionsfronten 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.

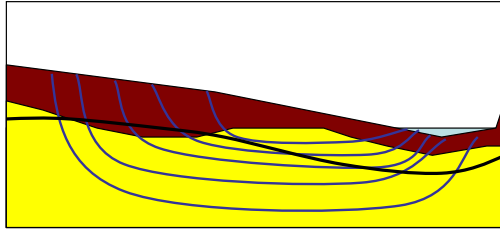
2.1 Fremgangsmåde til bestemmelse af reduktionsfronten

I forhold til LOOP1 projektet er følgende data tilgængelige:

- PC Jupiter boringer med lithologi og farveskift
- LOOP overvågningsboringerne. Boringerne indeholder vandanalyser i 1,5, 3 og 5 meters dybde (dog ingen information mht. lithologi eller farveskift).
- Geologisk model
- Boringer foretaget i foråret 2008 ved overvågningsboringerne med lithologisk beskrivelse og vurdering af farveskift
- Jordartskort.
- Nitratudvaskning fra rodzonen (DAISY beregninger).
- Grundvandsstrømning i den mættede zone (bestemmes ud fra den opstillede strømningsmodel)

Følgende arbejdsproces anvendes til at fastlægge reduktionsfronten:

- Nitratreduktionsfronten bestemmes ud fra farveinformation i PC-Jupiter boringerne, nye boringer samt vandtype information i LOOP overvågningsboringerne.
- Dette resulterer i en række støttepunkter, hvori nitratreduktionsfronten er rimelig sikkert bestemt.
- I områderne mellem støttepunkterne justeres nitratreduktionsfronten ud fra den modellerede grundvandsstrømning. Dvs. at områder med en lavere eller højere placering af fronten kan bestemmes. Den endelige placering af fronten interpoleres derefter med samme metode som de geologiske lagflader.



Figur 2.1 Eksempel på placering af reduktionsfront

Figur 2.1 viser et eksempel på partikelbaner (tynd, blå) fra oplandet til vandløb / dræn. Den fede sorte linie viser en mulig placering af nitratreduktionsfronten. Figuren illustrerer, at placeringen af nitratreduktionsfronten har betydning for reduktionen af nitrat i den mættede zone, dvs. at usikkerheden på placeringen af fronten (specielt mellem støttepunkterne) vil påvirke mængden af nitrat der strømmer til vandløbene.

Støttepunkterne mellem borerne er fastlagt ud fra geologiske og vandkemiske punktmålinger, og antages at være rimelig korrekte. Områderne mellem de enkelte støttepunkter er estimeret ud fra geologiske og hydrologiske data, og reduktionsfronten vurderes i disse områder at være behæftet med en væsentligt større usikkerhed. Selv om støttepunkterne er baseret på observeret punktinformation, vil effekter fra geologisk heterogenitet samt sub-skala effekter bevirke, at selv disse observationer har en vis usikkerhed.

I det følgende er kort beskrevet den metode der anvendes i nærværende løsning. Metoden fastlægger i "middel" placering af nitratreduktionsfronten, således at den opstillede nitratomsætningsmodel beregner de enkelte processer ud fra den valgte modelopløsning.

2.1.1 Metode til fastlæggelse af nitratreduktionsfronten

Studier af nitratfronten (farveskift) i sedimenter fra Fyn viser, at der selv på meget lille skala er stor variation i dybden til fronten, se /1/ og /2/. Dette skyldes bl.a. at små variationer i de hydrauliske forhold i morænen har meget stor betydning, således vil små områder med lidt højere hydraulisk ledningsevne bevirke, at fronten ligger meget dybere. Dette kan observeres i en skala på meter størrelsen, og desuden vil placeringen af reduktionsfronten være afhængig af bl.a. lagdeling, sætning eller områder, hvor lidt grovere sedimenter eller sandlinser er til stede.

I LOOP1 projektet opstilles en integreret strømnings- og nitratmodel med en horisontal opløsning på 50 x 50 meter. På denne skala kan en samlet dybde til nitrat-

fronten ikke beskrives entydigt. De benyttede parametre i den numeriske model repræsenterer alle en middelværdi indenfor den givne horisontale opløsning. Dette medfører at placeringen af nitratfronten, i forhold til den opstillede model, udelukkende udtrykker et middelforhold i nitratreduktionen. Dvs. at modellen ikke kan repræsentere sub-skala effekter, men udelukkende middelforhold indenfor den givne horisontale opløsning. På trods af dette skal det dog vurderes, hvorledes den geologiske heterogenitet og effekter på sub-skala påvirker den beskrivelse, som modellen kan håndtere. Da det er interessant at vurdere hvorledes denne usikkerhed påvirker udvaskningen af nitrat til vandløbene, er der efterfølgende foretaget en følsomhedsanalyse med udgangspunkt i placeringen af reduktionsfronten. Dette er beskrevet i afsnit 3.2.

Den vurderede placering af nitratreduktionsfronten repræsenterer et middelniveau med den benyttede opløsning. Da der kan være signifikant variation i dybden til reduktionsfronten indenfor et område mindre end en celle-størrelse, skal det vurderes hvorledes dette medtages i den endelige placering af fronten.

2.1.2 Diskussion af en stokastisk tilgang til nitratfronten

Reduktionsfronten kan alternativt fastlægges stokastisk, som det er gjort ved modelleringen af Loop2 /2/. Den stokastiske metode anvender en vurdering af variationen på sub-skala niveau, som benyttes til at tildele reduktionsfronten i hver modelcelle en "tilfældig" funktion, som herved betyder at fronten ligger højere eller lavere end den udglattede kurve fundet ved den indledende analyse. Herved kan andelen af nitratholdigt vand som går under fronten, ændres markant. Der er i litteraturen eksempler på at reduktionsfronten kan have en fluktuation på 4-5 meter inden for en meget kort afstand i samme størrelsesorden. Grænsen er primært afhængig af makroporer og sprækker i morænen. Denne skala er meget mindre end den benyttede opløsning i LOOP1 modellen (50 x 50 meter).

Det vurderes, at benyttelsen af en stokastisk tilgang til placeringen af reduktionsfronten kan være nyttig ved f.eks. en følsomhedsanalyse af reduktionsfrontens placering. Ved denne analyse vil man kunne vurdere hvilken betydning usikkerheden på placeringen af reduktionsfronten har på udvaskningen af nitrat. Ved selve modelopstillingen vil et stokastisk koncept bryde med det modelmæssige koncept om homogenitet indenfor minimum en modelcelle. Alle de benyttede parametre i den numeriske model repræsenterer som sådan en middelværdi indenfor den benyttede opløsning, og en stokastisk tilgang til placeringen af reduktionsfronten vurderes derfor ikke at være i overensstemmelse med de øvrige antagelser ved opstillingen af modelkomplekset.

2.1.3 Følsomhedsanalyse af nitratfronten

I den opstillede model defineres reduktionsfronten som en kontinuert flade. Denne flade repræsenterer en effektiv nitratfront, eller den placering der er opnået ud fra den tilgængelige information, samt ved en vurdering af den effektive omsætning i grundvandszonen. I naturen vil der være store variationer på sub-skala niveau, som ikke er beskrevet med den benyttede reduktionsfront. For at vurdere denne usikkerhed eller variation foretages en følsomhedsanalyse mht. placeringen af reduktionsfronten. Dybden til reduktionsfronten varieres og vha. en simpel tilgang til nitrattransport, vurderes omsætningen af nitrat i forhold til dybden til reduktionsfronten. Herved undgås det at benytte en stokastisk tilgang til nitratfrontens placering, og samtidig opnås en vurdering af den effektive dybde til nitratfronten på oplandsskala.

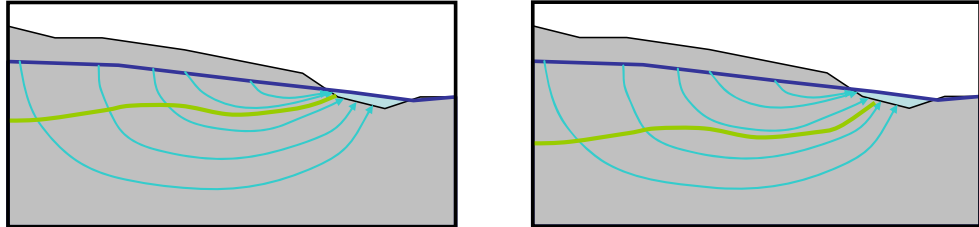
Ud fra en vurdering af variationen på sub-skala niveau i Loop1 justeres den estimerede reduktionsfront op eller ned, og en vurdering af følsomheden i forhold til den udvaskede mængde nitrat til vandløbet kan udarbejdes. Det kan overvejes om ændringen i reduktionsfronten skal afhænge af andre faktorer f.eks. tykkelsen af den umættede zone eller lermægtigheden.

Proceduren for følsomhedsanalysen er:

- Nitratreduktionsfronten justeres i forhold til den vurderede sub-skala usikkerhed. Der foretages en række justeringer inden for 2.5 gange den vurderede usikkerhed. Som sub-skala usikkerhed benyttes, at fronten justeres opad med hele forskellen mellem den oprindelige front og terræn, og justeres nedad med det dobbelte interval.
- For hver placering af reduktionsfronten foretages der en partikelbanesimulering.
- På baggrund af partikelbaneberegningerne kan den samlede nitratbelastning til vandløbene beregnes, og dermed også reduktionen i området.

Figur 2.2 viser eksempler på en simpel måde, hvorved nitratfrontens placering kan have betydning for udvaskningen af nitrat. Figurerne viser grundvandsspejlet (blå), strømli­nier (lyseblå) og nitratfronten (grøn). På figuren til venstre ses tre strømli­njer krydse nitratfronten, mens to strømli­njer når til vandløbet uden at krydse nitratfronten. På figuren til højre ligger nitratfronten dybere. I dette system er strømnin­gen uændret, men tre strømli­njer ligger over nitratfronten. Da nitratreduktionen sker under nitratfronten, og det antages at nitratomsætningen er hurtig i forhold til

opholdstiden i grundvandet, vil transporten af nitrat til vandløbet på figuren til højre være højere.



Figur 2.2 Eksempel på placering af reduktionsfront

2.1.4 Vurdering af sub-skala usikkerhed

Ideelt set bør der foretages en vurdering af sub-skala usikkerheden, som efterfølgende kan benyttes i følsomhedsanalysen. Med sub-skala usikkerhed menes, at der er helt lokale variationer i geologien og dermed også i reduktionsfrontens placering, som de benyttede informationer ikke kan beskrive. Det medfører, at placeringen af reduktionsfronten på den helt lokale skala vil have en større variation, end den vi kan beskrive på den skala, som modellen opererer med (50 x 50 meter). I forbindelse med følsomhedsanalysen justeres den etablerede reduktionsfront i forhold til usikkerheden. Derefter foretages partikelbaneberegninger, således at følsomheden i forhold til den samlede nitratbelastning i vandløbssystemet kan vurderes. Det har på baggrund af de tilgængelige data ikke været muligt at foretage en vurdering af sub-skala usikkerheden ud fra en tilstrækkelig troværdig metode. Det er derfor valgt at justere reduktionsfronten ud fra dybden til terræn. Dette foretages ved at fronten justeres opad i forhold til dybden fra terræn til den oprindelige reduktionsfront. Reduktionsfronten justeres nedad efter det samme princip, men her er det valgt at justere den helt ned til 2,5 gange den oprindelige dybde mellem terræn og reduktionsfront. Dette er en simpel fremgangsmåde, men det forventes at resultaterne fra modelberegningerne (partikelbane beregninger) sammenholdt med de observerede nitrat koncentrationer i vandløbene, kan bidrage til at fastslå en sandsynlig placering af reduktionsfronten.

Analysen kan benyttes til at vurdere effekten (sensitiviteten) af dybden til nitratreduktionsfronten. Når man har fundet den optimale dybde, kan denne kontrolleres med feltmålinger og sammenholdes med en vurdering af variationen i placeringen fra andre studier, se f.eks. /1/ og /2/.

Den placering af reduktionsfronten der medfører den bedste overensstemmelse med de observerede værdier benyttes herefter til den opstillede nitratmodel.

2.1.5 *Kvantificering af nitratreduktionen ud fra partikelbaneberegninger*

Kvantificeringen af følsomheden på placeringen af reduktionsfronten foretages ud fra partikelbaneberegninger.

Ved at placere partikler i de grundvandsdannende områder, i det øverste beregningslag, kan man beregne strømmingen til vandløbene/drænområderne. Partikel-tætheden er lineært knyttet til nitratfluxen fra DAISY beregningerne. Herved kan en partikel repræsentere en specifik nitratmasse. Når beregningen med partikler er udarbejdet, kan man tælle antallet af partikler, som når vandløbet, og samtidig tælle antallet af partikler, som når under nitratgrænsen (partikelbanemoduler indeholder en funktion, hvor partikler, der strømmer igennem en specificeret flade, registreres). Da man kender vandføringen i vandløbet, og størstedelen af nitratreduktionen foregår i den mættede zone, er det muligt at sammenligne med målt nitratbelastning af vandløbet. Ved at foretage en af de to ovenfor beskrevne analyser kan effekten af placeringen af reduktionsfronten vurderes, og man kan dermed lave et estimat for nitratfrontens middelplacering i relation til nitratreduktion.

Partiklerne placeres under MIKE SHE modellens drænniveau. Dvs. at partikler repræsenterer grundvandsdannelse, der ikke indbefatter dræning med mindre dræ-nene er placeret i celler med en opadrettet grundvandsstrømningsretning.

2.2 Bestemmelse af reduktionsfronten i LOOP 1 oplandet

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

Den ovenstående information benyttes til etablering af et antal støttepunkter, således at der kan foretages en endelig interpolering af en flade, der dækker hele oplandet.

2.2.1 Bestemmelse af nitratreduktionsfronten ud fra PC-Jupiter boringer

Placeringen af reduktionsfronten ud fra de tilgængelige PC-Jupiter boringer er foretaget ved en simpel sammenligning af farveskift i jordprøver, da jordens farve kan give oplysninger om iltindholdet i jordlagene. Således er f.eks. gule, gulbrune, brune og gråbrune farver tegn på iltede (aerobe) eller nitratholdige jordlag, mens grå, brungrå eller sort tyder på reducerede (anerobe) og nitratfrie forhold i jord (Ernstsen et al. 2001).

Inden for oplandet til LOOP er nitratreduktionsfronten bestemt for de boringer, som indeholder oplysninger om redoxforhold udtrykt ved sedimentfarven. Dette er gjort ved at undersøge informationerne i PC-Jupiter databasen for Lolland.

I PC-Jupiter tabellen er der primært oplysninger om sedimentfarven i "COLOR" søjlen. I de tilfælde hvor der ikke har været informationer i denne søjle er oplysningerne fra "DRILLCOLOR" og "TOTALDESCR" søjlerne benyttet, i den nævnte prioriterede rækkefølge. Søjlen kaldet "TOTALDESCR" er et kommentar felt og kan indeholde mange oplysninger om den enkelte boring. I denne undersøgelse er det kun farvebeskrivelserne fra dette felt, som er benyttet. Følgende sedimentfarver er benyttet i undersøgelsen:

Aerob: Gul (gu), grågul (gågu), mørkgrågul (mgågu), lysgrågul (lgågu), olivenbrun (ol-bu), lys olivenbrun (lolbu), mørk olivenbrun (molbu), gulbrun (gubu), lysgulbrun (lgu-bu), mørk gulbrun (mgubu), brun (bu), mørkbrun (mbu), lys brun (lbu), rød (rø), mørk rød (mrø), lys rød (lrø), rødbrun (røbu), mørk rødbrun (mrø-bu), lys rødbrun (lrøbu), gråbrun (gåbu), mørk gråbrun (mgåbu), lys gråbrun (lgå-bu), sortbrun (sobu), lys sort-brun (lsobu) og mørksortbrun (msobu).

Anerob (reduceret): Grå (gå), lys grå (lgå), mørk grå (mgå), brungrå (bugå), ly brungrå (lbugå), mørk brungrå (mbugå), sort (so), brunsort (buso), oliven (ol), lys oliven (lol), mørk oliven (mol), grøn (gø), lys grøn (lgø), mørkgrøn (mgø), grågrøn (gågø), lys grå-grøn (lgågø), mørk grågrøn (mgågø), blå (bå), olivengrå (olgå), mørk olivengrå (molgå), lys olivengrå (lolgå), mørk blå (mbå) og lys blå (lbå).

Redoxgrænsen er udtrykt ved at udvikle et program, som gennemgår alle boringerne i en valgt PC-Jupiter database, og derfra udtrækker information om redox forholdene fra den enkelte boring. Følgende kriterier er benyttet:

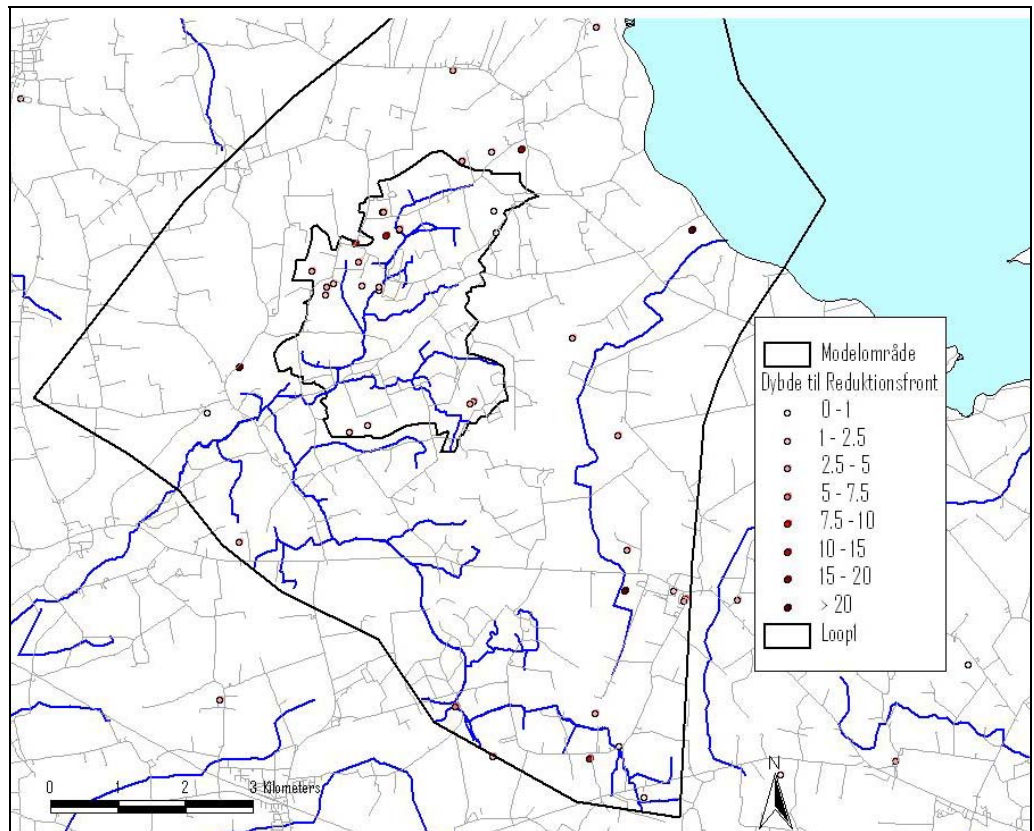
1. Et reduceret lag er defineret som et lag med en sedimentfarve fra den anero-be gruppe (se ovennævnte liste).
2. Redoxgrænsen skal være mellem 0,5 og 60 meter under terræn. Alle reducerede lag udenfor dette interval er ikke medtaget.
3. Farvekoderne udtrækkes fra felterne "COLOR", "DRILLCOLOR" og "TOTALDESCR", i nævnte rækkefølge. Dvs. at hvis "COLOR" feltet ikke indeholder nogen information undersøges "DRILLCOLOR" feltet, og til sidst "TOTALDESCR" feltet. Hvis der er flere reducerede lag i en boring benyttes det øverste lag i den endelige bestemmelse af nitratreduktionsgrænsen.

Tabel 2.1 viser antallet af PC Jupiter boringer med farveskiftinformation, dvs. boringer hvor dybden til reduktionsfronten har kunnet fastlægges. I LOOP1 oplandet er der 20 boringer, hvoraf de 16 boringer har en dybde til reduktionsfronten mellem 1 og 5 meter under terræn.

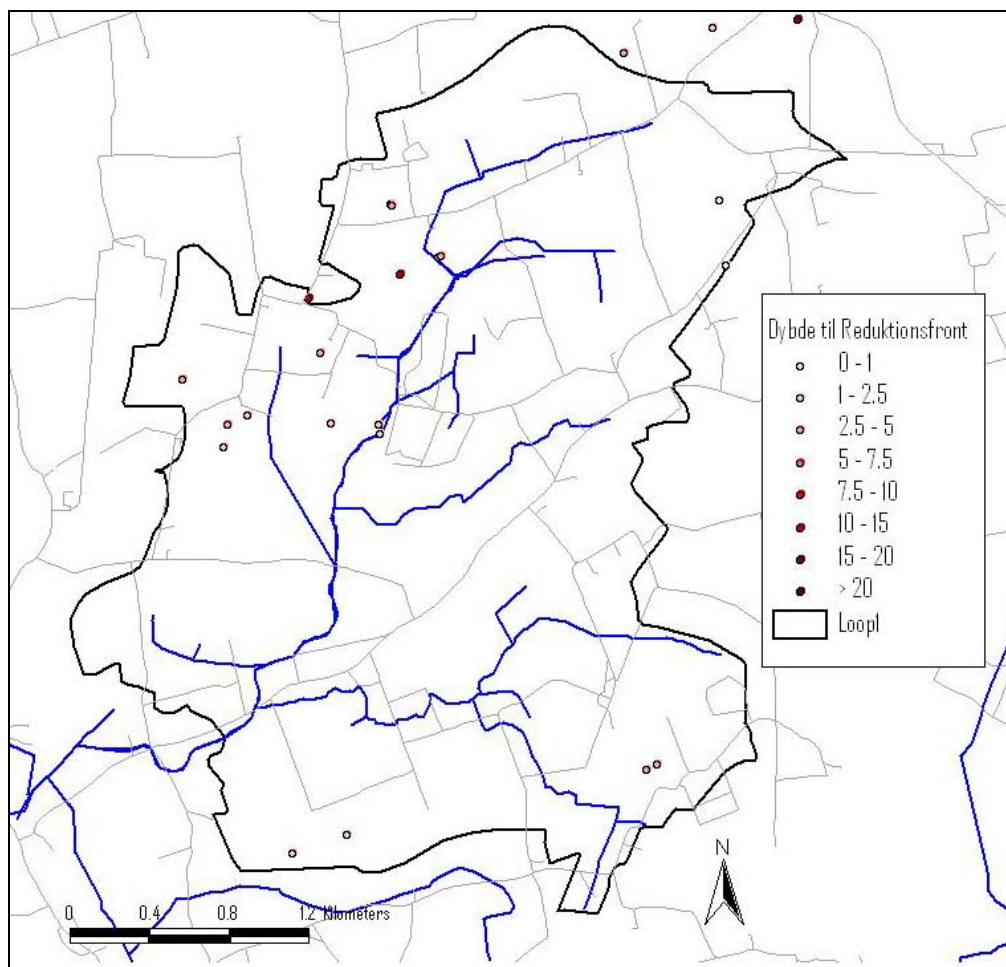
Tabel 2.1 Boringer med farve information i hhv. modelområdet og LOOP1 oplandet

	Boringer med farve info	0-1 m.	1-5 m.	5-10 m.	10-15 m.	15-20 m.	> 20 m.
Model området	73	11	47	5	5	2	3
LOOP 1	20	3	16	0	1	0	0

Figur 2.3 viser placeringen af PC-Jupiter boringer med farveskifteinformation. Figur 2.4 viser boringerne i selve LOOP 1 oplandet.



Figur 2.3 PC-Jupiter boringer med farveinformation i modelområdet

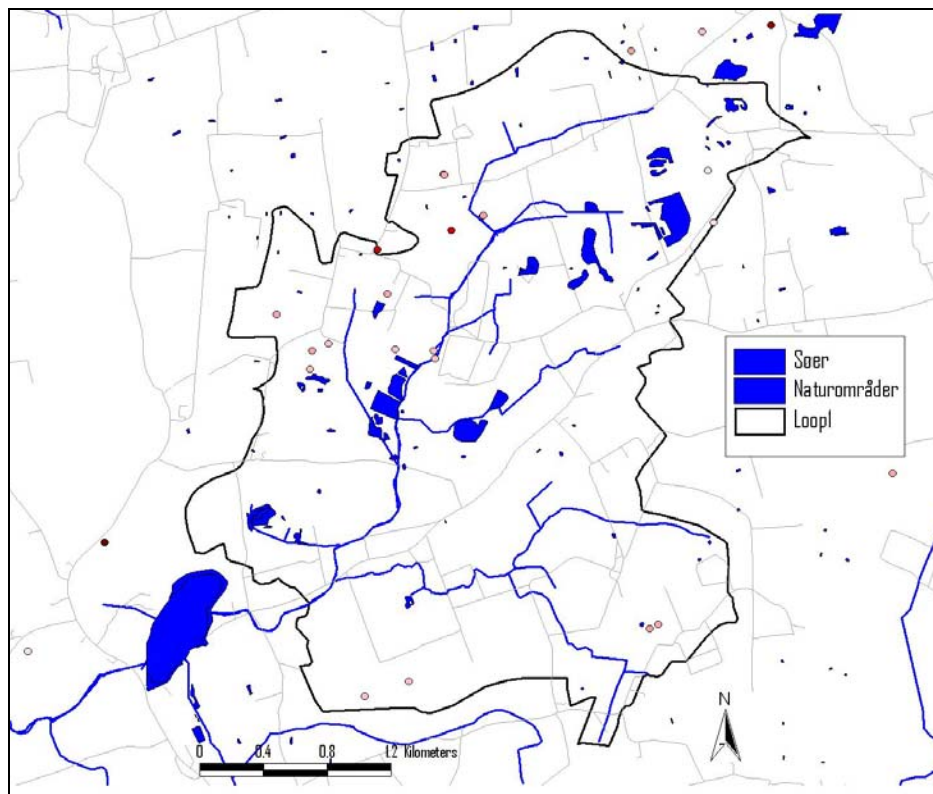


Figur 2.4 PC-Jupiter borer med farveinformation i LOOP1 oplandet

2.2.2 Vådområder og søer i LOOP oplandet

I områder med søer og vådområder må det antages, at der eksisterer iltfrie forhold i hele den mættede zone, hvilket betyder at reduktionsfronten i disse områder ligger meget tæt ved jordoverfladen. Der vil desuden typisk være en stor organisk pulje, og evt. nitrat, der strømmer til disse områder, vil derfor blive omsat.

Figur 2.5 viser de områder i LOOP1 hvor der er søer eller vådområder. Ved placeringen af reduktionsfronten vil disse områder blive benyttet til at justere reduktionsfronten, således at den her ligger tæt ved overfladen.



Figur 2.5 Områder i LOOP1 oplandet med søer eller vådområder

2.2.3 Grundvandsreder i LOOP1 oplandet

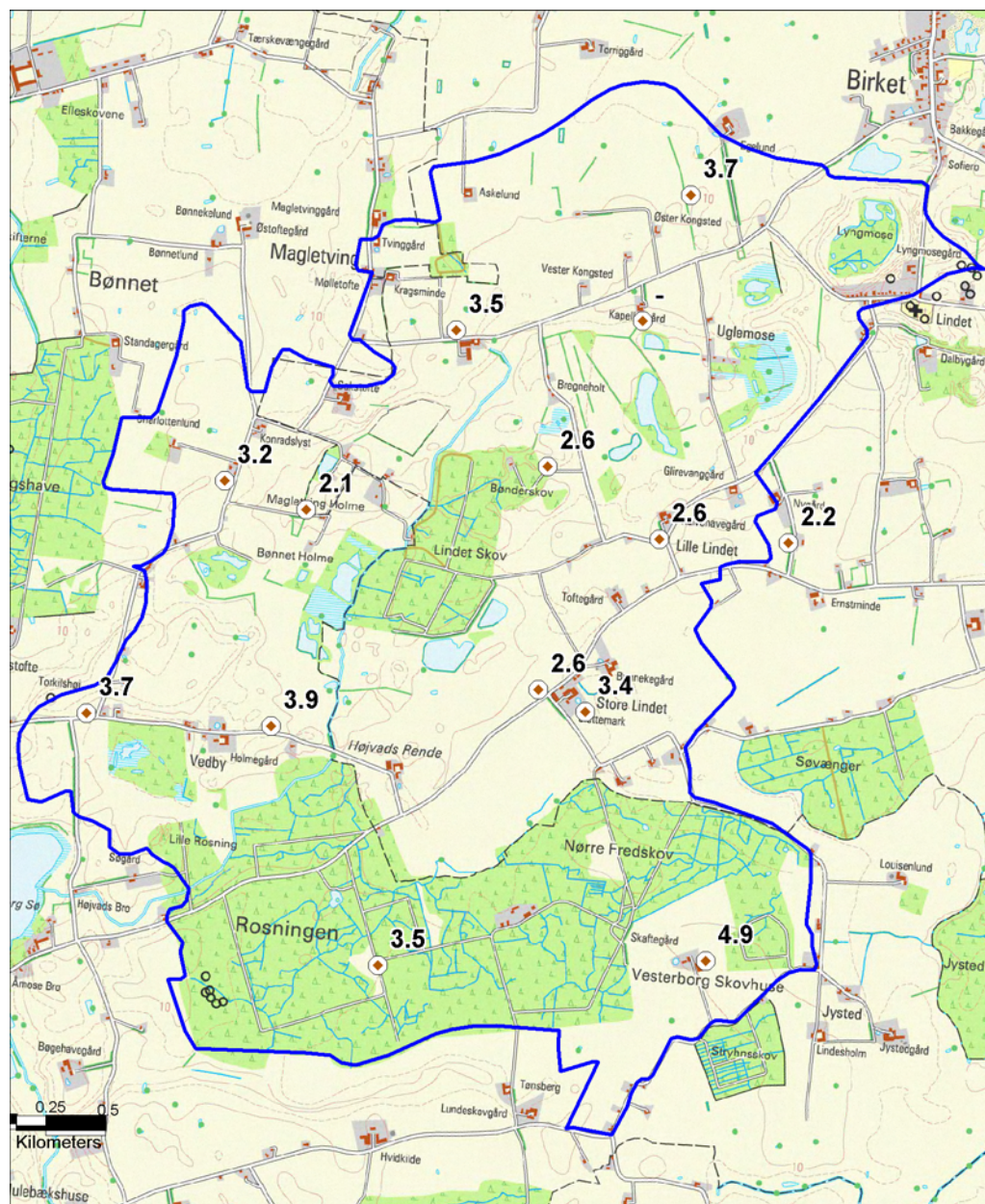
Der er i LOOP1 oplandet 15 grundvandsreder, hvor boringen tidligere er foretaget af GEUS. For alle disse boringer mangler en lithologisk beskrivelse af jordlagene, og dermed også muligheden for bestemmelse af de reducerede lagfølger i boringerne. Der er derfor foretaget nye boringer tæt ved de oprindelige boringsreder, og der er i den forbindelse udarbejdet en geologisk beskrivelse af de enkelte boringer. Dette muliggør, at der ud fra farvebeskrivelsen kan bestemmes en dybde til de reducerede lag i hver af de 15 boringer.

Tabel 2.2 Dybden af nitratreduktionsfronten i de nye boringer

Boring	Nitratreduktionsgrænse	Bemærkninger
G1-S	-	Gult sand i profilet til mindst 7,5 m
G2-S	2,6	
G3-S	2,1	
G4-S	2,6	

Boring	Nitratreduktionsgrænse	Bemærkninger
G5-S	3,5	
G6-S	3,9	
G8-S	2,6	
G9-S	4,9	
T2G1-S	2,2	
T3G1-S	3,2	
T4G1-S	3,4	
T5G2-S	3,5	
T6G1-S	3,7	
T7G2-S	3,7	

Langt overvejende viser boringerne, at nitratreduktionsfronten ligger mellem 2 og 4 meters dybde. I boring G1-S er dybden til grænsen usikker, fordi der er fundet ensartet, gult sand ned til 7,5 meters dybde.



Figur 2.6 Dybde (meter under terræn) til reduktionsfronten

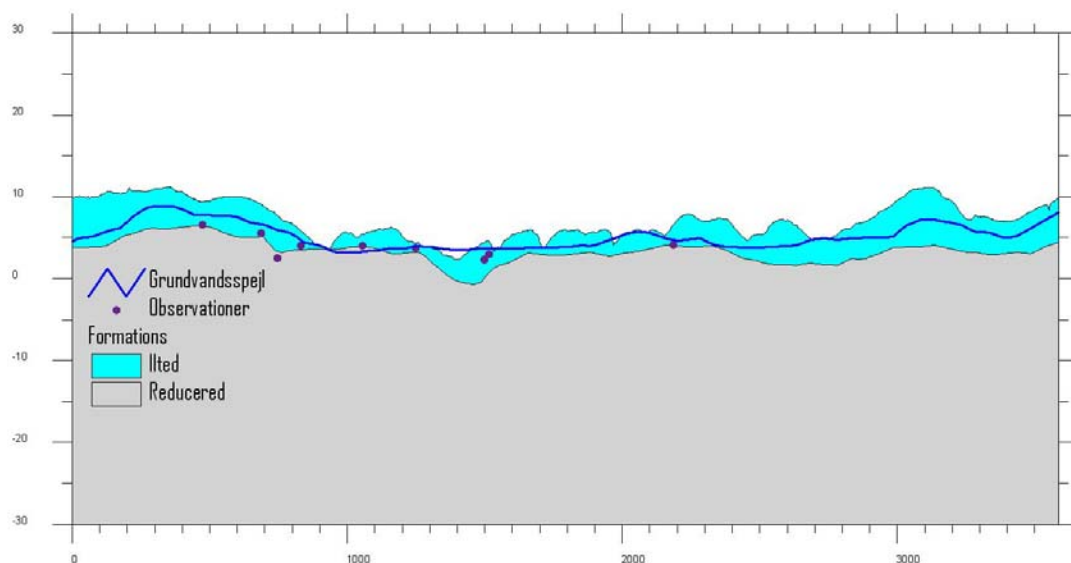
2.2.4 Endelig placering af reduktionsfront

Ud fra den tilgængelige information i PC Jupiter borerer samt de nye borerer, er dybden til reduktionsfronten kendt i 35 punkter i oplandet. Det antages, at dybden til reduktionsfronten er rimelig sikker i disse punkter, og der ses dermed bort fra evt. sub-skala effekter, som i praksis betyder at der er nogen eller måske betydelig usikkerhed på resultaterne fra borerne.

I forbindelse med beregningen af nitrattransporten i oplandet, er der i modellen brug for at beskrive reduktionsfronten som en flade. Dvs. at dybden til reduktionsfronten skal beskrives for hele oplandet, og ikke udelukkende i de punkter, hvor der er boringsoplysninger. Det er derfor valgt at foretage en vurdering af reduktionsfrontens placering ved at inddrage følgende information:

- Lavbundsområder med stor organisk pulje. Det antages at reduktionsfronten i disse områder ligger tæt på terræn.
- Grundvandsdannelsen. Stor grundvandsdannelse indikerer at reduktionsfronten ligger dybere.
- Grundvandsspejlet. Grundvandsspejlet benyttes som en indikator for iltede områder.

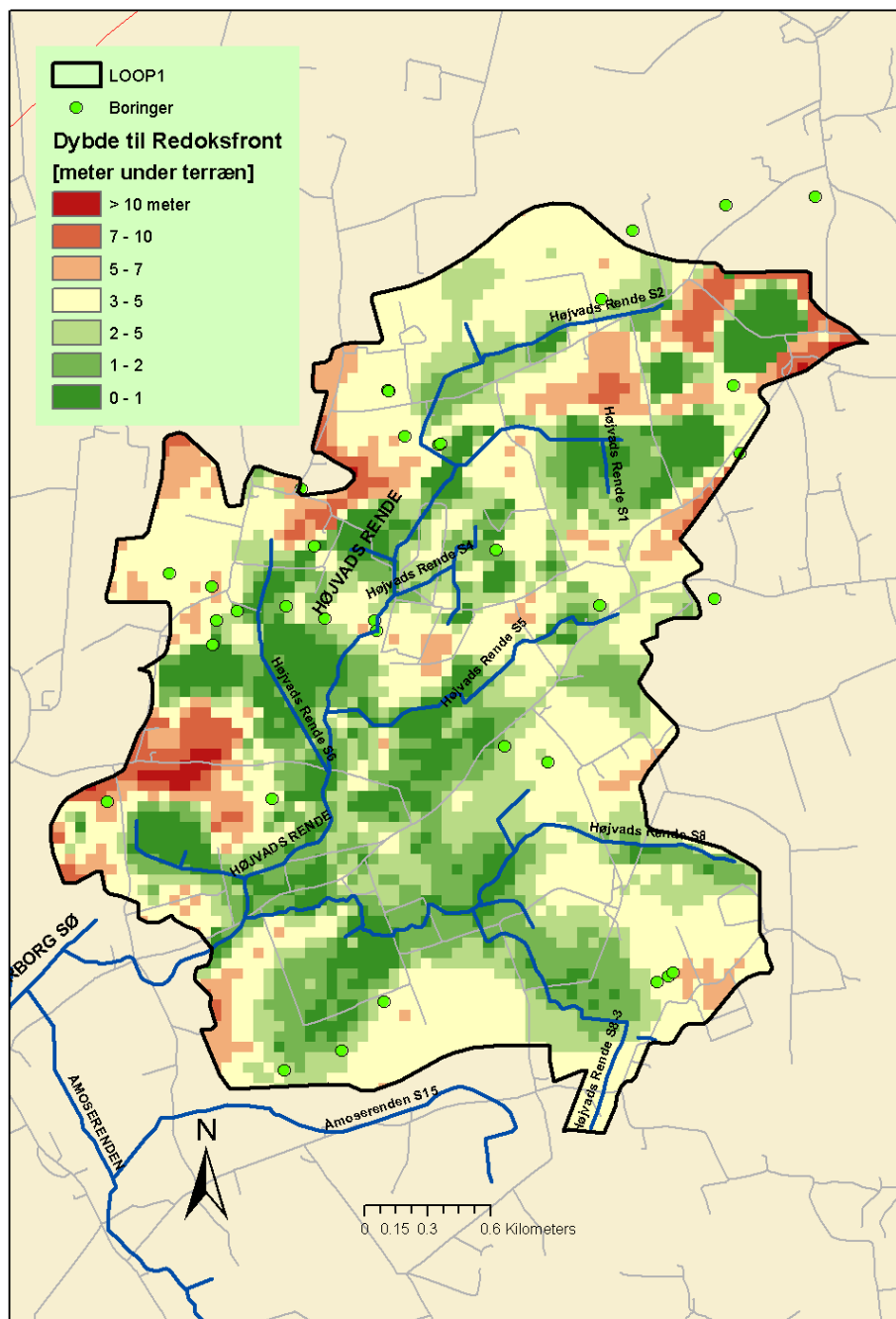
Ovennævnte information, er sammen med punktinformationerne fra de tilgængelige boringer, importeret i programmet MIKE GeoModel. I MIKE GeoModel er der indlagt en lang række støttepunkter således at placeringen af reduktionsfronten har kunnet vurderes for hele oplandet.



Figur 2.7 Eksempel på tværsnit med reduktionsfront. Den blå linie viser det gennemsnitlige grundvandsspejl og prikkerne borerings med farveskiftformationer.

Figur 2.7 viser et eksempel på et tværsnit fra MIKE GeoModel, hvor placeringen af reduktionsfronten er digitaliseret. Punkter på tværsnittet repræsenterer information fra boringer, dvs. hvor reduktionsfronten er bestemt ud fra farveskiftinformation. Denne information er generelt prioriteret, men i nogle tilfælde er det valgt at juste-

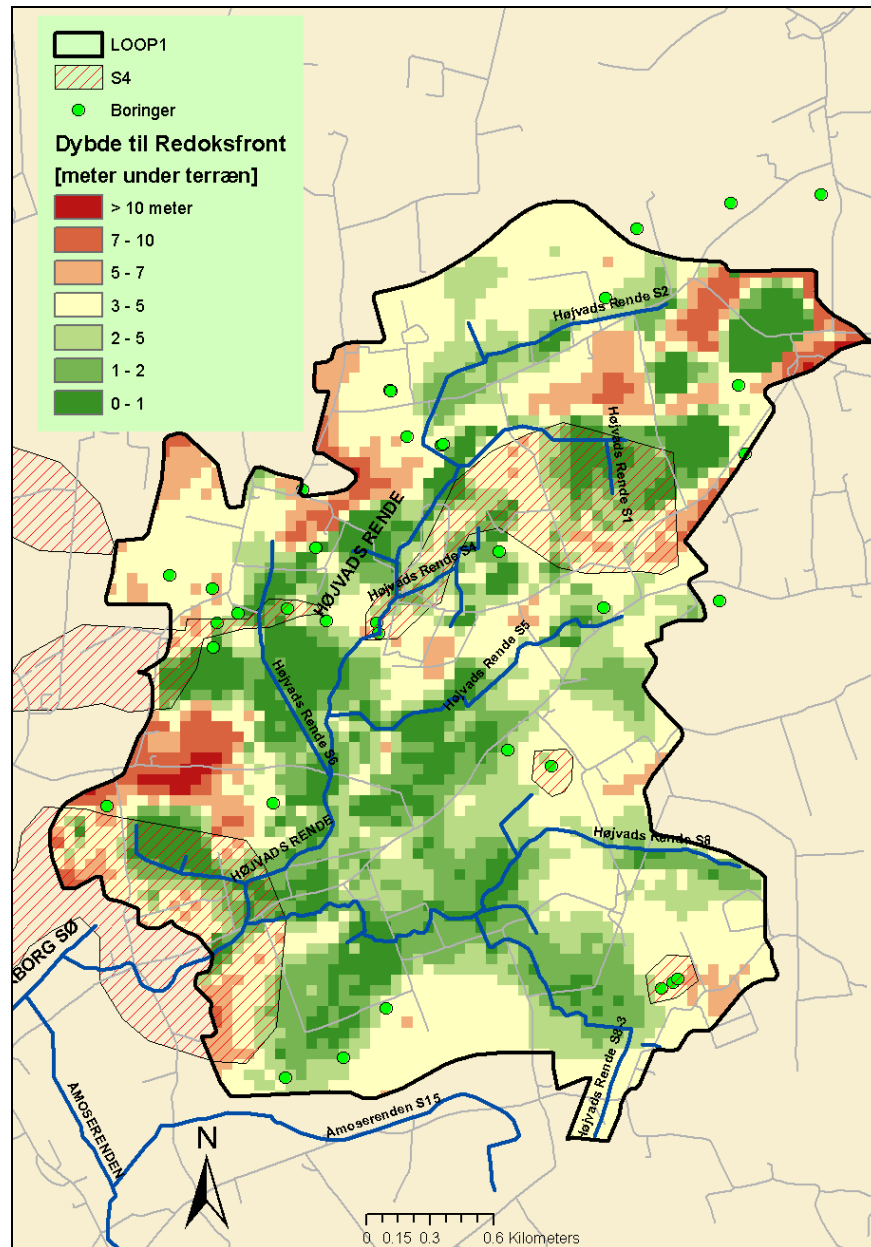
re fronten lidt ned, hvis det er et område med stor grundvandsdannelse eller hvis grundvandsspejlet ligger væsentligt dybere.



Figur 2.8 Endelig dybde til reduktionsfronten bl.a. bestemt ud fra farveskifteinformation i boringerne.

Figur 2.8 viser den endelige dybde til reduktionsfronten i hele oplandet. Det ses, at dybden er lille i alle lavtliggende områder og områder langs vandløbene, hvor der sker vandudstrømning. I de højere liggende områder med overfladenære sandfore-

komster, er der en større dybde til reduktionsfronten. I de områder hvor S4 er re-præsenteret, er reduktionsfronten som minimum ført til bunden af S4.



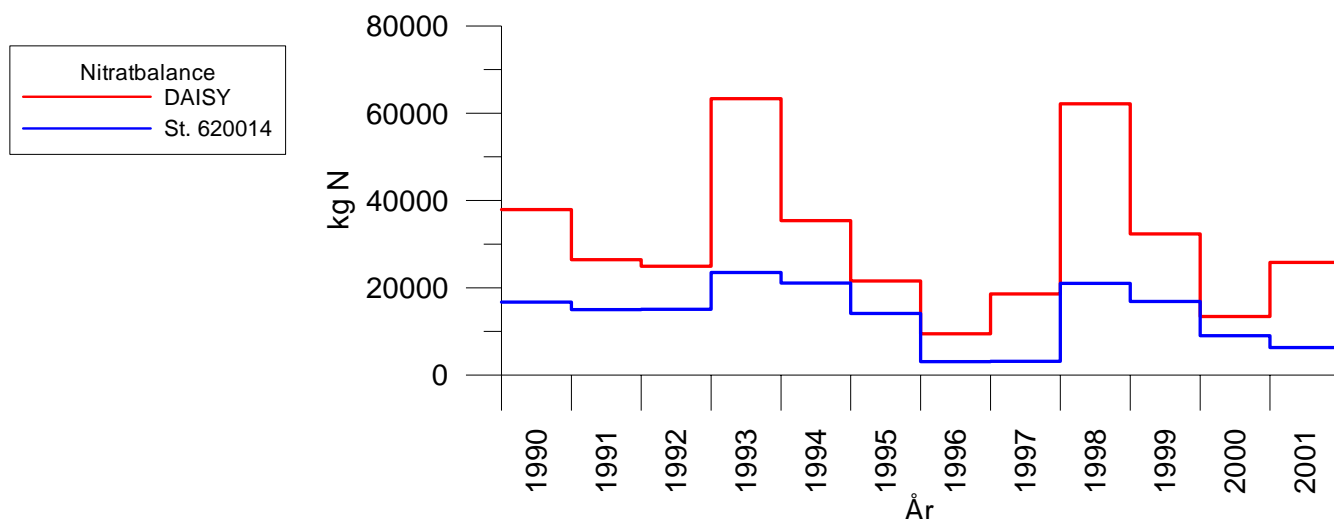
Figur 2.9 Endelig dybde til reduktionsfront samt udbredelse af S4

S4 er defineret som et sandlag, der har kontakt med overfladen, og det antages, at der eksisterer aerobe forhold i hele S4. For S3, som er defineret som et overfladenært sandlag uden kontakt med terrænen, er samme antagelse ikke holdbar, idet der vil kunne forekomme reducerede forhold i disse magasiner.

3 Evaluering af nitratfrontens placering

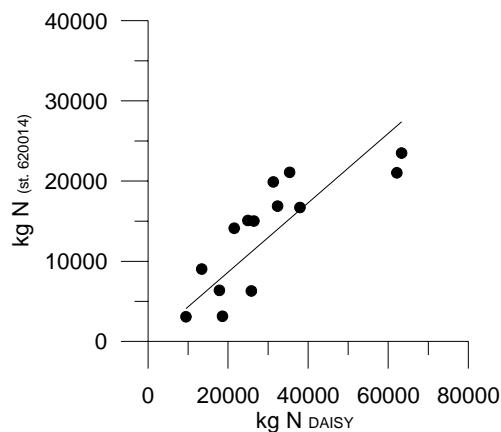
3.1 Nitrattransport til vandløb

Der eksisterer en DMU målestation ved udløbet fra LOOP 1 oplandet (station 620014). Observationerne fra denne station repræsenterer dermed den totale transport af nitrat fra oplandet. Der er foretaget en sammenligning af den observerede nitrat udstrømning og den beregnede nitratudvaskning fra rodzonen (DAISY beregnede værdier). Figur 3.1 viser hhv. nitratudvaskningen fra rodzonen (rød linie), og den observerede nitrat transport fra oplandet (blå linie). Det ses, at den nitrat, som forlader oplandet, ca. udgør 40 – 60 % af den beregnede nitratudvaskning fra rodzonen.



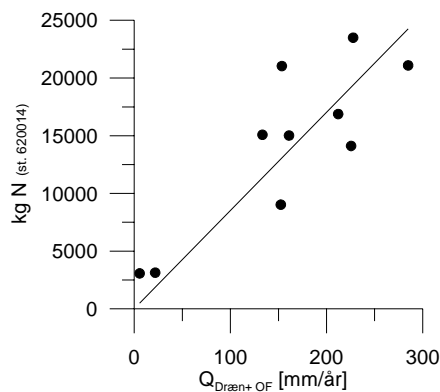
Figur 3.1: Nitratbalance [kg/år] for modelperioden.

Figur 3.2 viser den årlige målte transport af nitrat ud af oplandet ved station 620014 som funktion af den årlige nitratudvaskning fra rodzonen (DAISY). Der ses en pæn proportional sammenhæng: Høj beregnet udvaskning giver samme år en høj samlet masse som forlader LOOP 1 oplandet. ($r^2 = 0.92$, hældningen er 0.43 – der er to afstikkere, 1993 og 1998, med høj beregnet udvaskning i forhold til transporten ud af oplande. Hældningen på grafen viser at ca. halvdelen af nitratudvaskningen omsættes, samt at der ikke er en markant forsinkelse (i årsskala) mellem nitratudvaskning og transport af nitrat ud af oplandet.



Figur 3.2: Årlig nitrat transport for station 620014 vist som funktion af DAISY nitrat input til oplandet.

Figur 3.3 viser den årlige målte transport af nitrat som funktion af modelberegnet drænaflow. Der er en god sammenhæng ($r^2 = 0.94$) og regressionen viser at der er en direkte sammenhæng mellem drænaflowet og transporten af nitrat ud af oplandet.

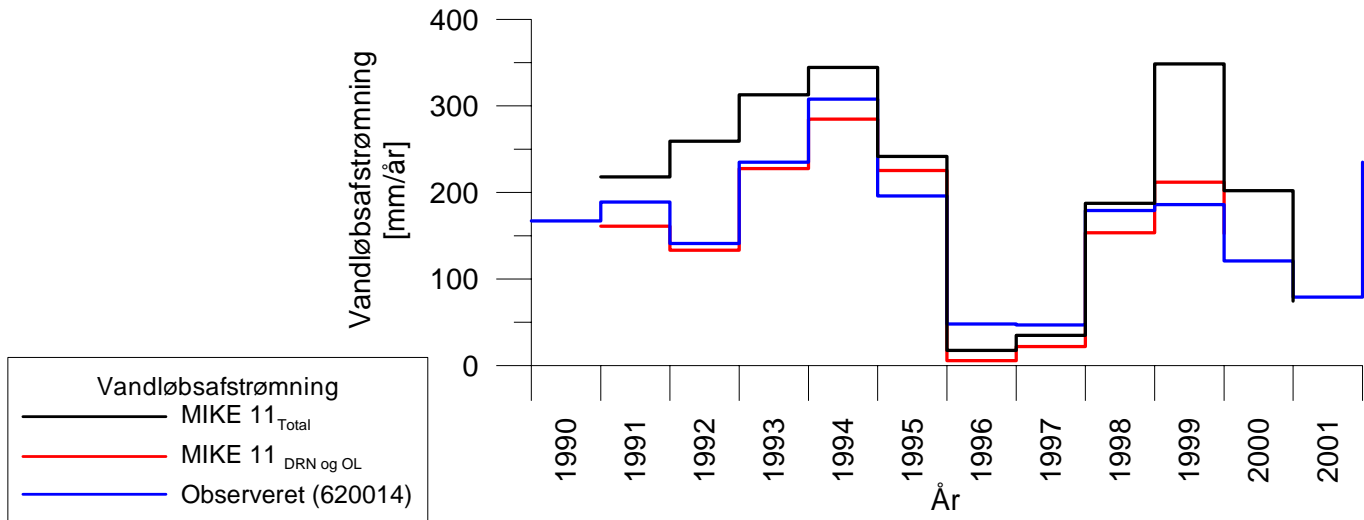


Figur 3.3: Årlig nitrat transport for station 620014 vist som funktion af beregnet drænaflow.

Den manglende forsinkelse tyder på at drænaflow samt hurtig udstrømning i den øverste del af den mættede zone er betydende for nitrattransporten i oplandet.

Ser man på modelberegnet vandløbsafstrømning og det modelberegne drænbidrag, ses en pæn sammenhæng mellem afstrømningen og drænbidraget (Figur 3.4). Den hurtige afstrømning i modellen (dræn + overfladisk afstrømning) udgør

ca. 90 % af den samlede afstrømning med undtagelse af de tørre år i midt 1990'erne, hvor grundvandsbidraget udgør op til 36 % af afstrømningen.

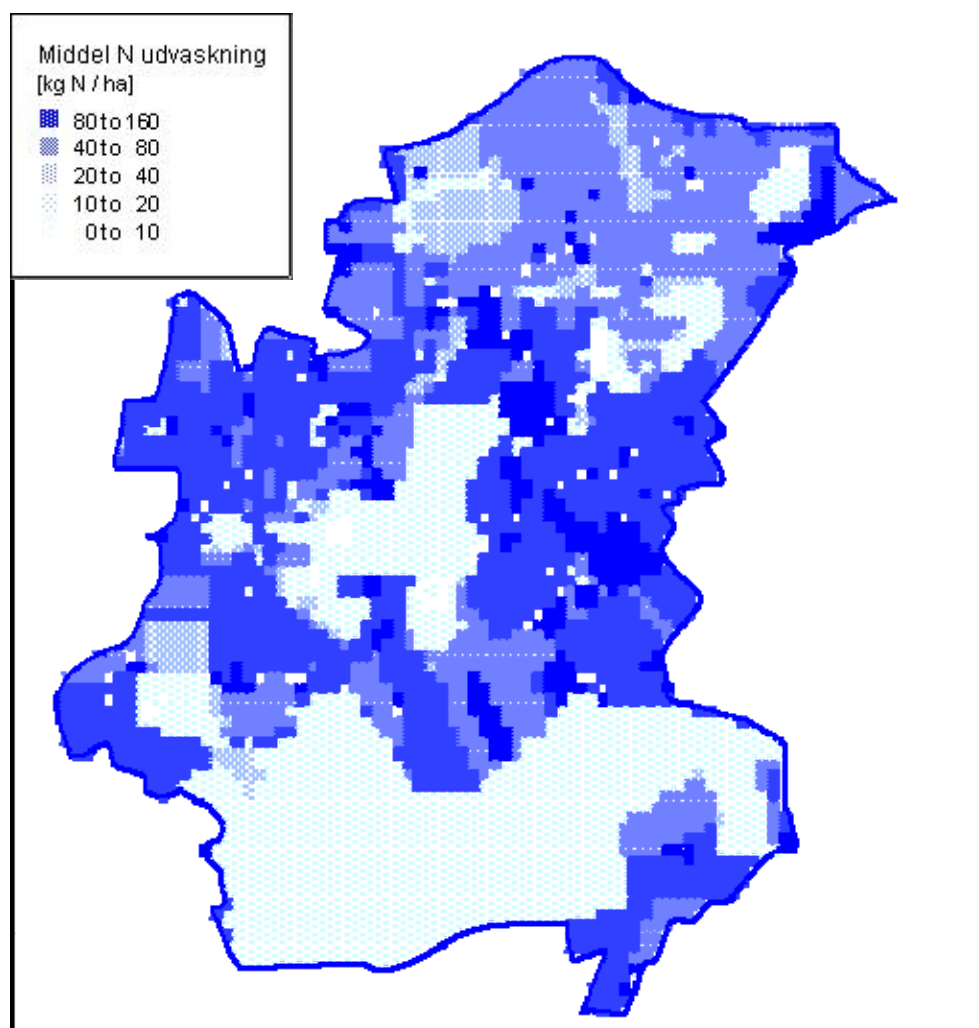


Figur 3.4: Modelberegnet vandløbsafstrømning (sort linie), drænbidrag til vandløbene (rød linie) og observeret afstrømning (blå linie)

3.2 Følsomhed på nitratfrontens placering

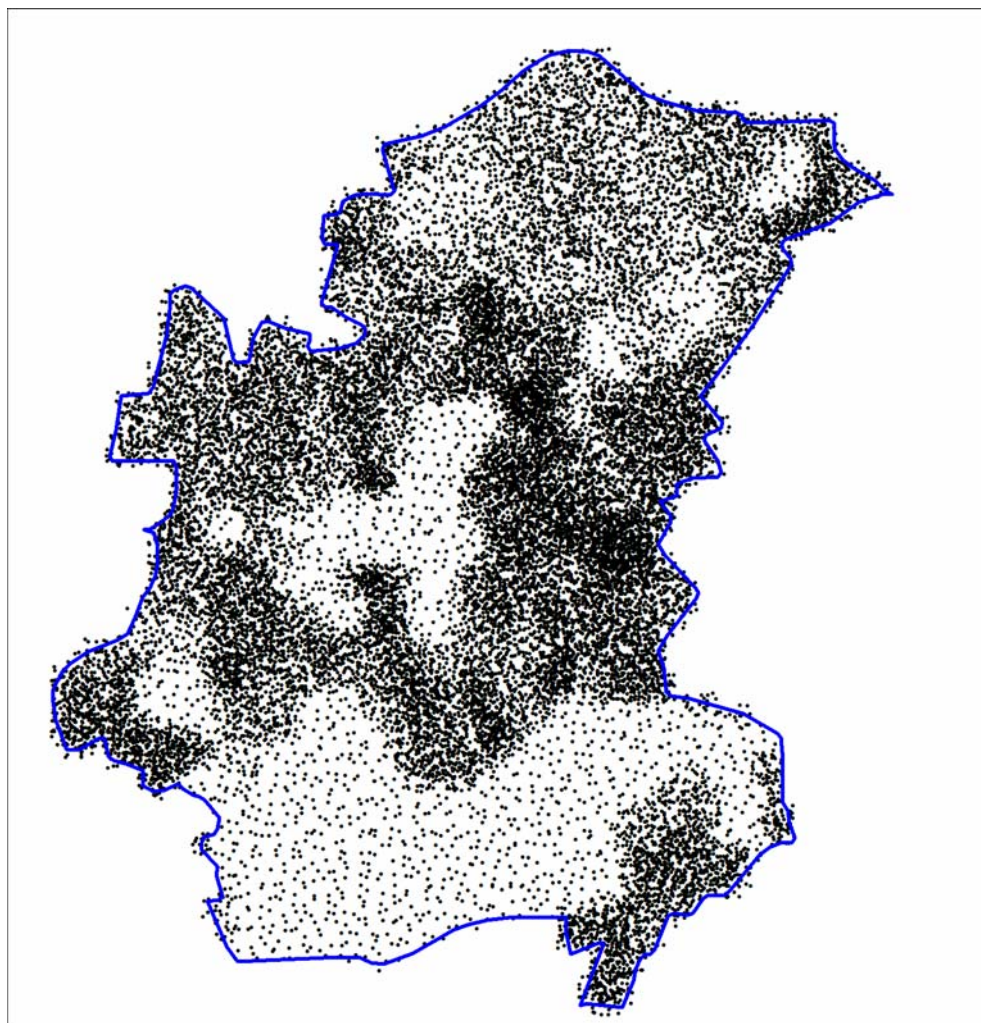
Dybden til nitratfronten er en af de usikre størrelser i forbindelse med modelleringen af nitratomsætningen. For den del af nitrattransporten, der foregår i grundvandszonen, vil placeringen af reduktionsfronten være meget afgørende. Det er derfor valgt at belyse dette forhold ved en følsomhedsanalyse af reduktionsfronten. Analysen er foretaget ved brug af partikelbaneberegninger.

Den gennemsnitlige nitratudvaskning for perioden 1990-2001 beregnet (ud fra DAISY modellen). Figur 3.5 viser udvaskningen til rodzonen. Udvasningen er størst i den østlige del af oplandet. Udvasningen er korreleret til arealanvendelsen og jordtypen og er nærmere beskrevet i afsnit 4.1. Især landbrug bidrager til en høj nitratudvaskning i området.



Figur 3.5: Middel nitratudvaskning fra DAISY i perioden 1990-2001

Følsomheden på nitratfrontens placering bliver beregnet ved brug af partikelbane modulet i MIKE SHE. Et antal partikler bliver nu placeret i øverste modelcelle. Antallet af partikler er proportionalt med den årlige middeldyvaskning af nitrat. Antallet af partikler (22.510 i alt) er defineret således at hver partikel svarer til 5 kg N/ha. Partiklerne placeres tilfældigt inden for deres respektive modelcelle. Der er benyttet en effektiv porøsitet på 15 % for hele modelområdet i forbindelse med partikelbaneberegningerne.

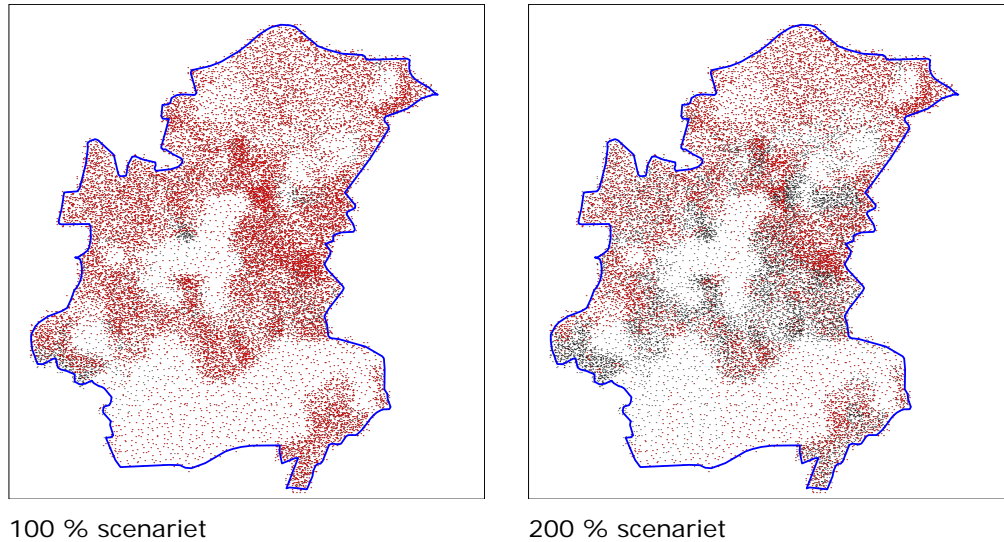


Figur 3.6: Oversigt over den initiale startplacering af partikler

Partikelbaneberegningen udføres på baggrund af strømningsbilledet fra 1991 til 2001, og foretages over en periode på 1000 år, med gentagelse af strømningsbilledet. Hvis partiklerne krydser nitratfronten markeres de, og efter endt beregning kan antallet af partikler, der har krydset nitratfronten tælles op. Denne beregning er foretaget for forskellige dybder til nitratfronten. Det er valgt at lave beregninger for dybder svarende til hhv. 75 %, 100 %, 125 %, 150 %, 200 % og 250 % af den estimerede dybde til nitratfronten (efterfølgende refereret som scenarier)

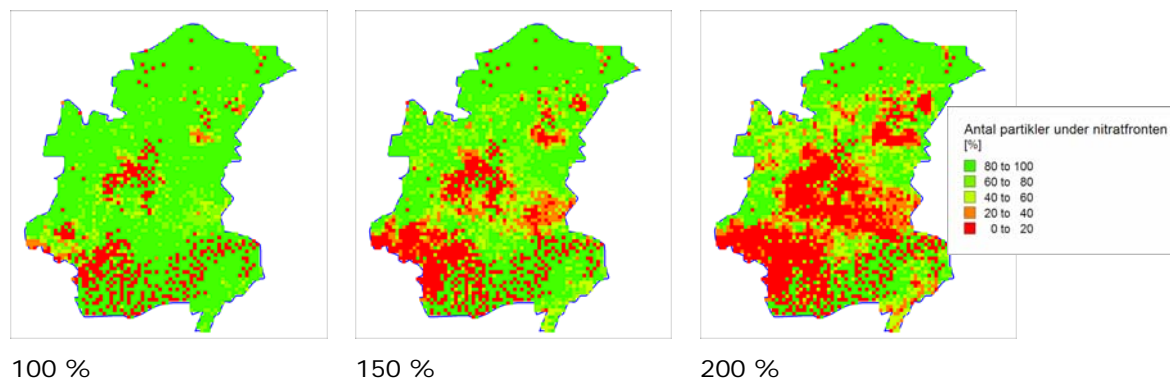
Figur 3.7 viser startpositionen af partikler for hhv. 100 % og 200 % scenarierne. På figuren er partikler, der når under redoxgrænsen, markeret med rødt. Herved kan man opnå en vurdering af områder, hvor nitratreduktion i grundvandet foregår, og hvor den ikke foregår. Desuden kan man se om der er *usikre* områder, dvs. områ-

der, hvor dybden til nitratfronten kan have stor indflydelse på om der sker nitratreduktion.



Figur 3.7: Start position for alle partikler (sorte). Partikler som når under nitratfronten er farvet røde. Venstre: 100 % og højre: 200 % scenariet.

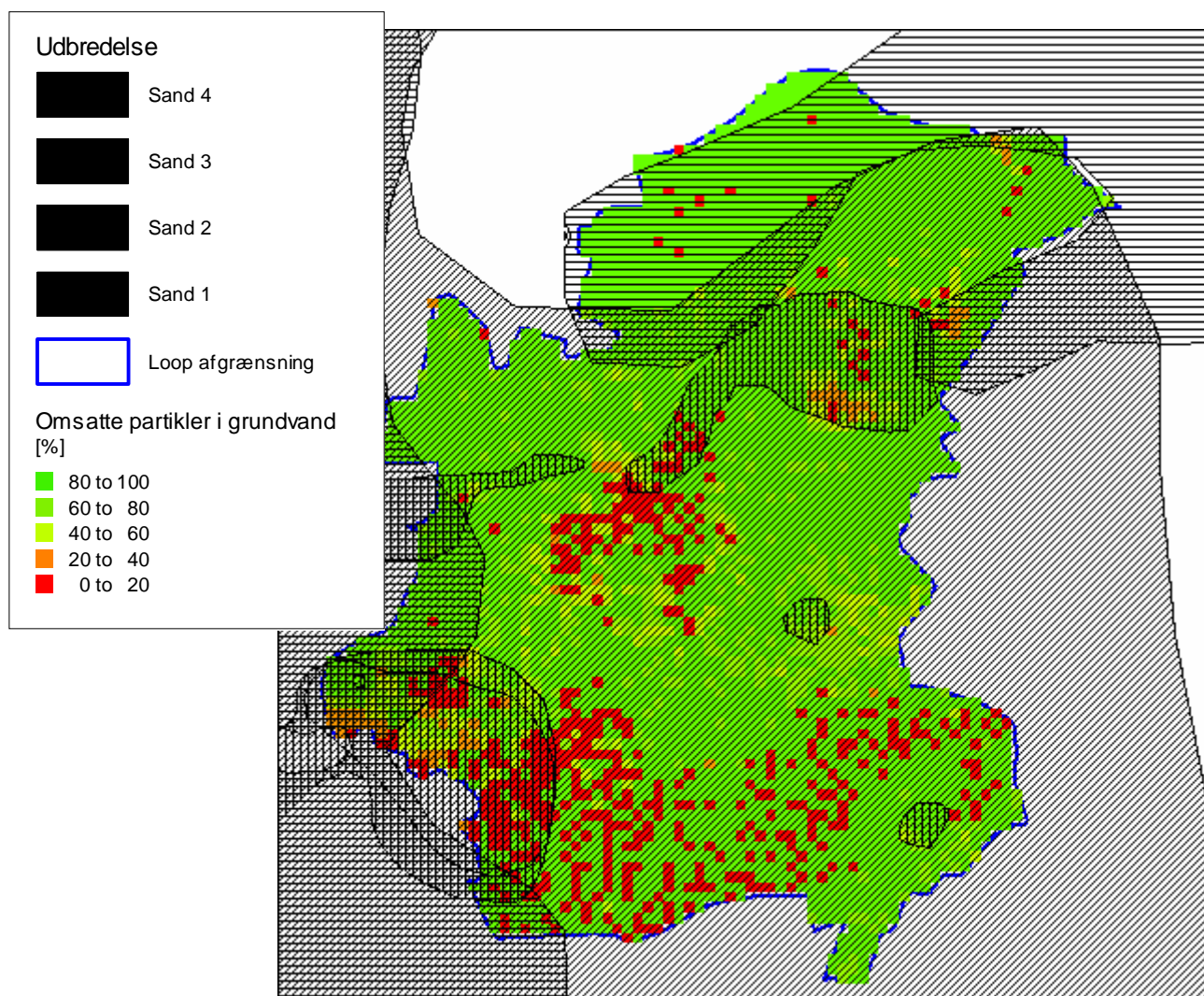
Foretages en optælling af andelen af partikler som omsættes i hver beregningscelle (50 x 50 meter) kan man få en vurdering af betydningen af de enkelte områder. Figur 3.8 viser andelen af partikler som går under nitratfronten for hhv. 100 %, 150 % og 200 % scenariet. Her kan man se, at dybden til nitratfronten i den nordlige og nordvestlige del af LOOP1 oplandet ikke har stor betydning, og at stort set alle partikler når under fronten i disse områder. I den centrale og sydvestlige del er der derimod en relativ lille andel af partiklerne, som når under fronten. Udbredelsen af disse stiger markant når dybden til nitratfronten forøges.



Figur 3.8: Andel af partikler som går under nitratfronten (pr. grid celle) for hhv. 100%, 150 % og 200 % scenariet.

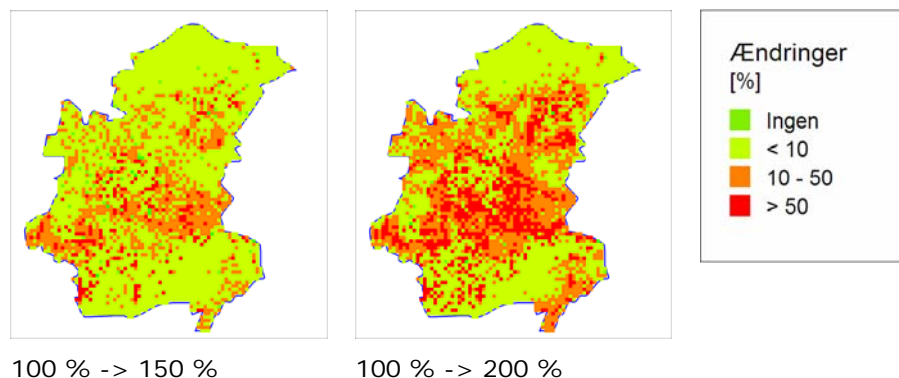
De røde områder er områder, hvor en indsats mod nitrat har mening (ved en prioriteret indsats vil der også skulle medtages områder, der har en stor drænafstrømning til vandløbene). Det er her, hvor de hydrogeologiske forhold er sådan, at der ikke sker en nitratreduktion af det grundvandsdannende vand. I de grønne områder forholder det sig derimod sådan at grundvandsstrømningen bringer vandet under nitratfronten og der foregår herved en naturlig nitratreduktion. En evt. indsats mod nitrat vil derfor ikke have den store effekt i disse områder.

Figur 3.9 viser områder, hvor partikler under nitratfronten (100 % scenarium) er sammenholdt med magasinudbredelsen fra den geologiske model. Det er svært at drage direkte konklusioner på geologien og områder, hvor partikler når under nitratfronten. I områder med tilstedeværelsen af magasin S2 er der mulighed for at partiklerne ikke når under nitratfronten. I den nordlige del af LOOP området, hvor magasin S3 er til stede og magasin S2 ikke eksisterer, er der kun få partikler, som når under fronten. I det sydvestlige hjørne af LOOP-området eksisterer magasin S3 og S4 sammen med magasin S2. Disse magasiner (S3 og S4) ser dog ikke ud til at have nogen effekt på hvorvidt partikler kommer under nitratfronten.



Figur 3.9: Partikler under nitratfronten sammenholdt med magasinudbredelsen.

Figur 3.10 viser ændringer i andelen af partikler, som når under nitratfronten for 150 % og 200 % scenariet i forhold til 100 % scenariet. Her ses, at det specielt er centralt i LOOP1 området, der er følsomt mht. usikkerheden på nitratfrontens placering.

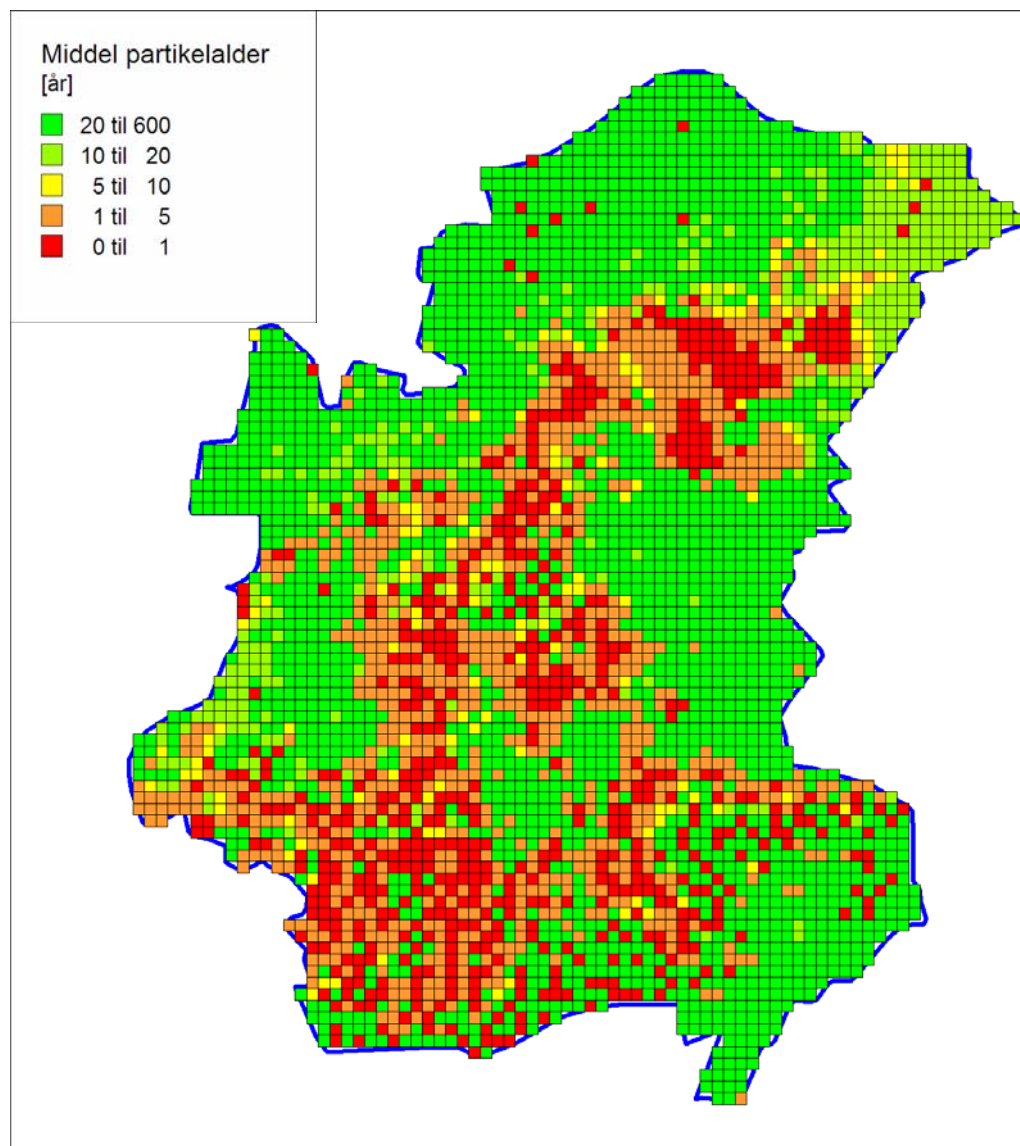


Figur 3.10: Ændringer i andelen af partikler under nitratfronten [%] 150 og 200 % scenarierne i forhold til 100 % scenariet.

3.3 Grundvandets alder (strømningstid)

Grundvandets strømningstid (udtrykt ved partikelalderen for partiklerne) i den mættede zone er vist på Figur 3.11. Aldrene er angivet ved partiklernes startposition og optalt for hver beregningscelle, og det er herved muligt at lokalisere områder med kort opholdstid i de mættede zone. De korte opholdstider i grundvandet findes centralt i modelområdet, hvor afstanden til vandløbet er lille, og også i stor udstrækning relateret til de områder, hvor nitratbelastningen er størst. Lang transporttid findes i modellens nordlige og sydøstlige del, hvor transporttiden er over 5 år.

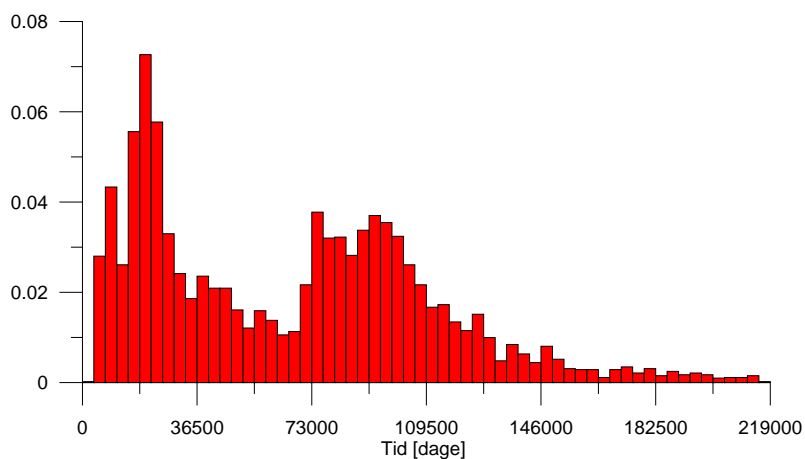
I forhold til beregningen af strømningstiden skal man være opmærksom på, at størstedelen af partiklerne forlader grundvandet via dræn. Dette giver for størstedelen af partiklerne en transporttid på under 1 år. Figur 3.11 viser partiklerne i grundvandet. Sammenholdes figuren med Figur 3.9 ser man, at der er en sammenhæng mellem partikelalder og de partikler som når under nitratfronten, idet høj alder antyder at partiklerne omsættes (da strømmingen her primært foregår i grundvandszonen).



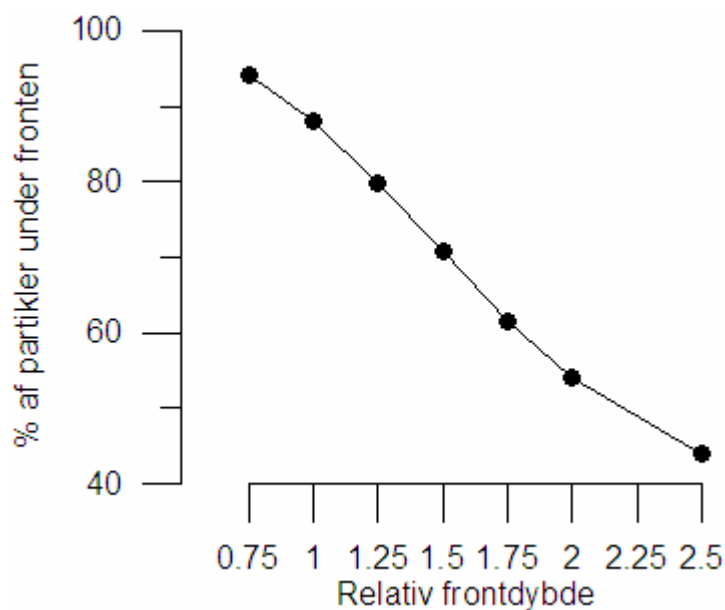
Figur 3.11: Partikeltid i den mættede zone afbilledet for partiklernes start-position.

Figur 3.13 viser andelen af partikler, som går under nitratfronten ved forskellig dybde til nitratfronten. Her ses, at der er en tilnærmelsesvis lineær relation, og at andelen af partikler, som når under nitratfronten, falder når dybden til reduktionsfronten øges. Beregningerne viser at 100 % partikler går under fronten ved en dybde ved ca. 50 % af den initiale front. Desuden ses en tendens til udfladning af kurven ved en stor dybde til reduktionsfronten. Dette skyldes at den horisontale strømningsskomponent i grundvandet har større betydning ved en dybere placering af reduktionsfronten.

Volumenmæssigt er det ca. 20 % af partiklerne som når en indvindingsboring. Ser man på det tidslige aspekt er det ca. 3 % af disse partikler som når en indvindingsboring på under 10 år og ca. 1/3 under 100 år. Disse partikler strømmer til indvindingsboringer filtersat i magasin S2, som er nitratfrit. Figur 3.12 viser et histogram over aldersfordelingen af partikler som når til indvindingsboringerne.

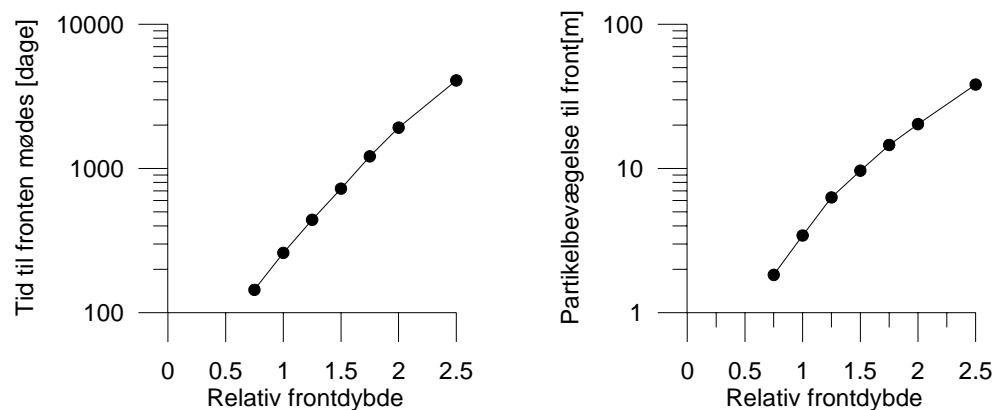


Figur 3.12: Alder [dage] på partikler som når indvindingsboringerne i LOOP 1 oplandet.



Figur 3.13: Andelen af partikler under nitratfronten for varierende frontdybde.

Figur 3.14 viser at den horisontale strømningskomponent får større betydning jo dybere fronten er lokaliseret. Der er tilnærmelsesvis et logaritmisk forhold mellem frontdybdens placering og transporttiden til nitratfronten, og afstanden en partikel tilbagelægger har en dobbelt logaritmisk relation til frontdybden. En stor alder på partiklerne må betyde at der vil være en forsinkelse af nitrattransporten i systemet, således at en stor udvaskning til rodzonen vil fremgå som en forøget nitrattransport gennem nogle år.



Figur 3.14: Middel partikeltid og afstand til nitratfronten mødes.

Forsinkelsen for nitrattransporten i grundvandet kan blive meget stor. Eksempelvis viser 200 % scenariet en forsinkelse på ca. 2000 dage (ca. 5 år). Der ikke er observeret nogen større forsinkelse (i år) af nitratudstrømningen i vandløbet i forhold til udvaskningen til rodzonen. Vandbalancen viser at ca. 20 % af nettonedbøren bidrager med grundvandsdannelse, og en del af nitraten i grundvandet vil herefter blive omsat. En forsinkelse på op til 5 år vil derfor være svær at observere, da det kun er en mindre del af nitrat-transporten der sker i grundvandet, og drænastrømningen fremstår som det vigtigste komponent i vand- og N-massebalancen for oplandet.

Man skal være opmærksom på, at nitrattransporten på Figur 3.1 viser årgennemsnit, hvilket giver en opløsning på 2 år, idet årgennemsnit er adskilt af det hydrologiske år.

3.4 Vandbalancebetragtninger

Inden den endelige nitratmodellering har det været nødvendigt at vurdere:

- Hvor stor en vandvolumen, der tilstrømmer vandløbet via dræning og grundvand.

- Hvor stor betydning nitratfrontens placering har på den endelige N-transport ud af oplandet.

En vandbalance fra LOOP1 modellen viser, at over en 10 års periode er den gennemsnitlige nettonedbør på ca. 197 mm/år, Dræntilstrømningen til vandløbet udgør ca. 119 mm/år. Der er ca. 15 mm/år, der strømmer til vandløbet som baseflow og ca. 22 mm/år som overfladisk afstrømning. De resterende 42 mm/år er dyb grundvandsdannelse og går til oppumpning og magasinændring.

Der er i vandbalancen ikke taget højde for det indvundne vand. Der er en randstrømning svarende til 22 mm/år. Hvis det indvundne vand udledes til vandløbet vil det indgå i vandbalancen på vandføringen, og derved har indvindingen ingen betydning for vandbalancebetragtningerne.

Vandbalancen viser, at fra nettonedbøren er der kun en lille del, der rent faktisk strømmer dybt ned i grundvandet.

Nitratudvaskningen fra DAISY samt drænafstrømningen varierer meget fra år til år, og derfor er det hensigtsmæssigt at beregne nitratbalancen på årlig basis og sammenligne med vandbalancen. Vandbalancen er opstillet i

Tabel 3.1 og nitratbalancen i Tabel 3.2.

Forklaring til vandbalancetabellen:

- Nettonedbør: Nettonedbør fra DMU's DAISY beregninger.
- Q_{Obs} : Vandløbsafstrømning (målt)
- $Q_{Dræn}$: Dræn og terrænstrømning (model)
- $Q_{Grundvand}$: Drænbidrag korrigeret for baseflow
- $Q_{(MIKE 11)}$: Samlet beregnet vandføring

Tabel 3.1: Oversigt over årlig Vandbalance for hele LOOP 1 oplandet i perioden 1991 – 2000

År	Nettonedbør [mm]	$Q_{(obs)}$ St.620014 [mm]	$Q_{Dræn+OL}$ [mm]	$Q_{Grundvand}$ [mm]	$Q_{(MIKE\ 11)}$ St. 620014 [mm]
1991	199	189	161	18	179
1992	172	141	133	16	149
1993	312	235	228	17	245
1994	331	308	285	23	308
1995	220	196	225	20	245
1996	23	48	6	2	8
1997	50	47	22	6	28
1998	239	179	154	15	169
1999	258	186	212	17	229
2000	153	121	152	15	167
MIDDEL	197	165	158	15	172

Forklaring til nitratbalancetabellen:

- N_{DAISY} [kg]: DAISY beregnet nitratudvaskning
- $N_{Til\ dræn}$ [kg]: N estimeret fra dræn
- $N_{til\ Grundvand}$ [kg]: N som når grundvandet.
- $N_{fra\ Grundvand}$ [kg]: N fra grundvand til vandløb (oppumpet og baseflow)
- N_{Total} [kg]: Summen af de enkelte N-bidrag (Dræn og grundvand).
- $N_{Målt\ 620014}$: Målt nitrat i station 620014

På baggrund af partikelbaneberegningerne, der repræsenterer en gennemsnitlig belastning for perioden 1991 til 2000, samt de udtrukne vandbalancer for samme periode, er der beregnet en årlig nitratbalance, se Tabel 3.2. I beregningerne er det forudsat at der ingen reduktion sker ved dræntilstrømningen til vandløbene, og at reduktionen i grundvandet sker ud fra det samme forhold med nettonedbøren som i gennemsnitssituationen (beregnet ved brug af partikelbane modulet). Formålet med denne øvelse er at undersøge om man ved brug af partikelbanemodulet, samt en detaljeret vandbalanceberegning kan vurdere nitratbalancen i et opland. Det skal dog bemærkes at idet grundlaget for beregningerne er en række partikelbane-

beregninger, der hver repræsenterer en gennemsnitlig udvaskning, vil de beregnede værdier kun være overslagsmæssige.

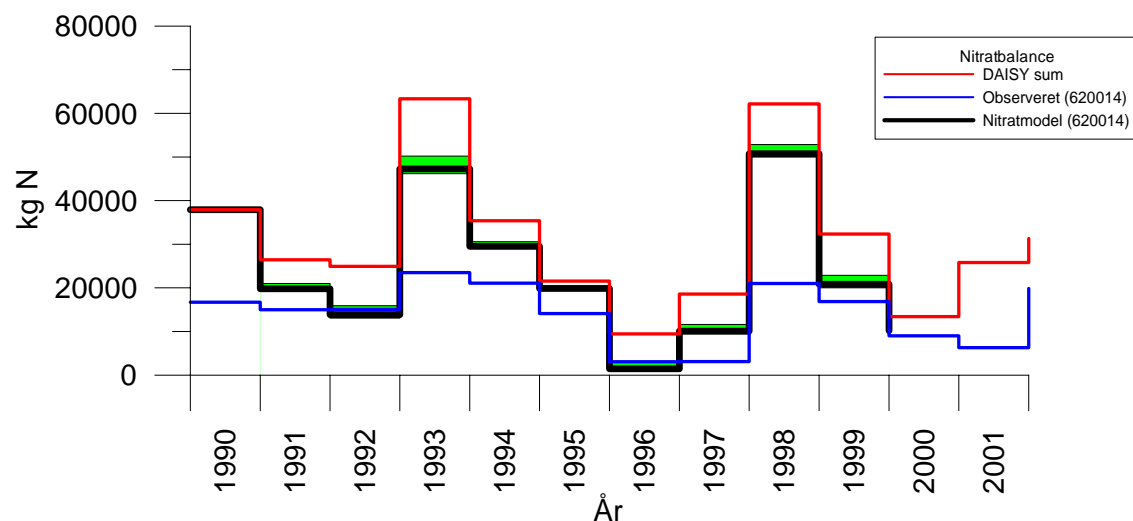
Tabel 3.2: Oversigt over årlig nitratbalance (partikelberegnet) for hele LOOP 1 oplandet i perioden 1991 – 2000.

År	N _{DAI-SY} [ton]	N _{til Dræn} [ton]	N _{til GV} [ton]	N _{fra GV} [ton]	N _{samlet} [ton]	N _{Målt 620014} [ton]
1991	26	20	7	1	20	15
1992	25	13	12	1	14	15
1993	63	46	17	2	48	23
1994	35	29	6	1	30	21
1995	22	20	1	0	20	14
1996	9	3	6	1	4	3
1997	19	12	7	1	12	3
1998	62	51	11	1	52	21
1999	32	20	13	2	21	17
2000	13	10	3	0	11	9
MIDDEL	31	22	8	1	23	14

Ud fra ovenstående tabel kan det ses at drænafløbet til vandløbene er den komponent der bidrager med langt den største belastning til vandløbene. Tabellen viser også at dræntilførelsen er større end den nitrattransport der observeres ved station 620014. Dette indikerer at omsætningen af nitrat ved grænsen mellem dræn og vandløb kan være afgørende i dette opland. Denne proces er ikke beskrevet i den efterfølgende nitratmodel, og det kan derfor forventes at modellen overordnet vil overestimere nitrattransporten ud af oplandet.

Figur 3.15 viser den beregnede nitrattransport til vandløbet på baggrund af partikelbaneberegningerne for tre scenarier med forskellig frontdybde (75 %, 100 % og 150 % - markeret på figuren med det grønne område). Disse er sammenholdt med den beregnede udvaskning til rodzonen og observeret nitrat i station 620014. Det ses af figuren, at der er en acceptabel overensstemmelse mellem den beregnede og målte nitrat med undtagelse af de meget våde år (1993 og 1998), hvor nitrattransporten overestimeres. Dette skyldes, at den beregnede nitratudvaskning for disse år er overestimeret. Man ser også at transporten af nitrat ikke er særlig følsom for placeringen af nitratfronten. Dette skyldes, at grundvandstilført vand kun udgør ca.

10 % af den samlede vandbalance. Resultaterne viser at frontplaceringen fra 75 % til 150 % dybde kun ændrer på ca. 1,5 % af den samlede nitrattransport. Nitratbelastningen af vandløbet er primært afhængig af den hurtige afstrømning via dræn og overflade.



Figur 3.15: Partikelbaseret nitrattransport for tre scenarier sammenholdt med samlet DAISY input samt målt ved station 620014. Med grønt er markeret ændringer i den samlede nitrattransport ved en nitratfronts placering på hhv. 75 % og 150 % af den fastlagte dybde

3.5 Konklusioner

Partikelbaneberegningerne er foretaget med partikler placeret under modellens drænniveau og repræsenterer derved grundvand, dvs. DAISY output fratrukket bidrag til dræn. Analysen af partikler er derved en analyse af nitratomsætningen af grundvandet fratrukket vand der er gået direkte til dræn og vandløb. En vandbalanceberegning er herefter foretaget for at vurdere grundvandsdannelsens størrelse i forhold til den hurtige afstrømning via dræn og vandløb.

Ud fra partikelbaneberegningerne og analysen af de observerede data kan det konkluderes at:

- Nitratfrontens placering er god. En dybere placering giver mindre nitratreduktion, men dette vil også bidrage med større forsinkelse af nitrat til vandløbet (hvilket ikke passer med de observerede værdier). En højere place-

ring af nitratfronten vil ikke ændre afgørende på resultatet, idet nitrattransporten gennem dræn er dominerende i oplandet.

- De udarbejdede kort over områder med stor andel af partikler, der omsættes, kan benyttes til udpeging af områder, hvor en indsats kan foretages.

Forslag til yderligere undersøgelse – og fremtidige anbefalinger:

- Man kan gå mere i detaljer og se på drænafstrømningen på celleniveau. Denne drænafstrømning skal nok korrigeres for celler, hvor dræning fungerer som kilder (dvs. de tager grundvand og vil også være aktive som dræn i eksempelvis tørre somre). Herved kan man få et mere nuanceret billede af de forskellige bidrag af nitrat.
- Det bør undersøges i detaljer om der er områder hvor der kan forventes en markant reduktion af nitrat fra drænsystemerne. Afbrydelse af dræn eller områder hvor drænvandet udledes på organiske jorde, vil have en markant indflydelse på den endelige transport af nitrat ud af oplandet.
- Partikelbaneberegningerne bør udføres på nitratbelastningen korrigeret for grundvandsdannelsen, dvs. at en partikel ikke skal repræsentere nitrat udvaskningen fra DAISY alene men korrigeres for drænafstrømningen andel af nettonedbøren, således der kun regnes på *nitratpartikler* som når den mættede zone . Dette vil forbedre overslagsberegningen for partikler (og herved massen af N) der når under redoxfronten.

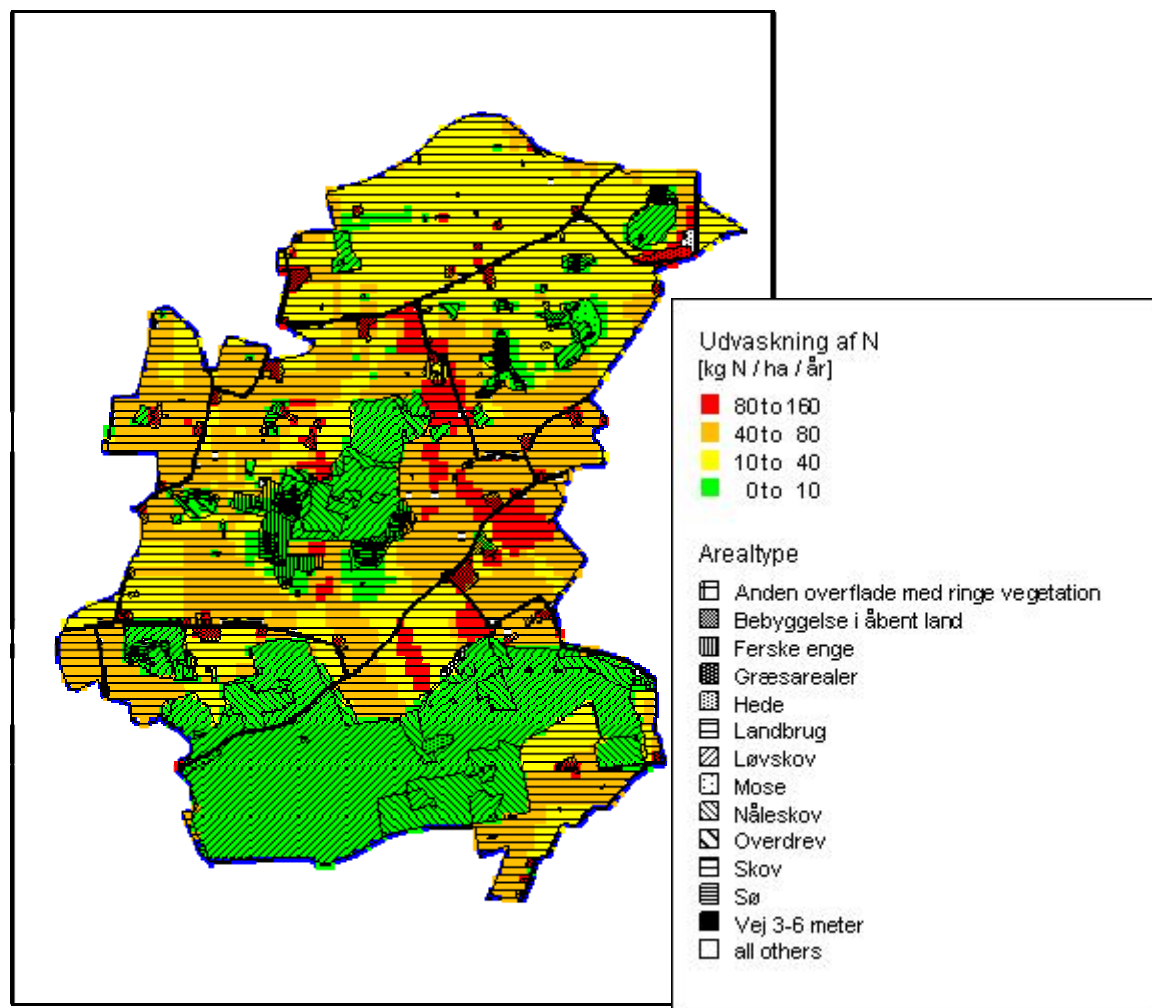
4 Nitratmodel

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 fra rodzonen beregnet af DMU (DAISY). Nitratmodellen er baseret på advektions- og diffusionsmodulet i MIKE SHE.

4.1 Nitratudvaskning fra rodzonen

Nitratudvaskningen fra rodzonen er beregnet ved brug af Daisy-modellen. Beregningerne er foretaget af DMU. Daisy-modellen er sat op på de 6 jordvandsstationer i Højvads Rende oplandet. For 2 af stationerne er anvendt jord-opsætning fra en af de øvrige stationer da der ikke foreligger oplysninger fra de to jordvandsstationer. Ligeledes er der benyttet standard parametre for sandjorde og humusjorde. Der er indlagt dræn i modellerne, idet 57 % af landbrugsjorden er drænet og store dele af de øvrige områder indeholder grøfter. Modellerne er kalibrerede i forhold til målt nitratkoncentration i 100 cm dybde og høstudbytter, som landmændene har oplyst for markerne på jordvandsstationerne. Jordtyperne på jordvandsstationerne er antaget repræsentative for området og jordparametrene er udbredt til hele oplandet ud fra jordtypekort fra Danmarks Jordbrugsforskning og jordartskort fra GEUS. Der ligger oplysninger omkring sædskifte og høstudbytter for hver enkelt mark i oplandet, og der er opstillet DAISY-modeller for hver kombination af jord og sædskifte.

Figur 4.1 viser den gennemsnitlige årlige nitratudvaskning fra LOOP oplandet i forhold til arealanvendelsen. Værdierne er udregnet som et gennemsnit for perioden 1990 til 2003, hvilket er hele den periode som DAISY-modellen er opstillet for. Det ses at der er store arealmæssige forskelle i oplandet, og at de er tæt korreleret med arealanvendelsen. Kun enkelte steder ses en relativ høj eller lav udvaskning fra dyrkede arealer, mens skov, overdrev og enge altid har lav udvaskning. Jordbundsforhold vil have en indflydelse, men især ekstensivt dyrkede arealer og braklagte arealer vil have en lav udvaskning. En høj belastning kommer også fra bebyggede arealer, se Figur 4.1, på grund af en meget stor omsætning af det organiske indhold i jorden. Denne omsætning er ikke reel, og i forbindelse med anden afrapportering af DAISY-resultaterne for Loop-oplandet er der efterfølgende lavet nye beregninger, hvor udvaskningen er reduceret. Bebyggede arealer udgør en meget lille del af det samlede areal og de nye beregninger er derfor ikke medtaget i nitratmodellen fordi effekten af ændringen ikke vil kunne spores.



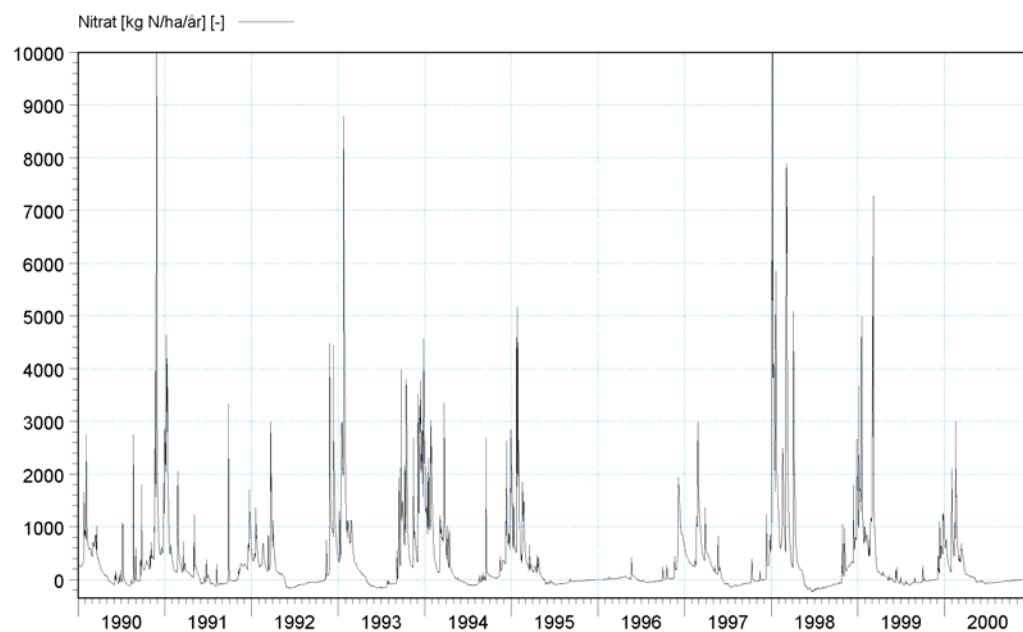
Figur 4.1: AIS arealanvendelseskort for LOOP 1

Tabel 4.1 viser værdierne for den gennemsnitlige udvaskning fra de forskellige arealtyper. Det ses, at landbrug har den højeste udvaskning på 40 kg N/ha, mens udvaskningen fra bymæssig bebyggelse er noget lavere 26 kgN/ha/år. Skove, moser og søer har lav udvaskning, højst 6 kgN/ha/år. De gennemsnitlige værdier viser ikke den spredning på de absolutte værdier, som ses i Figur 4.1, men giver en vurdering af udvaskningen for de enkelte arealanvendelser.

Tabel 4.1. Gennemsnitlig udvaskning fra arealanvendelserne vist i Figur 4.1

Arealanvendelse	Kg N/ha/år	Ha
Bebyggelse i åbent land	26	26
Veje	0	11
Landbrug	40	568
Skove	5	302
Moser/Vådområder	6	3
Søer	6	8

Figur 4.2 viser den summerede nitratudvaskning for perioden 1990 til 2001. Figuren viser den årlige variation i perioden.



Figur 4.2 Samlet nitrat udvaskning fra rodzonen [kg N/år]

4.2 Observationer

Der er i oplandet en række stationer, hvor der er foretaget observationer af nitratkoncentrationen i vandløb og grundvand. Disse observationer er afgørende for valideringen af beregningerne fra den opstillede nitratmodel. Observationer af dræn-

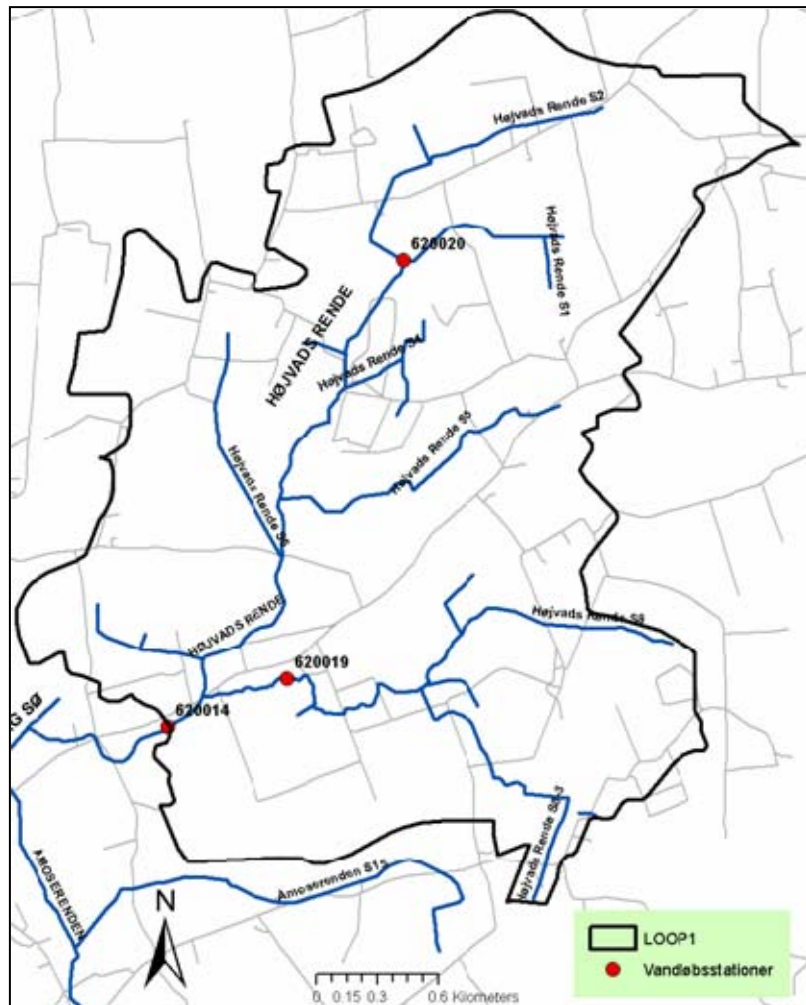
vand bruges til at teste hvor nøjagtigt modellen er i stand til at beregne drænvandsafstrømningen. Det er overordnet valgt at benytte ens værdier for alle de hydrogeologiske parametre i området. Det betyder at der ikke er foretaget en lokal optimering i forhold til de enkelte drænstationer. Dette vil muligvis have kunnet forbedre repræsentationen på denne skala, men det er vurderet at den tilgængelige information ikke ville kunne retfærdiggøre en sådan opdeling.

4.2.1 Vandløbsobservationer

Der er i LOOP oplandet observationer af nitratkoncentrationen fra de tre vandløbsstationer 620014, 620019 og 620020. Placeringen af stationerne er vist på Figur 4.3. Station 620014 er placeret ved udløbet fra oplandet, og observationerne fra denne station repræsenterer dermed den totale mængde nitrat, der transporteres ud af oplandet. Tabel 4.2 viser måleperiode samt simple statistiske værdier for de observerede nitratkoncentrationer ved de tre stationer. Det skal bemærkes, at vandføringen er forskellig ved de tre stationer.

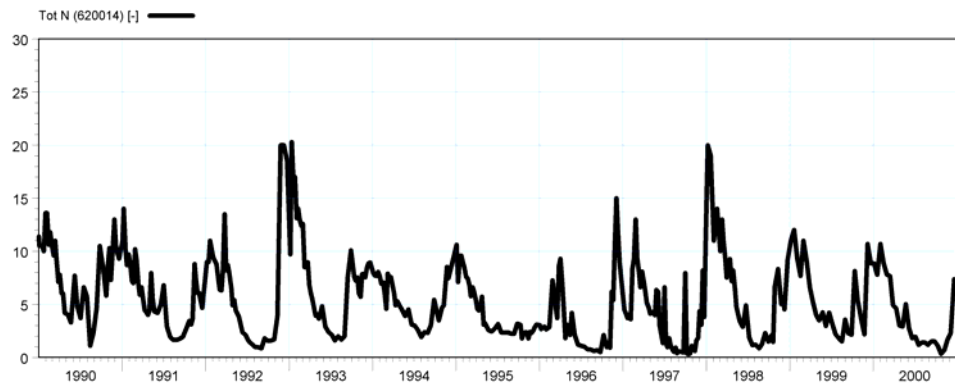
Station	Obs. Start	Obs. Slut	Max. [mg/l]	Min. [mg/l]	Genm. [mg/l]
620014	jan. 1989	dec. 2006	20,3	0,6	5,6
620019	jan. 1989	jan. 1998	33,8	0,2	6,6
620020	okt. 1989	jan. 1998	20,1	0,7	6,9

Tabel 4.2 Nitratkoncentration ved vandløbsstationer

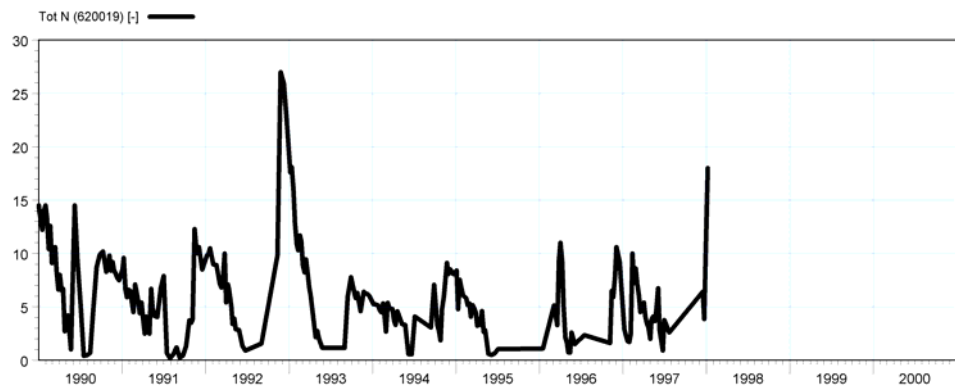


Figur 4.3 Vandløbsstationer i LOOP oplandet

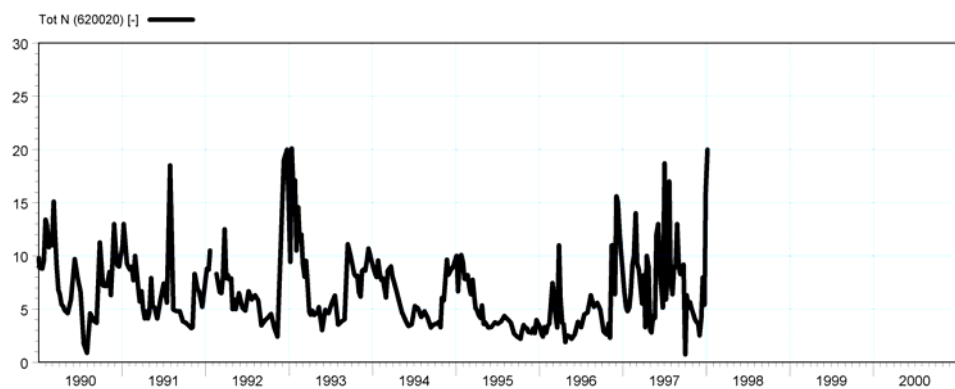
Figur 4.4, Figur 4.5 og Figur 4.6 viser observationerne ved de tre vandløbsstationer, hvor alle værdierne er i mg/l.



Figur 4.4 Observationer ved station 620014 [mg/l]



Figur 4.5 Observationer ved station 620019 [mg/l]



Figur 4.6 Observationer ved station 620020 [mg/l]

4.2.2 Drænobservationer

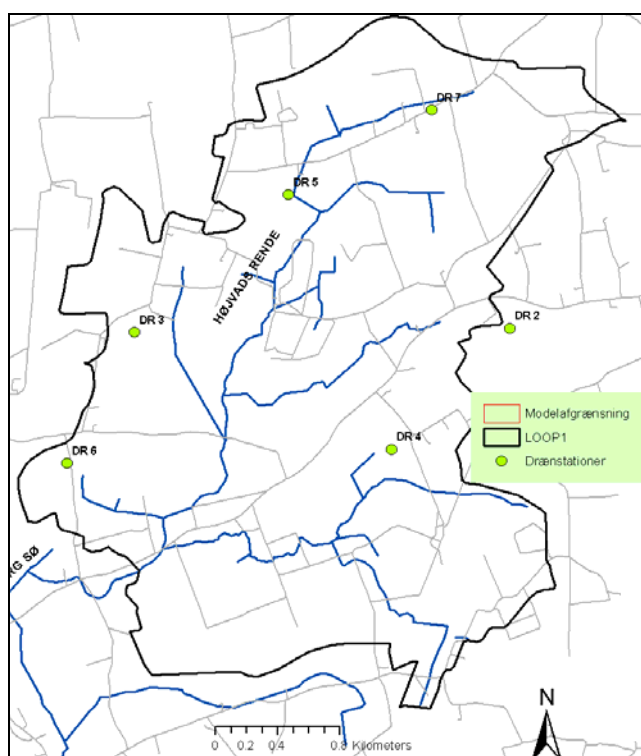
Som beskrevet i afsnittet omhandlende modelopstillingen, måles drænastrømningen ved 6 drænstationer i oplandet, se Figur 4.7 for placeringen af stationerne.

Stationerne 2 og 4 er ikke benyttet ved kalibreringen af strømningsmodellen, idet station 2 er placeret udenfor oplandet, og der mangler data fra station 4. De øvrige stationer benyttes ved kalibreringen af drænaftømningen fra modellen. Tabel 4.3 viser de observerede værdier fra drænstationerne.

Tabel 4.3 Observerede værdier fra drænstationer

	ST3	ST5	ST6	ST7
Opland [ha.]	5,5	2,5	2,0	4,8
Min. [l/s]	0,0	0,0	0,0	0,0
Max. [l/s]	9,9	3,9	3,2	7,8
Genm. [l/s]	0,23	0,12	0,05	0,08

De observerede værdier fra drænstationerne benyttes til at teste hvor nøjagtigt modellen er i stand til at beregne drænvandsafstrømningen. Drænaftømningen spiller en stor rolle ved vurdering af nitrattransporten i oplandet, idet drænaftømningen typisk vil bidrage med ureduceret vand. Desuden er bidraget fra drænaftømningen markant i dette opland.



Figur 4.7 Placering af drænstationer

Tabel 4.4 viser en oversigt med måleperiode og simple statistiske værdier for de observerede nitratkoncentrationer ved de enkelte drænstationer.

Station	Obs. Start	Obs. Slut	Max. [mg/l]	Min. [mg/l]	Genm. [mg/l]
2	juni 1990	dec. 1997	13,7	0,0	1,4
3	juni 1990	maj 2006	11,2	0,0	1,4
4	juni 1990	dec. 1997	10,0	0,0	1,3
5	juni 1990	maj 2006	17,5	0,0	1,7
6	juni 1990	maj 2006	13,6	0,0	1,2
7	jan. 1994	maj 2006	12,0	0,0	1,6

Tabel 4.4 Nitratkoncentration ved drænstationerne (vandføringsvægtet)

4.3 Opstilling af model

Der er med baggrund i den kalibrerede strømningsmodel opstillet en nitratmodel for oplandet til LOOP. 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 en stor reduktionskapacitet.

4.3.1 Nitratfjernelse i grundvand

Som beskrevet tidligere er placeringen af reduktionsfronten vurderet ud fra den tilgængelige information om bl.a. farveskifte i borer og målinger af iltindhold i grundvandet. 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.

4.3.2 Nitratfjernelse i vandløb

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 af nitrat 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.

4.4 Resultater

Den opstillede nitratmodel er beregnet for perioden 1990 til 2001, hvilket er den periode, hvor der eksisterer beregnede værdier fra DAISY modellen for hele modelområdet. Ved udtræk af resultater fra nitratmodellen, er det afgørende at initialbetingelserne er troværdige. Det er valgt at benytte året 1990 som opvarmningsperiode. Dette er en relativ kort opvarmningsperiode, men idet strømningsmodellen viser, at langt størstedelen af afstrømningen til vandløbene sker via drænsystemerne, vurderes en opvarmningsperiode på 1 år at være tilstrækkelig. Ved udtræk af resultaterne fra modellen kan det observeres, at masseændringen i grundvandet i

perioden 1991 til 2001 er meget lille, eller ca. 2,5 % af den gennemsnitlige årlige udvaskning af nitrat. Dette indikerer, at resultaterne fra 1991 og fremad ikke vil være præget af opvarmningsperioden.

4.4.1 Massebalance

Tabel 4.5 viser omsætningen af nitrat samt udvaskningen til vandløbet fra de forskellige komponenter i den opstillede model. Massebalancen er udtrykt for hele oplandet til LOOP, og tallene er udtrykt 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. De resterende 13 % er ved afslutningen af beregningerne stadigvæk i systemet og 45 % omsættes i den mættede zone.

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 oplandet er drænafstrømningen dermed afgørende for både transporten af vand og nitrat til vandløbene.

Tabel 4.5 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

Tabel 4.6 viser den årlige massebalance for LOOP oplandet. Det kan observeres, at mens der er store årlige variationer i nitratudvaskningen, er omsætningen af nitrat relativt stabil fra år til år. Omsætningen af nitrat varierer fra ca. 8.500 til 20.000 kg N /år, mens udvaskningen i den samme periode varierer fra 15.000 til 68.000 kg N /år.

Tabel 4.6 Nitratbalance for hele LOOP, alle værdier er kg N /år

	Input fra DAISY	Grundvand til vandløb	Dræn til vandløb	Terræn til vandløb	Vandløb til grundvand	Nitrat omsat
1991	28.879	630	10.515	485	52	11.253
1992	34.925	540	10.066	563	55	12.354
1993	67.830	789	21.031	1.367	99	17.880
1994	35.613	914	25.452	1.826	87	14.391
1995	22.414	589	15.719	1.175	63	14.451
1996	10.374	96	342	3	12	13.018
1997	21.891	225	1.957	44	43	14.229
1998	55.435	560	13.772	662	73	20.077
1999	40.683	531	17.370	1.142	73	16.713
2000	14.954	355	8.992	700	58	11.485
2001	16.563	222	2.390	140	39	8.669

Sammenholdes resultatet i Tabel 4.6 med beregninger fra partikelbaneberegningerne (Tabel 3.2) ser man at de enkelte bidrag stemmer rimeligt godt. Den samlede mængde omsat nitrat er meget forskelligt, hvilket skyldes at partikelmetoden antager at nitrattransporten ud af modellen er nitratudvaskningen fra DAISY fratrukket omsætningen i grundvandet. AD modellen viser at dette ikke er tilfældet, og der forekommer år (1996), hvor omsætningen af nitrat er større end input fra DAISY.

4.4.2 Nitrat i vandløb

Den beregnede nitratkoncentration for stationerne 620014, 620019 og 620020 er udtrykt fra den opstillede nitratmodel. Placeringen af de enkelte stationer kan ses på Figur 4.3. For hver station er vist følgende figurer:

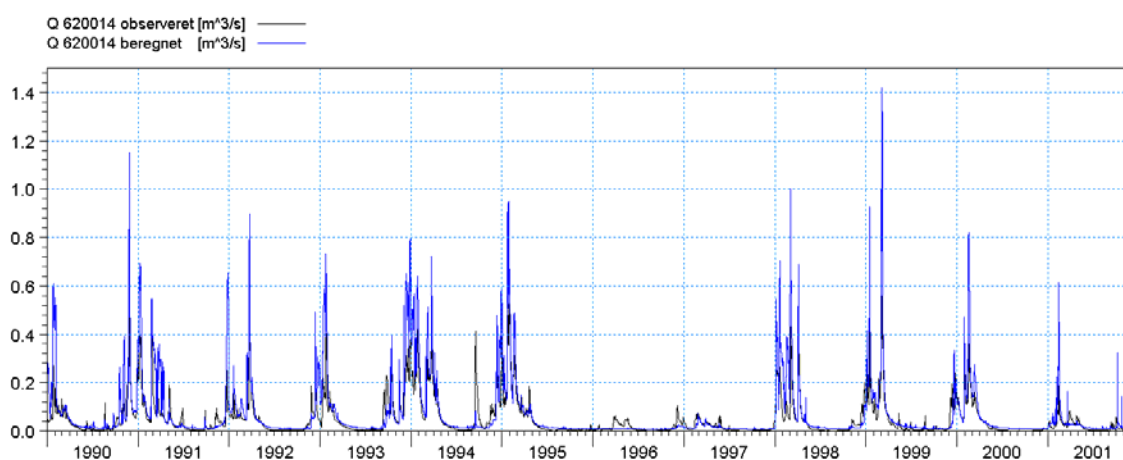
- Observeret og beregnet afstrømning ved stationen. Dette er også beskrevet i kalibreringen af strømningsmodellen, men idet afvigelserne på afstrømningen har stor indflydelse på beregningen af nitrattransporten, er det relevant at vise disse figurer igen.
- Observeret og beregnet nitratkoncentration, værdier i mg/l.

Station 620014

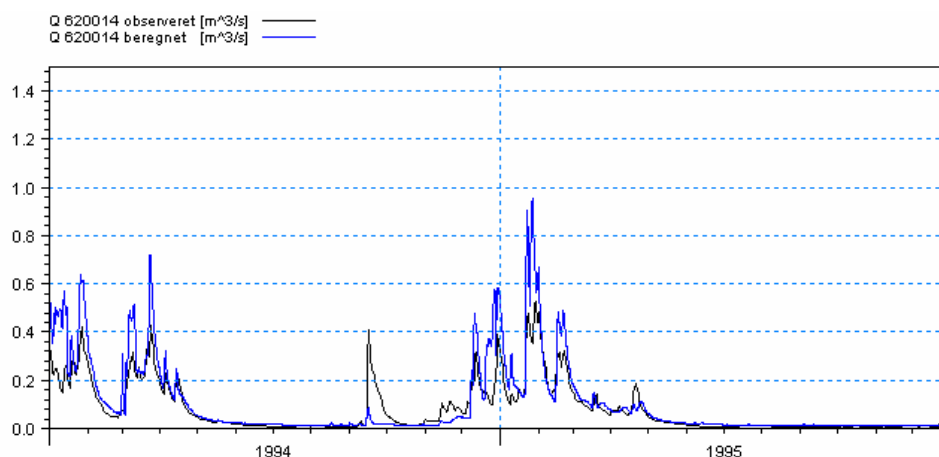
Figur 4.8 viser den beregnede og observerede afstrømning ved station 620014. Station 620014 repræsenterer den totale afstrømning fra oplandet og er dermed en vigtig station idet observationerne repræsenterer den totale afstrømning og transport af nitrat fra LOOP oplandet. I forhold til transporten af vand er den beregnede afstrømning i gennemsnit overestimeret med 24 %. Det er primært de lave afstrømningshændelser der er overrepræsenteret, mens modellen har en god repræ-

sentation af de store hændelser. Modellen er i stand til at simulere dynamikken i afstrømningen og til illustration af dette er der i Figur 4.9 zoomet ind på to år, 1994 og 1995.

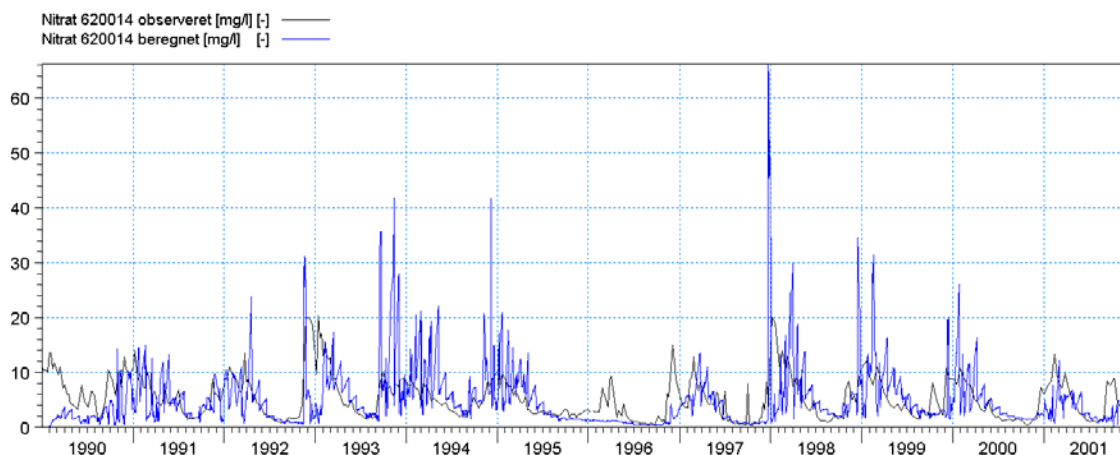
Figur 4.10 viser den observerede og beregnede nitratkoncentration ved stationen. Det ses, at der er en god overensstemmelse mellem den observerede og beregnede koncentration ved denne station. Modellen har en større tidlig opløsning, og de modeberegnete værdier har derfor en større fluktuation end de observerede. Figur 4.11 viser dette lidt tydeligere.



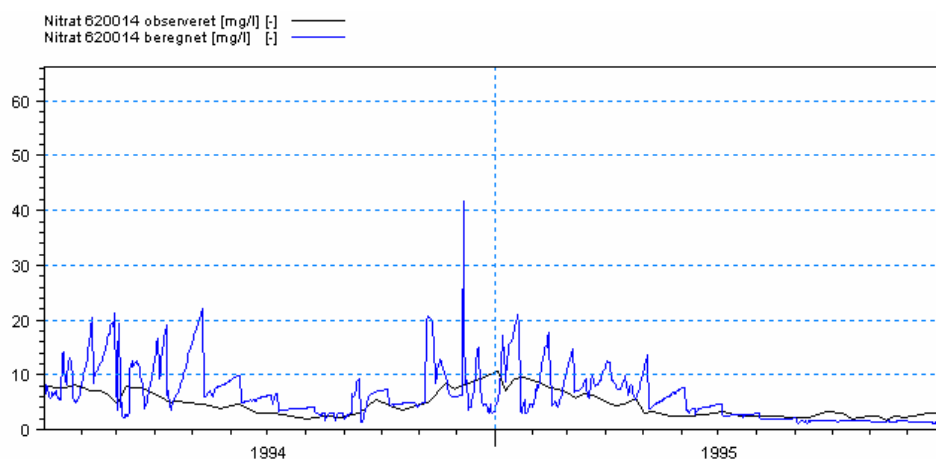
Figur 4.8: Beregnet og observeret afstrømning ved station 620014.



Figur 4.9 Beregnet og observeret afstrømning fra station 620014



Figur 4.10 Beregnet og observeret nitratkoncentration ved station 620014



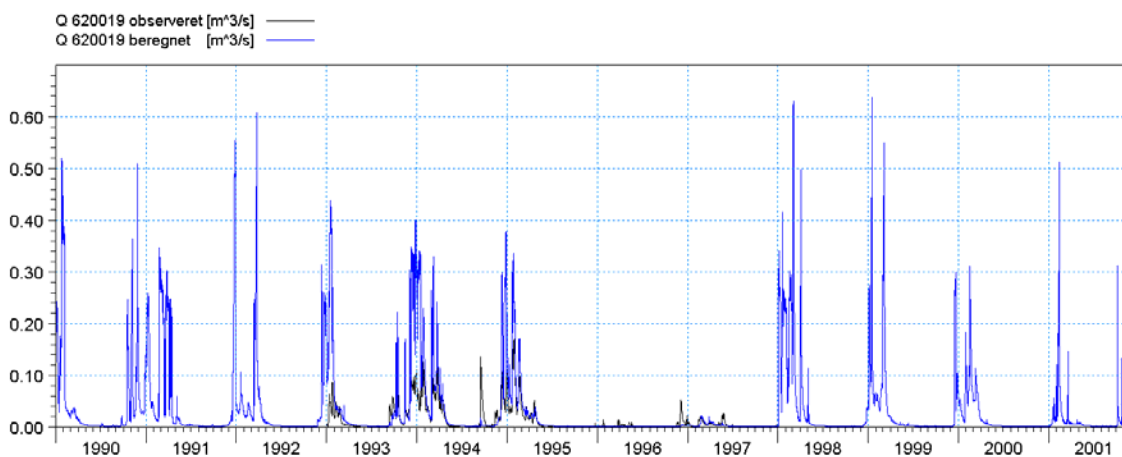
Figur 4.11 Beregnet og observeret nitratkoncentration ved station 620014

Station 620019

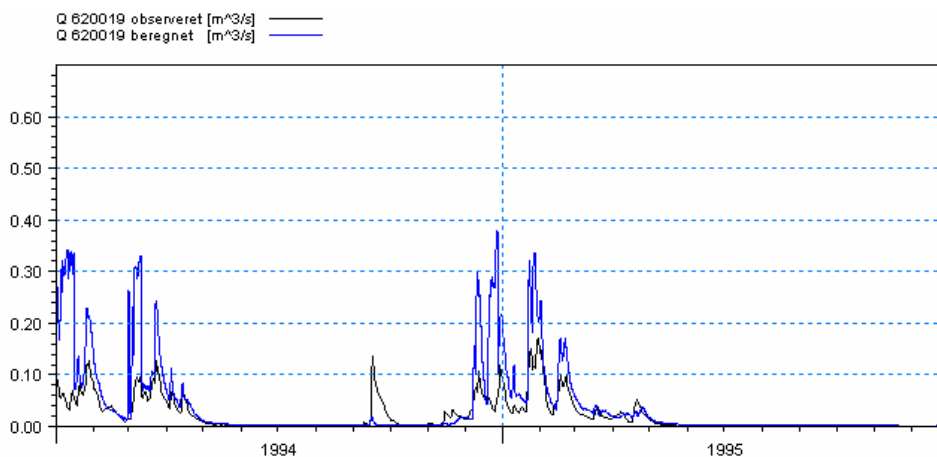
Station 620019 er placeret på et tilløb til Højvads Rende, og repræsenterer afstrømningen fra den sydlige del af oplandet. Modellen overestimerer i gennemsnit afstrømningen ved denne station med 59 %, og det er dermed den afstrømningsstation hvor der er den største forskel på middelaflstrømningen. Der er en tendens til at modellen har en lidt større repræsentation af alle hændelserne, dvs. at modellen overestimerer de store afstrømningshændelser, og at sommervandføringen er lidt større end den observerede. Den beregnede og observerede afstrømning er vist på

Figur 4.12. Den beregnede og observerede koncentration er vist på Figur 4.14. Detaljer ses i hhv. Figur 4.13 og Figur 4.15.

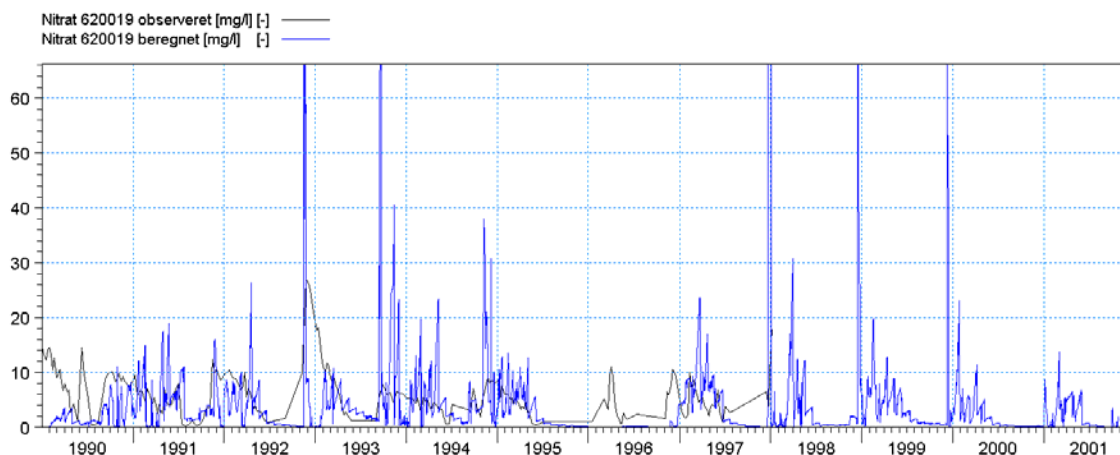
Der er ved denne station en relativt dårlig overensstemmelse mellem de observerede og beregnede koncentrationer. Værdierne er på det rigtige niveau, men de beregnede koncentrationer fluktuerer væsentligt mere end de observerede værdier.



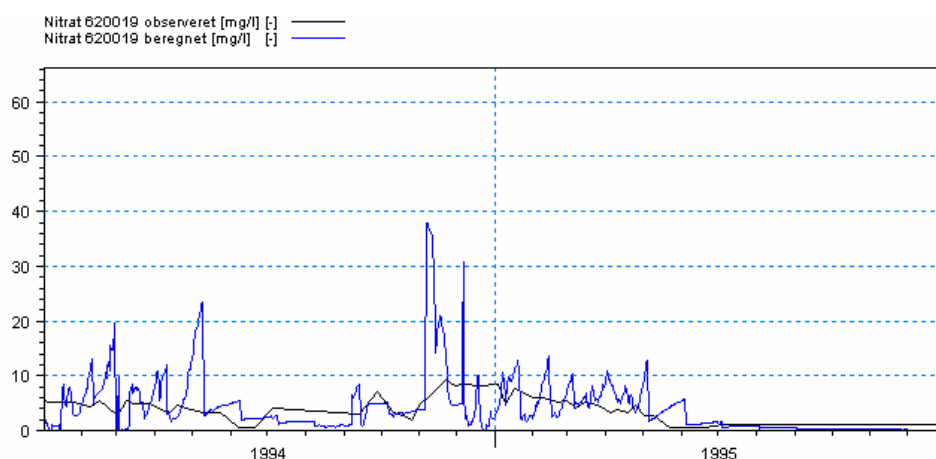
Figur 4.12: Beregnet og observeret afstrømning ved station 620019



Figur 4.13 Beregnet og observeret afstrømning ved station 620019



Figur 4.14 Beregnet og observeret nitratkoncentration ved station 620019



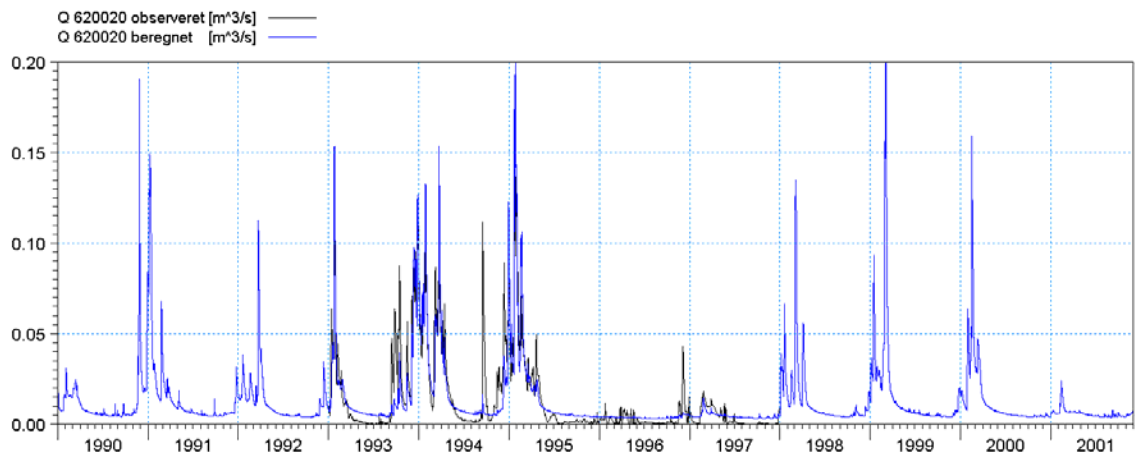
Figur 4.15 og observeret nitratkoncentration ved station 620019

Station 620020

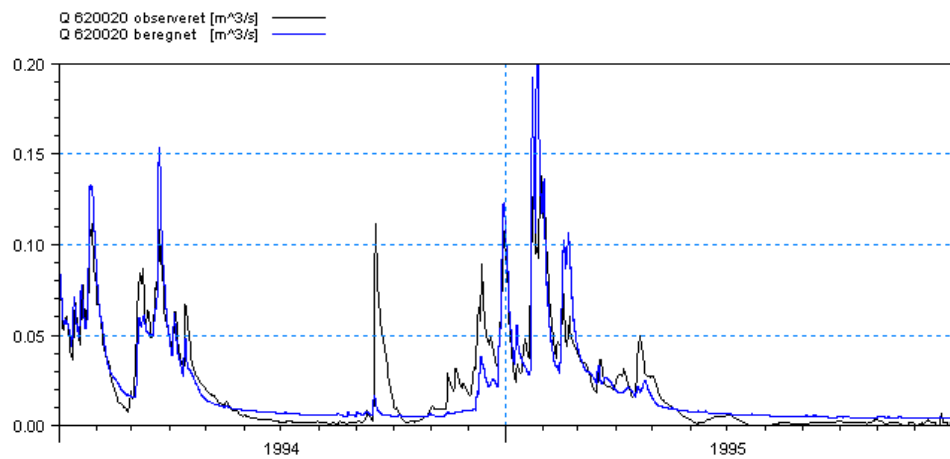
Station 620020 er placeret i den opstrøms del af Højvads Rende, og repræsenterer dermed afstrømningen fra den øvre del af oplandet.

Den beregnede og observerede afstrømning er vist på Figur 4.16. Modellen overestimerer middelaflstrømningen med 12 %, og det er specielt i sommerperioden at modellen har lidt for høje værdier, og har en god repræsentation af de store hændelser, mens den mangler de helt små afstrømningshændelser. Figur 4.17 og Figur 4.19 viser de to år 1994 og 1995.

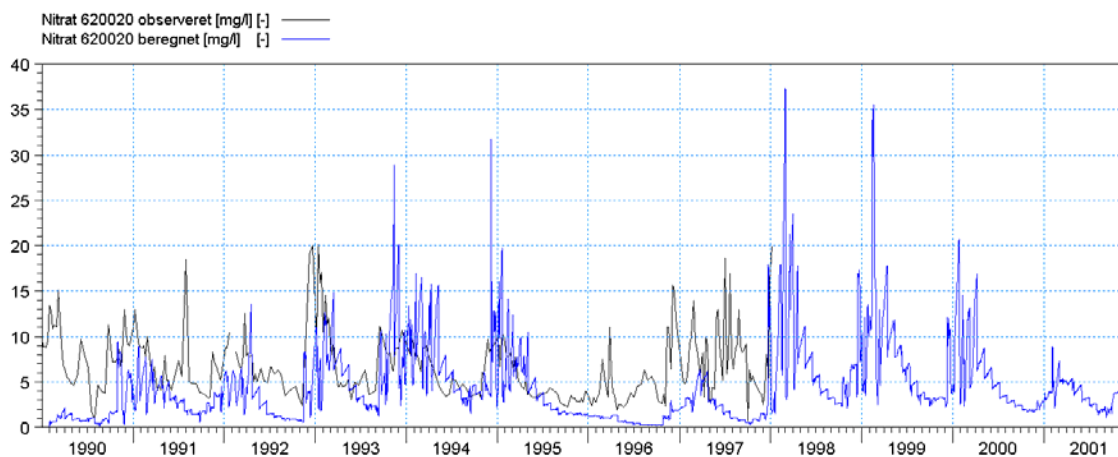
Figur 4.18 viser den beregnede og observerede nitratkoncentration. Det ses, at den beregnede nitratkoncentration generelt er lidt for lav, og at modellen i årene 1996 og 1997 har en væsentligt dårligere repræsentation af de observerede værdier.



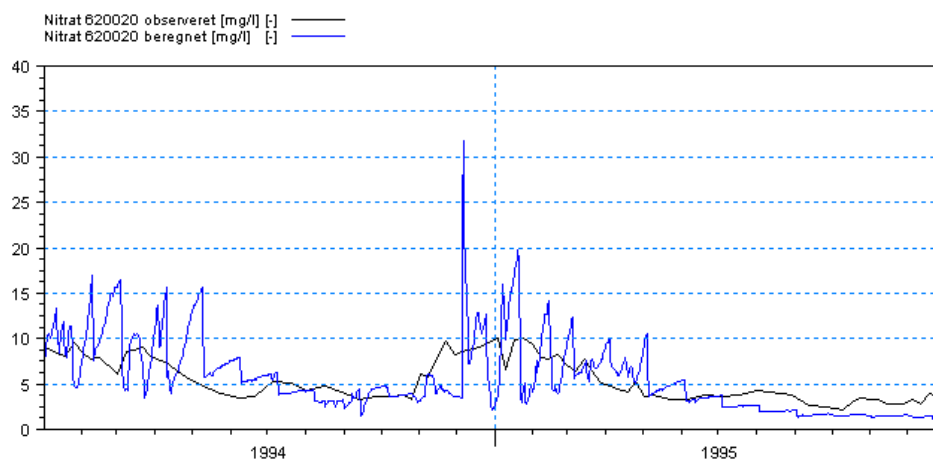
Figur 4.16: Beregnet og observeret afstrømning ved station 620020



Figur 4.17 Beregnet og observeret afstrømning ved station 620020



Figur 4.18 Beregnet og observeret nitratkoncentration ved station 620020



Figur 4.19 Beregnet og observeret nitratkoncentration ved station 620020

4.4.3 Nitrat i dræn

Drænstationerne DR3, DR5, DR6 og DR7 er benyttet ved valideringen af nitratmodellen. I de efterfølgende afsnit er der vist figurer med:

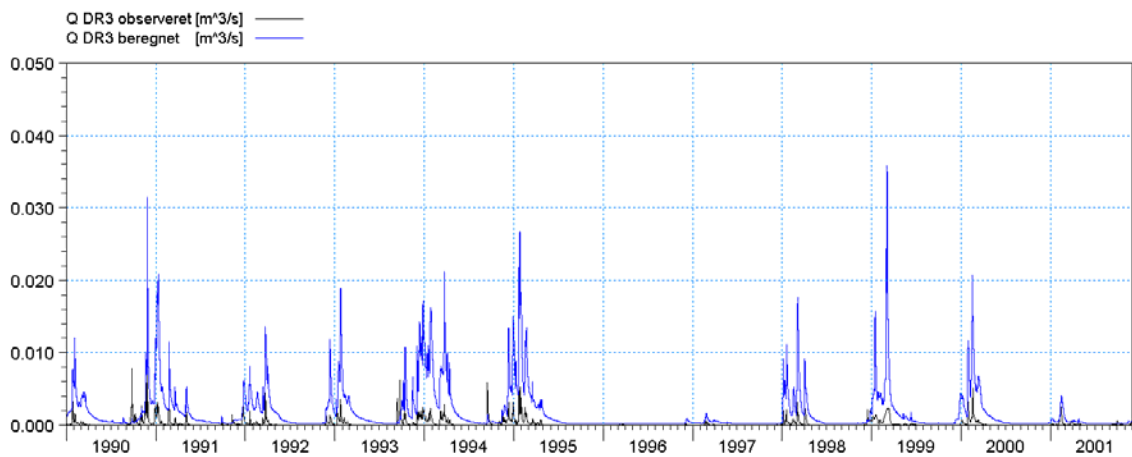
- Beregnede og observerede værdier for afstrømningen
- Beregnede og observerede værdier for nitratkoncentrationen

Placeringen af drænstationerne ses på Figur 4.7. Alle figurerne er lavet på samme måde som figurerne i afsnittet med vandløbsstationerne.

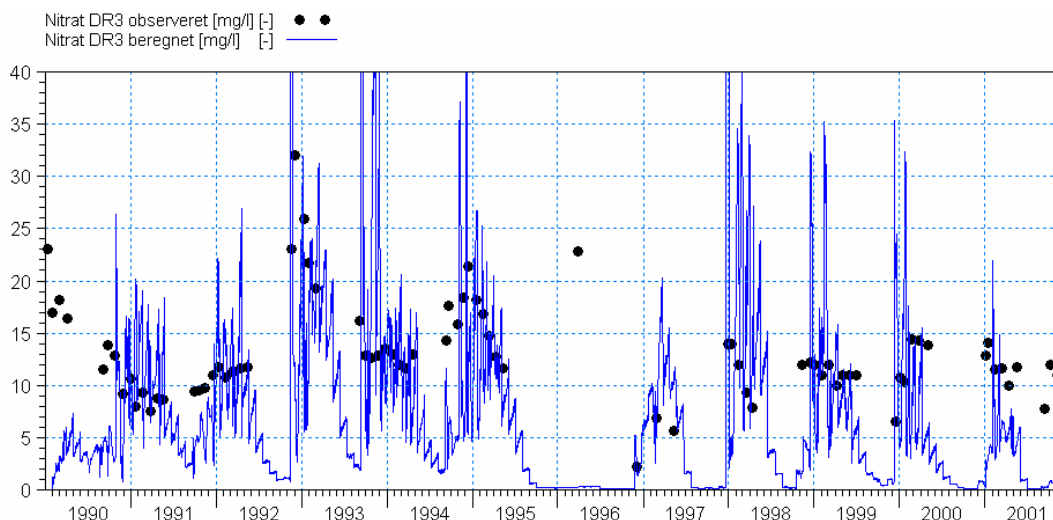
Station DR3

Figur 4.20 viser den beregnede og observerede afstrømning ved station DR3. Modellen overestimerer afstrømningen fra denne station, og i gennemsnit er afstrømning 78 % større end den observerede afstrømning.

Figur 4.21 viser den beregnede og observerede nitratkoncentration ved stationen. Det ses, at fejlen ved beregningen af vandstrømningen slår igennem på nitratberegningerne, idet den beregnede nitrattransport ved denne station er lidt større end den observerede. Det kan dog observeres at de beregnede værdier i gennemsnit ligger på niveau med de observerede, og det vurderes at modellen for denne station har en acceptabel beskrivelse af koncentrationen i afstrømningen fra dræno-landet. Størrelsen på dræno-landet (5,5 ha) gør dog at det er vanskeligt at få en god beskrivelse af alle processerne i et dræno-land.



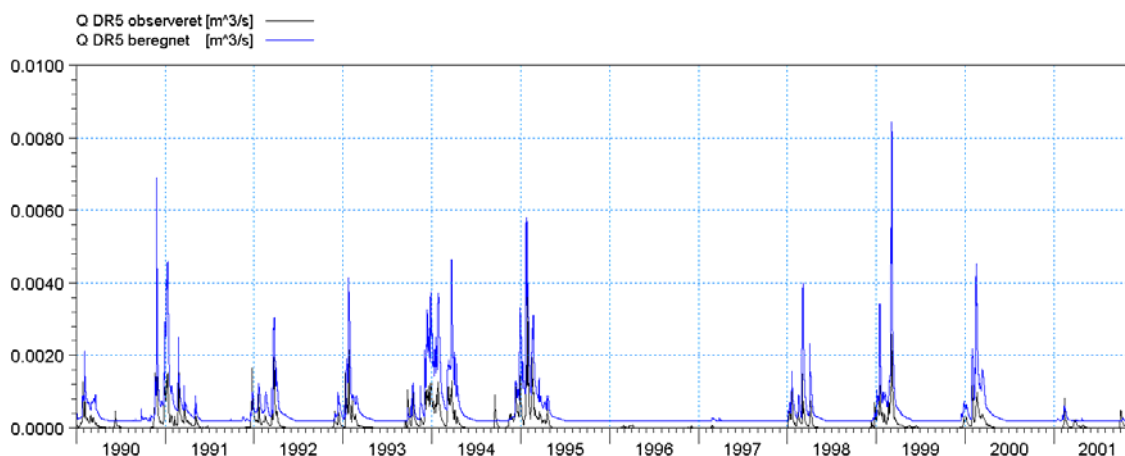
Figur 4.20: Beregnet og observeret afstrømning ved station DR3.



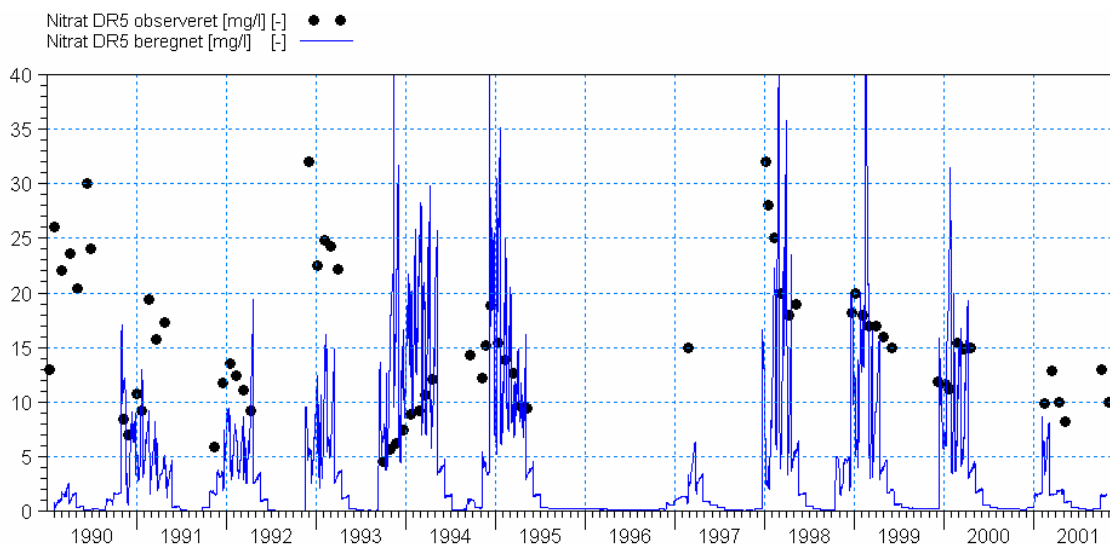
Figur 4.21 Beregnet (blå linie) og observeret (sorte prikker) nitratkoncentration ved station DR3

Station DR5

Figur 4.22 viser den beregnede og observerede afstrømning ved DR5. Modellen overestimerer afstrømningen ved stationen, og den gennemsnitlige fejl er på 44 %. Specielt er der en stor fejl i sommerperioden. Dette er dog den drænstation med den statistisk bedste overensstemmelse mellem observerede og beregnede værdier. Figur 4.23 viser den observerede og beregnede nitratkoncentration, hvor det ses at modellen i nogle år (1994 og 1995 samt 1998 til 2000) har en acceptabel overensstemmelse med de observerede værdier. I de mere tørre år, beregner modellen dog en koncentration der er en faktor 2 til 3 for lille.



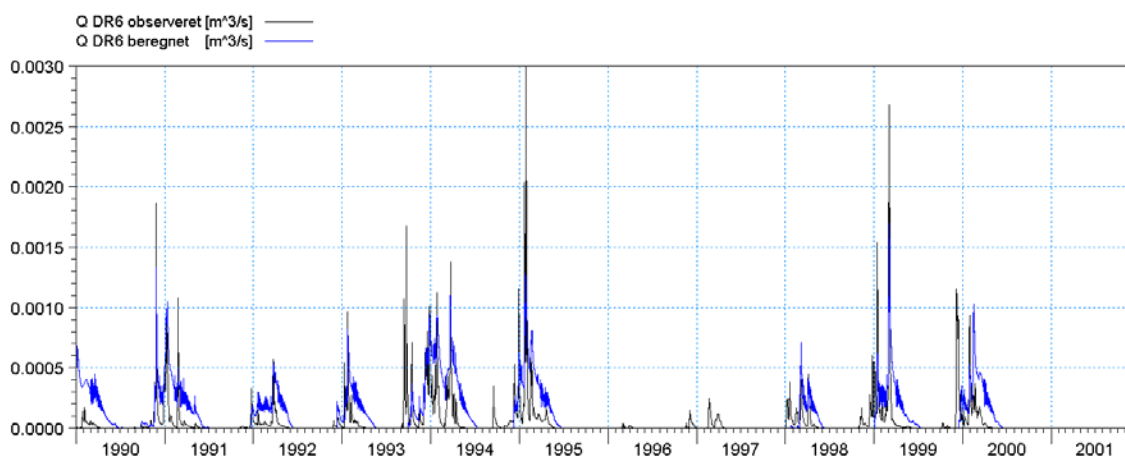
Figur 4.22: Beregnet og observeret afstrømning ved station DR5.



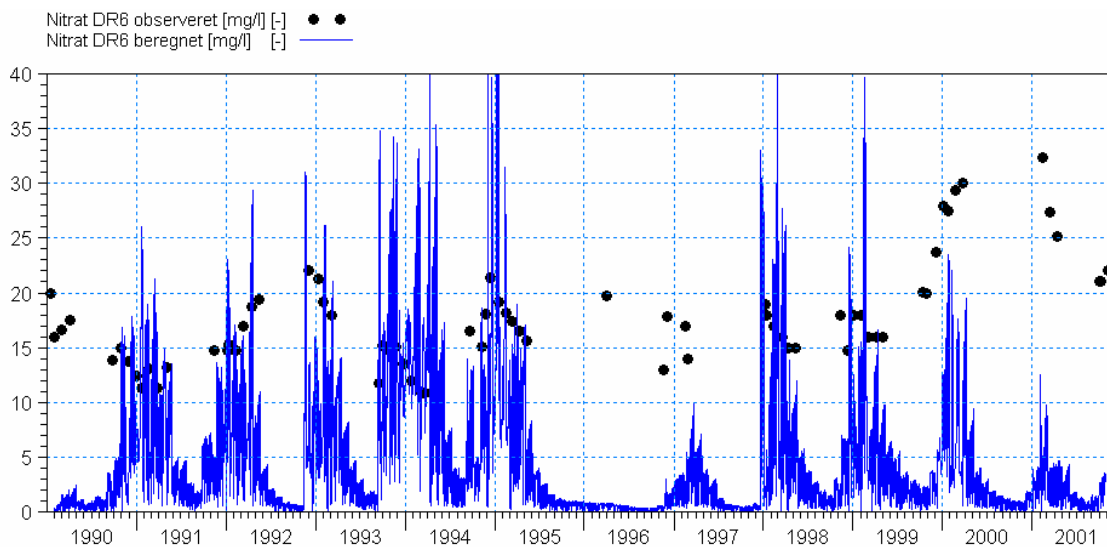
Figur 4.23 Beregnet (blå linie) og observeret (sorte prikker) nitratkoncentration ved station DR5

Station DR6

Figur 4.24 viser den beregnede og observerede afstrømning ved DR6. Modellen overestimerer i gennemsnit afstrømningen med 22 %. Figur 4.25 viser den beregnede og observerede nitratkoncentration. Det ses at modellen har en relativt god repræsentation af de observerede værdier i perioden, 1991 til 1995 samt 1998 og 1999. I de tørre år 1996 og 1997 er de beregnede koncentrationer dog langt under de observerede.



Figur 4.24: Beregnet og observeret afstrømning ved station DR6.

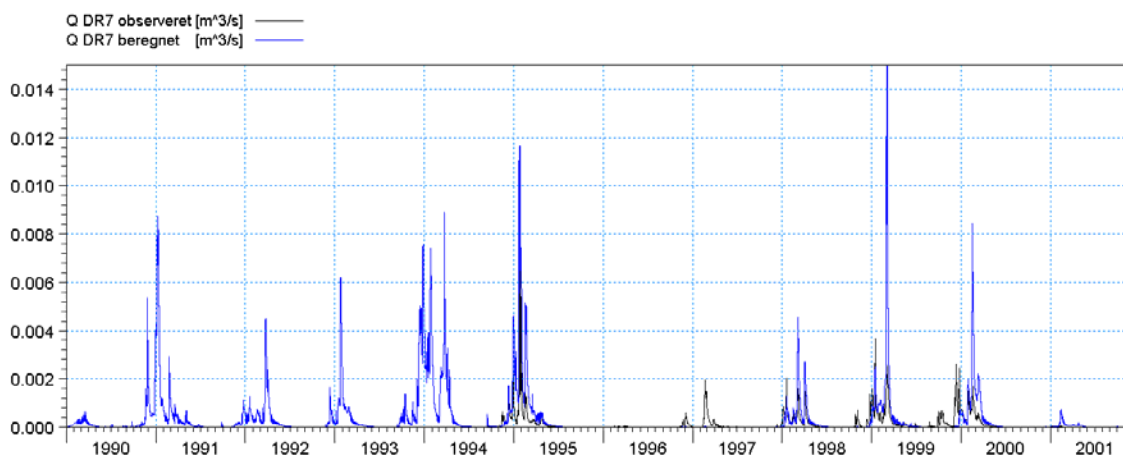


Figur 4.25 Beregnet (blå linie) og observeret (sorte prikker) nitratkoncentration ved station DR6

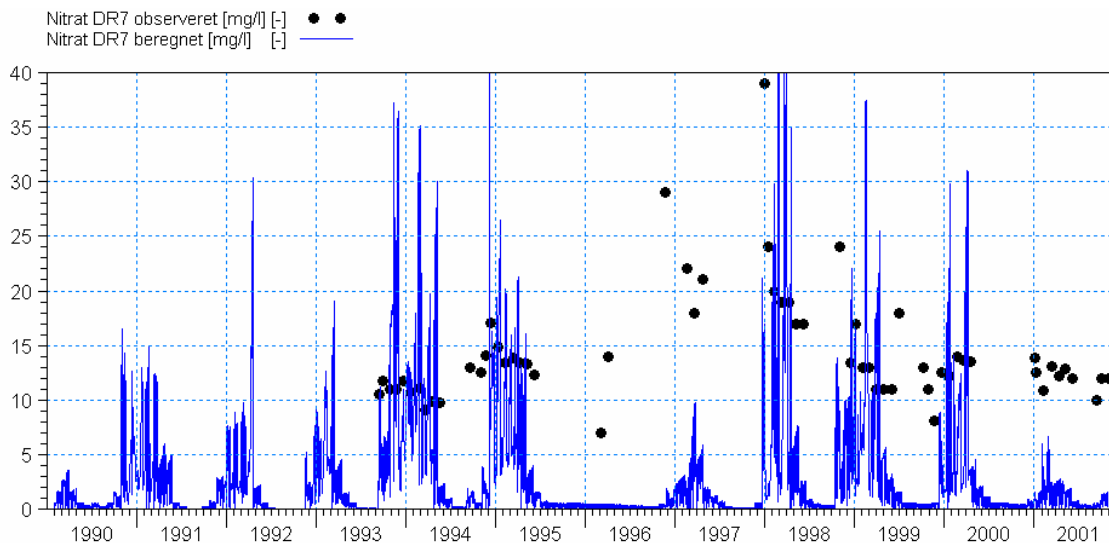
Station DR7

Figur 4.26 viser den beregnede og observerede afstrømning fra DR7. Der er en stor vandbalancefejl ved stationen, idet modellen i gennemsnit beregner en afstrømning, der er 322 % større end den observerede.

Figur 4.27 viser den observerede og beregnede nitratkoncentration. Modellen har en relativ god repræsentation af nitratkoncentrationen i 1994 og 1995. I de tørre år, beregner modellen generelt en meget lavere koncentration end der er målt.



Figur 4.26: Beregnet og observeret afstrømning ved station DR7.



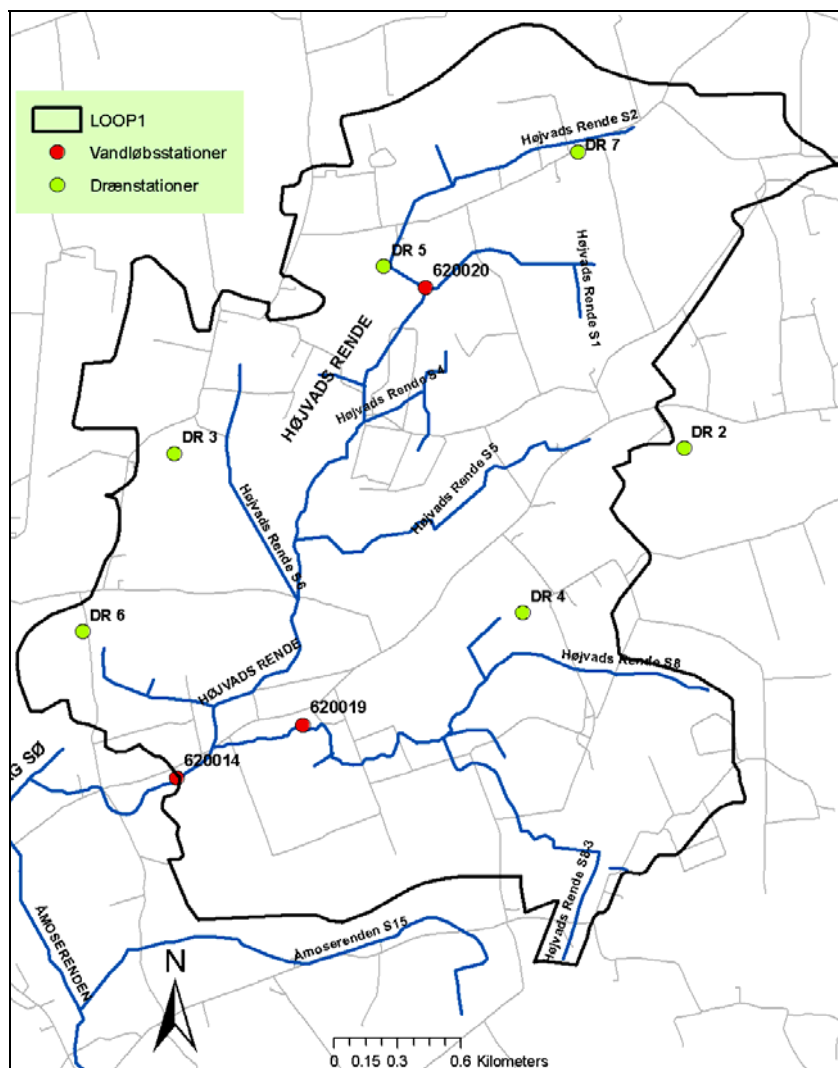
Figur 4.27 Beregnet (blå linie) og observeret (sorte prikker) nitratkoncentration ved station DR7

4.5 Diskussion af resultaterne fra nitratmodellen

Resultaterne fra den opstillede nitratmodel er valideret mod observationer fra hhv. vandløbsstationer og drænstationer. De benyttede observationsstationer er vist på Figur 4.28. De enkelte stationer repræsenterer forholdene på forskellige skalani-veauer:

- 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.



Figur 4.28 Observationsstationer i oplandet

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.

LOOP 1 oplandet må karakteriseres som et opland med et godt datagrundlag. Dvs. at der er en rimelig god tæthed af observationsstationer i både grundvand og vandløb, og der eksisterer dataserier for de enkelte stationer, som dækker både normal og ekstreme perioder (våde og tørre år). 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. I opstillingen og kalibreringen af drænastrømningen, er datagrundlaget primært drænkort, arealanvendelse samt de grundvandsobservationer der er filtersat i S4 eller det øvre moræne. 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.

Sammenlignet med lignende oplande i Danmark, hvor det i forbindelse med en indsatskortlægning kunne være relevant at vurdere tiltag i forbindelse med nitratbelastningen, må LOOP 1 oplandet antages at have et datagrundlag, der er over gennemsnittet. De iagttagelser der er foretaget i dette projekt kan derfor antages at være repræsentative for en lang række oplande i Danmark, og det kan endog antages, at der for mange oplande vil være et langt dårligere datagrundlag end det er tilfældet for LOOP 1. Spørgsmålet er derfor med hvilken skala man kan forvente at opnå en acceptabel beskrivelse af hhv. de hydrologiske processer og transporten af nitrat, og hvilket datagrundlag det i givet fald kræves for at opnå den ønskede beskrivelse. Resultaterne fra LOOP 1 viser, at man ikke umiddelbart kan benytte en hydrologisk model til beskrivelse af hele variationen af skalaniveauer, uden at tage de vurderinger og konceptualisering er, som er foretaget på de enkelte skalaniveauer, op til vurdering. Dvs. at skalaeffekter er en af de parametre, som skal inkluderes meget tidligt i projektet. Hvis modellen skulle opnå en god beskrivelse af processerne helt ned til drænstationskala vil det indebære, at der nødvendigvis må indsamles og udnyttes information, der beskriver forholdene på denne skala. I nærværende opgave er det f.eks. valgt at kalibrere modellen på oplandsniveau, og dermed benytte ens parametre i hele oplandet. Dette resulterer så i, at modellen ikke har den nødvendige detaljeringsgrad på den helt fine skala, hvilket tydeligt kan ses på de opnåede resultater.

5 Sammenfatning

Dette dokument beskriver opstillingen af en nitratmodel for LOOP oplandet. Nitratmodellen er baseret på den tidligere opstillede og kalibrerede strømningssmodel for det samme opland.

Udvaskningen af nitrat fra rodzonen er afgørende for beregningen af nitrattransporten og omsætningen i oplandet. Disse beregninger er foretaget af DMU ved brug af DAISY-modellen. Daisy-modellen er sat op på de 6 jordvandsstationer i Højvads Rende oplandet. Modellerne er kalibrerede i forhold til målt nitratkoncentration i 100 cm dybde og høstudbytter, som landmændene har oplyst for markerne på jordvandsstationerne. Der er beregnet daglige værdier for udvaskningen af nitrat fra rodzonen, og værdierne er konverteret til et format (tidsvarierende dfs2 fil), så de efterfølgende kan benyttes i den opstillede nitratmodel.

Den opstillede strømningssmodel viser, at tilstrømningen til vandløbene primært sker via dræn, hvilket betyder, at der ved opstillingen af både strømningss og nitratmodellen er stor fokus på en korrekt beskrivelse af denne proces. Ved opstillingen af nitratmodellen har der også været fokus på en korrekt beskrivelse af nitratomsætningen i den mættede del af grundvandet. En af de vigtigste parametre er en beskrivelse af reduktionsfrontens placering. Reduktionsfronten er som udgangspunkt defineret ud fra den tilgængelige farveinformation i PC-Jupiter databasen og 15 nye boringer i oplandet. Dette giver et antal støttepunkter, hvor dybden til reduktionsfronten antages at være rimelig sikker. Da antallet af boringer er relativt begrænset, har det været nødvendigt at benytte yderligere data, og reduktionsfrontens placering er efterfølgende korrigeret ud fra information om i) lavbundsområder med stor organisk pulje, ii) den modelberegnete grundvandsdannelse, og iii) grundvandsspejlets placering.

Der er foretaget en følsomhedsanalyse af reduktionsfrontens placering. Denne analyse er foretaget ved brug af partikelbaneberegninger, hvor placeringen af reduktionsfronten er justeret. Disse analyser viser at i) Nitratfrontens placering er god. En dybere placering giver mindre nitratreduktion, men dette vil også bidrage med større forsinkelse af nitrat til vandløbet (hvilket ikke passer med de observerede værdier), og ii) Den gode overensstemmelse mellem beregnet og målt nitrat i vandløb viser, at denitrifikation i vandløbet ikke har stor betydning.

Ud fra den opstillede strømningssmodel, placeringen af reduktionsfronten og den beregnede nitratudvaskning fra rodzonen, er der opstillet en dynamisk nitratmodel,

der beregner nitrattransporten og omsætningen i LOOP oplandet. Den beregnede nitratkoncentration og nitrattransport er sammenlignet med de observerede værdier ved både vandløbsstationer og drænstationer. For vandløbsstationerne ses der en god overensstemmelse ved station 620014 (ved udløbet fra oplandet), og en generelt god overensstemmelse mellem den beregnede og observerede nitrattransport. For alle drænstationerne er der store vandbalancefejl, hvilket også påvirker beregningerne af nitrattransport fra drænoplandene. Det skal dog her bemærkes at drænoplandene alle er små (2 til 5,5 ha.), hvilket gør at modellen ikke kan repræsentere alle processerne korrekt på denne skala.

6 Referencer

- /1/ Ernstsen, V., Henriksen, H. J., von Platen, F. (2001) Principper for beregning af nitratreduktion i jorlagene under rodzonen, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 24, 2001, side 17; på <http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-713-9/pdf/87-7944-714-7.pdf>, 22.12.2004
- /2/ J. R. Hansen & V. Ernstsen & J. C. Refsgaard & S. Hansen (2008) Field scale heterogeneity of redox conditions in till-upscaling to a catchment nitrate mode. Hydrogeology Journal (accepted)